

Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Engebio Engenharia S/S Ltda

**Estudo do estado da arte e análise de viabilidade  
técnica, econômica e ambiental da implantação de uma  
usina de tratamento térmico de resíduos sólidos  
urbanos com geração de energia elétrica no estado de  
Minas Gerais**

**RELATÓRIO 2 - Avaliação técnica, econômica e ambiental da  
implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos  
urbanos em Minas Gerais**

**2ª edição- 2010**

20 Anos



Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos  
Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável  
Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento  
Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infraestrutura

**Estudo do estado da arte e análise de viabilidade  
técnica, econômica e ambiental da implantação de  
uma usina de tratamento térmico de resíduos  
sólidos urbanos com geração de energia elétrica no  
estado de Minas Gerais**

**RELATÓRIO 2:**

**Avaliação técnica, econômica e ambiental da implantação de uma  
usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos em Minas  
Gerais**

**2ª edição**

FEAM – DPED – GEDIF – RT – 002/2010

Belo Horizonte

2010

© 2009 Fundação Estadual do Meio Ambiente – 1ª edição

© 2010 Fundação Estadual do Meio Ambiente – 2ª edição. rev. atual.

**Governo do Estado de Minas Gerais**

Aécio Neves Cunha  
Governador

**Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Sisema**

**Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Semad**

José Carlos Carvalho  
Secretário

**Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM**

José Cláudio Junqueira Ribeiro  
Presidente

**Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento**

Paulo Eduardo Fernandes de Almeida  
Diretor

**Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infraestrutura**

Ana Lúcia Bahia Lopes  
Gerente

**Equipe Técnica: FEAM**

Ana Lúcia Bahia Lopes, Eng. Civil, Esp.  
Abílio César Soares de Azevedo, Eng. Civil, Esp.  
Consuelo Ribeiro de Oliveira, Eng. Química, Esp.  
Laura Maria Jacques Leroy, Eng. Química, M.Sc.  
-Colaboradora

**Elaboração: Engebio Engenharia S/S Ltda**

Responsável Técnico  
Mario Saffer, Eng. Químico, D. Sc.

**Equipe Técnica: Engebio**

Mario Saffer, Eng. Químico, D. Sc.  
Adalberto Kilpinski, Economista  
José Carlos Carvalho da Cunha, Eng. Químico  
Guilherme Augusto Araújo Duarte, Eng. Químico  
Eduardo Bayon Britz, Téc. Meio Ambiente

Relatório 2: Avaliação técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais. / Engebio; Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2009. 270-p. : II

Projeto “Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais”

1. Resíduo sólido urbano 2. Tratamento Térmico 3. Energia elétrica I. Engebio II. Fundação Estadual do Meio Ambiente

CDU: 628.477.8 (815.1)

**Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/n, Serra Verde - Belo Horizonte/MG**

**CEP: 31.630-900 (31) 39151440**

**www.meioambiente.mg.gov.br**

## **RESUMO**

### **O ESTUDO**

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, do estado de Minas Gerais, com base na Lei Delegada nº. 156, de 25 de janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto 44819/2008 teve sua atribuição executiva no licenciamento ambiental transferida para unidades descentralizadas do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA, passando a atuar com ênfase nas estratégias de busca de melhoria de qualidade ambiental e sustentabilidade do Estado, no âmbito da Agenda Marrom, incluindo o tema energia e mudanças climáticas. Nesse contexto a FEAM busca contratar serviços técnicos especializados para apoiar o desenvolvimento de novos temas com foco na formulação de diretivas e normativas legais para fortalecimento da política ambiental do Estado.

Conforme divulgado pela FEAM (2008) desenvolve-se no estado de Minas Gerais o Programa "Minas sem Lixões". Este programa foi implantado em 2003, pela própria FEAM, como uma das ações do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos" do Governo Estadual e vem apresentando resultados expressivos desde sua criação, posicionando Minas Gerais acima da média nacional na disposição adequada de resíduos sólidos urbanos, ao registrar o percentual atual em torno de 30%.

O Projeto "Resíduo é Energia", em desenvolvimento por meio da FEAM, é realizado também no âmbito do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos" e pretende colaborar para a solução dos problemas gerados pelos resíduos sólidos em Minas Gerais. Assim, já foram iniciadas as pesquisas para subsidiar políticas de incentivo à construção de usinas térmicas a lixo, co-processamento de resíduos em fornos de cimento e aproveitamento do gás metano em aterros sanitários, além de soluções regionais e de inclusão social, priorizando as associações de catadores para o processo prévio de triagem e reciclagem.

O programa “Minas sem Lixões” tem como meta a ser atingida até o ano de 2011 a redução de 80% do número de lixões presentes no Estado e a disposição adequada de 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios mineiros.

Dentro desse programa existem três estudos em andamento que visam atingir essa meta:

- captação de gás de aterro;
- biodigestão anaeróbia com obtenção de gás para geração de energia elétrica;
- implantação de Usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos por combustão para fins de geração de energia elétrica.

Para avaliar a alternativa de destinação final dos resíduos para destruição térmica em uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos por combustão para fins de geração de energia elétrica, a FEAM contratou serviços de consultoria especializada para desenvolver um “Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica em um município ou conjunto de municípios no estado de Minas Gerais”. Esse Estudo foi dividido em três etapas:

- Relatório 1 - Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica;
- Relatório 2 - Avaliação técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais.
- Relatório 3 - Estudo prospectivo das alternativas governamentais, nacionais e internacionais, voltadas ao financiamento de plantas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos

O Relatório 1 serviu como base para a elaboração do presente relatório definindo as melhores tecnologias a serem avaliadas, a definição da região de Minas Gerais como objeto do estudo e a capacidade da usina a ser estudada com a realização de um estudo de viabilidade técnica e econômica.

No Relatório 2, o objetivo é avaliar a viabilidade da implantação de uma usina de aproveitamento energético de resíduos sólidos - UAER - por combustão para fins de geração de energia elétrica, atendendo um agrupamento de municípios na região de Três Corações, localizado no Sul do estado de Minas Gerais.

Os mapas das Figuras 1 e 2, constantes no presente relatório, apresentam, respectivamente, a macrolocalização da região de Três Corações e, nessa região, as áreas pré-selecionadas para a localização da UAER.

O estudo foi conduzido considerando o atendimento à população urbana dos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização, sobre o total de 96 municípios existentes no raio de 100 km da região em estudo apresentada no Relatório 1 (ENGEBIO, 2009).

Quanto aos municípios atendidos, à caracterização e à quantidade de resíduos gerados, o presente estudo de viabilidade considerou:

- 73 municípios, em uma região com raio de 100 km e centro na cidade de Três Corações, com uma população total atendida em torno de 645.000 habitantes (2007), dentro do cenário da região de Três Corações, teremos uma quantidade de resíduos enviada à UAER de aproximadamente 120.000 toneladas por ano;
- quantidade do resíduo a ser processada proporcional à população urbana dos municípios considerados;
- crescimento populacional estimado conforme metodologia empregada pelo IBGE;
- composição dos RSU fixa ao longo dos anos, apresentada na Tabela 19 do Relatório 1 (ENGEBIO, 2009), sendo:
  - Papel 4,2%;
  - Papelão 5,9%;
  - Vidro 2,2%;
  - Matéria orgânica 66,5%;
  - Metais 3,8%;
  - Plásticos duros 2,3%;
  - Plásticos outros 6,7%;
  - Inertes 8,4%.

- taxa de geração de RSU per capita constante e igual a 0,8 kg/hab.dia;
- recebimento de resíduos na UAER procedentes de estações de transbordo com um raio máximo de transbordo entre o município e a estação de 30 km de distância;
- queima dos resíduos - conceito de “*Mass Burning*”.

## **CONCEITUAL DA USINA**

Foi utilizado o conceito de “*Mass Burning*”, que significa que não haverá seleção prévia de materiais recicláveis e na Planta da UAER haverá a destruição térmica de resíduo bruto.

Tomando como base o Relatório 1 - Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica, elaborado por ENGEBIO (2009), e as propostas da Areva Koblitz e CNIM, definiu-se um projeto conceitual para a UAER.

A UAER foi desenvolvida para destruição térmica de 350 toneladas por dia de resíduos brutos (sem nenhum tratamento prévio).

A UAER deverá ser composta das seguintes Unidades:

- Recepção dos resíduos;
- Unidade de queima e recuperação de energia;
- Unidade de valorização de energia;
- Unidade de limpeza de gases de combustão;
- Unidade de tratamento dos resíduos de combustão.

## ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA

Considerando o elevado valor do investimento para a implantação de uma UAER, é necessária a integração e a articulação entre os sistemas de limpeza pública de cada município para minimizar os custos.

Foram feitas simulações variando a cidade sede da usina, distâncias percorridas pelos veículos de coleta, quantidade e capacidade de estações de transbordo, custo de implantação e operação das mesmas.

Foi também realizada a avaliação do projeto como atividade do MDL, identificando o cenário de Linha de Base e sendo estimada a redução de emissões de gases do efeito estufa decorrentes da implantação da atividade de projeto.

A metodologia empregada foi a versão 11 da AM0025 - *Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC).

Para o cálculo da energia elétrica gerada e estudo da redução das emissões de gases de efeito estufa foram adotadas as seguintes considerações:

- toda potência disponível convertida em energia elétrica;
- PCI dos RSU igual a 1650 kcal/kg;
- disponibilidade de capacidade igual a 8.000 horas por ano;
- fator de conversão de energia de 26%;
- UAER com 25 anos de vida útil.

O total de emissões de gases do efeito estufa evitadas pelo projeto, em tCO<sub>2</sub>e, nos 25 anos de vida útil estimado para a atividade de projeto da UAER, foi de 1.934.372 tCO<sub>2</sub>e.

Com o objetivo de obter informações para a estimativa dos custos de implantação e operação de uma planta de combustão de RSU para geração de energia elétrica, foram consultados os principais fornecedores detentores das tecnologias aplicáveis. A consulta formal às empresas foi feita por meio do documento chamado *Request for Proposals*, o qual apresentava as condições da

região de implantação do projeto, a disponibilidade de resíduos e sua composição estimada, bem como o escopo de fornecimento da UAER para um contrato de EPC - *Engineering, Procurement and Construction* (fornecimento total).

Em resposta, as empresas Areva Koblitz e CNIM apresentaram suas propostas para o fornecimento EPC da UAER. A tabela abaixo resume as informações obtidas e de uma Usina de fornecimento hipotético, proposta pela consultora que foi denominado de Cenário UAER.

Resumo dos dados das Usinas

Item	CNIM	Areva Koblitz	Cenário UAER	Unidade
Investimento total	332.000.000	192.991.080	232.400.000	R\$
Capacidade mínima	300	350	350	t/d
Capacidade máxima	600	640	640	t/d
Eficiência Líquida da Planta Térmica	25	22/24	26	%
Investimento Específico	33.200	12.866	17.877	R\$/kW <sub>el</sub>
Poder Calorífico do RSU	6155	7745	6900	kJ/kg
Potência instalada (Módulo I)	5	8	6,5	MW <sub>el</sub>
Potência instalada (Módulo II)	5	7	6,5	MW <sub>el</sub>
Potência instalada total	10	15	13	MW <sub>el</sub>
Disponibilidade da Planta	8000	7800/8200	8000	horas/ano

As linhas de financiamento para esse tipo de empreendimento são as oriundas de bancos governamentais de fomento, no caso BNDES, via linhas de fomento próprias. As condições típicas para esses financiamentos tomando como base a linha Finem do BNDES são: Taxa de juros de 1,5 a 2,5% + TJLP, contrapartida de 20% e prazo máximo de amortização de 14 anos.

Para efeito das simulações foi utilizado uma taxa de juros de 1,5 % mais 6,0% como TJLP e uma contrapartida de 20%.

Foi considerada para efeitos da análise de investimento uma taxa de atratividade de 12% e taxa de desconto de 12%;

Foram simulados os seguintes cenários:

- Fornecedor CNIM - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 150,00 MWh;
- Fornecedor CNIM - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 170,00 MWh;
- Fornecedor Areva Koblitz - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 150,00 MWh;
- Fornecedor Areva Koblitz - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 170,00 MWh;
- UAER - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 150,00 MWh;
- UAER - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 170,00 MWh.

## **RESULTADOS E CONCLUSÕES DO ESTUDO**

Os elevados custos de investimentos e operação de uma UAER tornam necessárias a integração e a articulação entre os sistemas de limpeza pública de cada município, na busca de minimização dos custos de implantação e operacionais por economia de escala, podendo ser foco da criação de um consórcio intermunicipal, instituído conforme a Lei Federal 11.107, de 6 de abril de 2005, com a finalidade de organizar e proceder ações e atividades para a gestão do sistema de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos seus municípios integrantes.

A tabela a seguir apresenta um resumo das simulações de cenários realizados.

Considerando a localização da UAER na macrorregião, cujo centro é o município de Campanha, a logística de transbordo conforme Situação 5 (Capítulo 3)

foi o cenário que apresentou o menor investimento inicial global para instalação das estações de transbordo obtêm-se:

- um custo médio do total da operação de transbordo e de transporte das ETs até a UAER de R\$ 36,00 (no ano de 2011) a R\$ 20,00 (no ano de 2036) por tonelada transportada;
- um investimento total de R\$ 3.850.000,00 para a implantação de 16 Unidades de Transbordo, sendo 03 unidades com capacidade de 10 t/dia, 09 unidades com capacidade de 50 t/dia e 04 unidades com capacidade de 100 t/dia.

#### Simulação dos valores da implantação da UAER em duas etapas

	<b>CNIM VE R\$170,00</b>	<b>CNIM VE R\$150,00</b>	<b>UAER VE R\$170,00</b>	<b>UAER VE R\$150,00</b>	<b>Areva Koblitz VE R\$170,00</b>	<b>Areva Koblitz VE R\$150,00</b>
<b>Células variáveis:</b>						
Investimento Etapa 1 (R\$)	190.000.000	190.000.000	133.000.000	133.000.000	98.995.540	98.995.540
Investimento Etapa 2 (R\$)	142.000.000	142.000.000	99.400.000	99.400.000	93.995.540	93.995.540
<b>Receita de destruição térmica (R\$/t)</b>	186,86	195,69	120,60	130,61	90,93	101,34
Energia_ _MWh (R\$)	170,00	150,00	170,00	150,00	170,00	150,00
<b>Células de resultado:</b>						
VPL do Projeto (R\$)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
TIR do Projeto (% ao ano)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

VE = valor de venda de 1 MWh de energia

A redução de emissões de GEE estimada para o período de 25 anos analisados, resultantes da implantação da UAER para combustão dos RSU oriundos dos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização será de 2.000.000 tCO<sub>2</sub>e.

A proposta da Areva Koblitz apresentou o menor valor de investimento, ou seja, R\$ 193.000.000,00, para uma capacidade instalada de 15 MW. A simulação com um valor de venda de energia a R\$ 170,00 por kWh, com uma taxa de retorno de 12% a.a e um resultado de investimento igual a zero (R\$00,00), ou seja, lucro zero, resultou em valor de R\$ 90,93 a tonelada para os serviços de destruição térmica de RSU.

Ressalta-se quanto ao sistema de tratamento de gases, que a proposta Areva Koblitz considera o atendimento aos padrões de emissão da Resolução CONAMA 316/2002, mas não especifica o sistema e destaca que no custo de investimento não está a aquisição de filtros de manga ou precipitadores eletrostáticos; a proposta da CNIM, por sua vez, considera padrões de emissão da Diretiva Européia, os quais são mais restritivos que a CONAMA, e considera nos custos os equipamentos a serem instalados para isso.

Considerando a diferença de valores ofertados pela Areva Koblitz e CNIM, foi desenvolvida uma terceira opção, chamada de Cenário UAER, onde se considerou um investimento de total de R\$ 232.400.000,00 com uma capacidade instalada de 13 MW<sub>el</sub>, que para as mesmas condições de simulação acima descritas resultou em um valor de serviços de destruição térmica de RSU de R\$ 120,60 a tonelada.

Dentro dos critérios estabelecidos para a simulação das diferentes opções – CNIM, UAER e Areva Koblitz (TIR 12,00% a.a e VPL = R\$ 00,00), com geração de energia elétrica, os resultados encontrados pela simulação de diferentes cenários são:

- uma capacidade instalada entre 10 MW<sub>el</sub> a 15 MW<sub>el</sub>;
- um valor total de investimento, variando segundo o fornecedor entre R\$ 193.000.000,00 e R\$ 332.000.000,00;
- um valor de serviço de destruição térmica dos resíduos na faixa de R\$ 90,93 a R\$ 195,69 por tonelada de resíduo processado.

Pelas simulações desenvolvidas neste estudo de viabilidade técnico e econômico, a implantação de uma usina de destruição térmica de RSU por combustão com aproveitamento da energia gerada para a produção de energia elétrica pode ser uma solução viável que:

- contempla a não disposição desses resíduos no meio ambiente;
- caracteriza-se como uma solução aceitável para destinação final dos RSU, em conformidade com as metas do programa “Minas sem Lixões”;
- proporciona uma solução para um conjunto de municípios que possuem um porte populacional para o qual, dificilmente, conseguirão soluções adequadas sem uma ação conjunta, na busca de uma viabilização pela economia de escala que este tipo de ação significa;
- resultará na geração de energia elétrica a partir de resíduos;
- a obtenção de créditos de carbono resultará em melhoria do resultado econômico e financeiro do empreendimento;
- a operação resultará em uma melhoria Global em função da eliminação do metano gerado pela prática de disposição dos resíduos em aterros e pelo deslocamento da produção de energia em relação à Linha de Base de emissões do Brasil.

Recomenda-se para as próximas etapas desenvolver um estudo de viabilidade técnica mais preciso, considerando:

- analisar detalhadamente para os municípios que hoje atendem às condições do Programa “Minas sem Lixões” que tipo de solução esses estão praticando para disposição de resíduos e qual é a sustentabilidade destas soluções para um futuro próximo de cinco anos;
- efetuar um estudo de caracterização de resíduos de maneira a definir com certeza a composição dos resíduos e por conseqüência o seu poder calorífico médio;
- a partir desta análise, atualizar o estudo de Capacidade da Usina, buscando aumentar a quantidade de resíduos a ser destinada, de maneira a reduzir o valor dos serviços encontrados neste estudo;
- com este novo cenário definido, elaborar um novo anteprojeto e estudo de viabilidade;
- rever as solicitações de fornecimento da usina dentro de um cenário de maior perspectiva para os possíveis fornecedores, de maneira a obter propostas mais firmes e provavelmente, com valores melhores que os obtidos durante este estudo.

- Buscar alternativas de valorização dos resíduos sólidos da Usina (cinzas de fundo e cinzas volantes) para baixar os custos de operação e por consequência dos serviços de destruição térmica de RSU

Finalmente, recomendamos avançar na busca da viabilização de uma usina de aproveitamento energético de resíduos sólidos para o estado de Minas Gerais.

## LISTA DE SIGLAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento

CEE – Comunidade Econômica Européia

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CER – Reduções Certificadas de Emissões

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CMRR – Centro Mineiro de Referência em Resíduos

ET – Estação de Transbordo

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente

(estado de Minas Gerais)

GEDIF – Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades de Infraestrutura

GN – Gás Natural

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

ISSQN - Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza

MCT – Ministério da Ciência e Tecnologia

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MG – Minas Gerais

MO – Mão-de-obra

RDO – Resíduo Domiciliar

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

RPU – Resíduo Público

RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SIAM – Sistema Integrado de Informações Ambientais

SISEMA – Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

(estado de Minas Gerais)

SNCR – Redução Seletiva Não Catalítica

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

TEE – Total de Emissões Evitadas

TJLP – Taxa de Juros a Longo Prazo

UAER – Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

USD – Dólar (Estados Unidos)

UTC – Unidade de Triagem e Compostagem

VPL – Valor Presente Líquido

## LISTA DE SÍMBOLOS

a.a. – Ao Ano

AC – Corrente Alternada

$A_{MSW}$  – Quantidade de RSU alimentado na UAER (t/ano)

$A_{residual, y}$  – Quantidade de resíduo gerada no incinerador (t/ano)

$BE_{CH_4, SWDS, y}$  – Emissões de metano evitadas durante o ano do período de atividade do projeto devidas a prevenção de disposição RSU em aterros (tCO<sub>2</sub>e)

$BE_{elec, y}$  – Emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho da atividade de projeto no ano y (tCO<sub>2</sub>e/ano)

$BE_y$  – Emissões no cenário de Linha de Base no ano y

CH<sub>4</sub> – Metano

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COD<sub>f</sub> – Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe

COD<sub>j</sub> – Fração de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j. Seu valor está relacionado à composição orgânica dos resíduos e depende do teor de papéis/papelões, folhas, têxteis, madeiras e restos de comida

COP3 – Terceira Conferência das Partes

COP7 – Sétima Conferência das Partes

d – Dia

EF – Eficiência da combustão (%)

$EF_{grid, BM, y}$  – Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de margem de construção no ano y (tCO<sub>2</sub>/MWh)

$EF_{grid,CM,y}$  – Fator de emissão de  $CO_2$  de margem combinada no ano  $y$  ( $tCO_2/MWh$ )

$EF_{grid,OM,y}$  – Fator de emissão de  $CO_2$  de margem de operação no ano  $y$  ( $tCO_2/MWh$ )

$EF_{N_2O}$  – Fator de emissão de  $N_2O$  para combustão de resíduos ( $kg N_2O/t$  de RSU) (0,067)

$EG_{m,y}$  – Quantidade de energia elétrica gerada pela atividade de projeto no ano  $y$  (MWh)

EPC – Engineering, Procurement and Construction – Fornecimento total

$ER_y$  – Redução de Emissões no ano  $y$

$f$  – Fração de metano capturada e queimada nos aterros de RSU

$F$  – Fração de metano no biogás de aterro

$FCF_{MSW}$  – Fração de carbono fóssil no RSU (%)

FCM – Fator de correção do metano (Varia em função do tipo de local onde os resíduos seriam dispostos, devendo ser considerado igual a 1,0 para o caso dos aterros)

$FC_{residual}$  – Fração de carbono residual contido no resíduo (%)

$GWP_{CH_4}$  – Potencial de aquecimento global do metano ( $tCO_2e/t$ )

$GWP_{N_2O}$  – Potencial de aquecimento global do  $N_2O$  ( $tCO_2e/t$ )

$h$  – Hora

hab. – Habitante

HFC – Hidrofluorcarbono

Hz – Hertz

$k$  – Taxa de Decaimento

kcal – quilocaloria

kg – quilograma

kJ – quilojoule

$k_j$  – Taxa de decaimento para o resíduo tipo j

km – quilometro

kV – quilovolt

$L_{iy}$  – Emissões a partir do resíduo do incinerador no ano y

m – metro

$m^3$  – metro cúbico

Mun – Município

MW – Mega Watt

MWh – Mega Watt hora

$N_2O$  – Óxido Nitroso

$Nm^3$  – Normal metro cúbico

$^{\circ}C$  – Graus Celsius

ONU – Organização das Nações Unidas

OX – Fator de oxidação

PCI – Poder Calorífico Inferior

$PE_{i,f,y}$  – São as emissões de  $CO_2$  oriundas da combustão dos resíduos de origem fóssil no ano y ( $tCO_2e$ )

$PE_{i,s,y}$  – São as emissões de  $N_2O$  e  $CH_4$  oriundas da combustão dos resíduos no ano y ( $tCO_2e$ )

$PE_y$  – Emissões de projeto no ano y

PFC – Perfluorcarbono

pH – Potencial Hidrogeniônico

$Q_{\text{biomass},y}$  – Quantidade de biomassa presente no resíduo queimado no ano  $y$  (t/ano)

Qtd – Quantidade

R\$ – Real

t – tonelada

tCO<sub>2e</sub> – Toneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>

un – Unidade

VE – Valor de venda de 1 MWh de energia

$W_{\text{BM}}$  – Fator de ponderação para as emissões na margem de construção (%)

$W_{\text{OM}}$  – Fator de ponderação para as emissões na margem de operação (%);

$W_{j,x}$  – Quantidade de resíduo orgânico tipo  $j$ , evitado de ser disposto em aterros no ano  $x$  (t)

WTE – Waste to Energy

$X$  – Ano durante o período de crédito:  $x$  vai do primeiro ano do primeiro período de creditação ( $x = 1$ ) ao ano  $y$  para o qual são calculadas as emissões evitadas

$y$  – Ano para o qual são calculadas as emissões evitadas

$\phi$  – Fator de correção do modelo devido a incertezas

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Macrolocalização da Usina na região do Sul de Minas Gerais .....	4
Figura 2 - Possível localização da planta da UAER .....	5
Figura 3 - Projeção das Taxas de Crescimento Populacional.....	11
Figura 4 - Brasil e Minas Gerais: Taxa de Crescimento Populacional, 1940-2000....	11
Figura 5 - Projeção de Taxas de Crescimento Populacional de Minas Gerais e Brasil .....	18
Figura 6 - Projeção da população urbana e taxa percentual da evolução do crescimento demográfico .....	19
Figura 7 - Quantidades de resíduos gerada e processada ao longo dos anos .....	25
Figura 8 - Agrupamentos de Municípios por Estações de Transbordo.....	34
Figura 9 - Fluxograma simplificado do ciclo de geração de energia Areva Koblitz....	64
Figura 10 - Fluxograma do funcionamento da UAER – CNIM.....	71
Figura 11 - Disposição da planta de UAER – CNIM.....	71
Figura 12 - Gráfico de resultado por período e resultado acumulado .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População estimada pelo IBGE para a região de Três Corações .....	8
Tabela 2 - Projeção das Taxas de Crescimento Populacional - Minas Gerais e Brasil .....	9
Tabela 3 - Municípios x Coleta de Resíduos em 2007 .....	12
Tabela 4 - Disposição final de resíduos sólidos urbanos total da região em 2007 ....	12
Tabela 5 - Sedes municipais e População urbana .....	13
Tabela 6 - Número de municípios em situação irregular de disposição de RSU, segundo tipo de disposição final, população urbana total e raio de distância do município à Usina - 2009.....	13
Tabela 7 - População urbana estimada pela Engebio para a região de Três Corações (excluindo as populações dos municípios em situação regular ou em processo de regularização ambiental) e taxa de crescimento dessa população projetada pelo método de estimativa das populações .....	17
Tabela 8 - Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia .....	20
Tabela 9 - Produção per capita de resíduo domiciliar, segundo alguns países .....	21
Tabela 10 - Massa coletada de resíduos sólidos no Brasil .....	22
Tabela 11 - População urbana dos municípios projetada para 2011 e metas do Programa “Minas Sem Lixões” para 2011 .....	23
Tabela 12 - Geração e quantidade de resíduos processados ao longo dos anos.....	24
Tabela 13 - Dados totais das estações de transbordo .....	28
Tabela 14 - Custos de investimento para implantação da estação de transbordo por porte .....	30
Tabela 15 - Custos da operação da estação de transbordo por porte .....	30
Tabela 16 - Custo de transporte da estação de transbordo até a Usina .....	31
Tabela 17 - Custo mensal final da operação .....	31
Tabela 18 - Custo de operação da estação de transbordo, Situação 5.....	33
Tabela 19 - Custo de investimento para implantação da estação de transbordo, Situação 5 .....	33
Tabela 20 - Custo de transporte da estação de transbordo até a usina, Situação 5.	33
Tabela 21 - Custo mensal final de operação, Situação 5 .....	33

Tabela 22 - Gases de efeito estufa .....	40
Tabela 23 - Setores e Categorias de fontes.....	40
Tabela 24 - Parâmetros fixos para cálculo das emissões de Linha de Base .....	43
Tabela 25 - Frações mássicas de carbono orgânico degradável por tipo de resíduo e composição dos RSU.....	44
Tabela 26 - Dados climatológicos de Minas Gerais .....	44
Tabela 27 - Taxas de decaimento (k) por tipo de resíduo .....	44
Tabela 28 - Emissões da Linha de Base por tonelada de resíduo a cada ano .....	45
Tabela 29 - Emissões da Linha de Base a cada ano da atividade de projeto .....	47
Tabela 30 - Fatores anuais de emissão de CO <sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional Brasileiro.....	49
Tabela 31 - Emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho .....	52
Tabela 32 - Emissões do projeto em cada ano y .....	58
Tabela 33 - Resumo dos dados das propostas de fornecimento .....	79
Tabela 34 - Valores percentuais dos tributos e encargos .....	80
Tabela 35 - Custo de produção da planta de UAER .....	81
Tabela 36 - Custos gerais de operação da planta de UAER.....	82
Tabela 37 - Despesas geradas pela planta de UAER.....	83
Tabela 38 - Simulação dos valores da implantação da UAER em duas etapas.....	86
Tabela 39 - Valores de fluxo de caixa do Cenário UAER.....	87

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZAÇÃO DA USINA</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ESTUDO DA CAPACIDADE DA USINA</b> .....	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Considerações gerais</b> .....	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>População</b> .....	<b>9</b>
3.2.1	Dados existentes .....	9
3.2.2	Participação dos municípios na destinação de resíduos para a Usina .....	12
3.2.3	Evolução populacional adotada .....	14
<b>3.3</b>	<b>Taxa de geração de resíduos por habitante (kg/hab.dia)</b> .....	<b>19</b>
3.3.1	Considerações gerais .....	19
3.3.2	Evolução da quantidade de RSU para processamento na UAER .....	22
<b>4</b>	<b>ESTAÇÕES DE TRANSBORDO</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Cálculo dos custos de transbordo</b> .....	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Estação de transbordo (ET)</b> .....	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Avaliação dos custos</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIÇÃO DA USINA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS</b> .....	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>AVALIAÇÃO DO PROJETO COMO ATIVIDADE DO MDL</b> .....	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Créditos de carbono</b> .....	<b>36</b>
<b>6.2</b>	<b>Princípio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL</b> .....	<b>37</b>
<b>6.3</b>	<b>O Projeto da UAER como atividade de projeto do MDL</b> .....	<b>41</b>
6.3.1	Metodologia de Linha de Base - Prevenção de disposição RSU em aterros.....	41
<b>6.4</b>	<b>Deslocamento do despacho</b> .....	<b>46</b>
<b>6.5</b>	<b>Emissões do projeto</b> .....	<b>53</b>
<b>6.6</b>	<b>Total de emissões evitadas pelo projeto</b> .....	<b>56</b>
<b>7</b>	<b>PROPOSTAS DE FORNECIMENTO</b> .....	<b>59</b>
<b>7.1</b>	<b>Areva Koblitz</b> .....	<b>61</b>
7.1.1	Descrição técnica da proposta.....	61
7.1.2	Valor de investimento .....	63
7.1.3	Descrição do fornecimento .....	63

7.1.4	Avaliação da proposta .....	65
<b>7.2</b>	<b>CNIM .....</b>	<b>66</b>
7.2.1	Descrição técnica da proposta.....	66
7.2.2	Processo.....	68
7.2.3	Valor de investimento .....	72
7.2.4	Avaliação da proposta .....	72
<b>7.3</b>	<b>USINAVERDE.....</b>	<b>73</b>
7.3.1	Valor de investimento .....	74
7.3.2	Avaliação da proposta .....	74
<b>8</b>	<b>CENÁRIO ALTERNATIVO PARA SIMULAÇÃO - UAER.....</b>	<b>74</b>
<b>9</b>	<b>VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA MELHOR ALTERNATIVA .....</b>	<b>77</b>
<b>9.1</b>	<b>Considerações Gerais .....</b>	<b>77</b>
<b>9.2</b>	<b>Análise dos Indicadores .....</b>	<b>77</b>
9.2.1	Investimento .....	78
9.2.2	Receitas operacionais.....	79
9.2.3	Tributos e encargos variáveis .....	80
9.2.4	Custos e despesas anuais.....	81
<b>9.3</b>	<b>Financiamento e análise de investimento.....</b>	<b>84</b>
<b>9.4</b>	<b>Simulações e cenários.....</b>	<b>85</b>
9.4.1	Cenários simulados .....	85
<b>10</b>	<b>MELHOR CENÁRIO .....</b>	<b>87</b>
<b>11</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>88</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>92</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>243</b>

## 1 OBJETIVO

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM, do estado de Minas Gerais, com base na Lei Delegada nº. 156, de 25 de janeiro de 2007, regulamentada pelo Decreto 44819/2008 teve sua atribuição executiva no licenciamento ambiental transferida para unidades descentralizadas do Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA, passando a atuar com ênfase nas estratégias de busca de melhoria de qualidade ambiental e sustentabilidade do Estado, no âmbito da Agenda Marrom, incluindo o tema energia e mudanças climáticas. Nesse contexto a FEAM busca contratar serviços técnicos especializados para apoiar o desenvolvimento de novos temas com foco na formulação de diretivas e normativas legais para fortalecimento da política ambiental do Estado.

Conforme divulgado pela FEAM (2008) desenvolve-se no estado de Minas Gerais o Programa "Minas sem Lixões". Este programa foi implantado em 2003, pela própria FEAM, como uma das ações do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos" do Governo Estadual e vem apresentando resultados expressivos desde sua criação, posicionando Minas Gerais acima da média nacional na disposição adequada de resíduos sólidos urbanos, ao registrar o percentual atual de 30%.

O Projeto "Resíduo é Energia", em desenvolvimento por meio da FEAM, é realizado também no âmbito do Projeto Estruturador "Resíduos Sólidos" e pretende colaborar para a solução dos problemas gerados pelos resíduos sólidos em Minas Gerais. Assim, já foram iniciadas as pesquisas para subsidiar políticas de incentivo à construção de usinas térmicas a lixo, co-processamento de resíduos em fornos de cimento e aproveitamento do gás metano em aterros sanitários, além de soluções regionais e de inclusão social, priorizando as associações de catadores para o processo prévio de triagem e reciclagem.

O programa "Minas sem Lixões" tem como meta a ser atingida até o ano de 2011 a redução de 80% do número de lixões presentes no Estado e a disposição adequada de 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados nos municípios mineiros.

---

Dentro desse programa existem três estudos em andamento que visam atingir essa meta:

- captação de gás de aterro;
- biodigestão anaeróbia com obtenção de gás para geração de energia elétrica;
- implantação de Usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos por combustão para fins de geração de energia elétrica.

Para avaliar a alternativa de destinação final dos resíduos para destruição térmica em uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos por combustão para fins de geração de energia elétrica, a FEAM contratou serviços de consultoria especializada para desenvolver um “Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica em um município ou conjunto de municípios no estado de Minas Gerais”. Esse Estudo foi dividido em três etapas:

- Relatório 1- Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica;
- Relatório 2 - Avaliação técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais;
- Relatório 3 - Estudo prospectivo das alternativas governamentais, nacionais e internacionais, voltadas ao financiamento de plantas de geração de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos.

O presente documento constitui o segundo relatório dos serviços técnicos especializados realizados atendendo ao referido contrato.

O Relatório 1 serviu como base para a elaboração deste relatório definindo as melhores tecnologias a serem avaliadas e a região de Minas Gerais para a realização do estudo técnico e econômico.

---

O Relatório 2 tem por objetivo avaliar a viabilidade da implantação de uma usina de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos - UAER – por combustão para fins de geração de energia elétrica, que venha a atender a um agrupamento de municípios na região Sul do estado de Minas Gerais.

A implantação da Usina resultará em benefícios ambientais, tais como a geração complementar de energia elétrica e a não disposição dos resíduos dessa região no meio ambiente.

Considerando os custos elevados de investimentos e de operação de uma UAER é necessário a integração e a articulação entre os sistemas de limpeza pública de cada município, na busca de minimização dos custos de implantação e operacionais por economia de escala, podendo ser foco da criação de um consórcio intermunicipal, instituído conforme a Lei Federal 11.107, de 6 de abril de 2005, com a finalidade de organizar e conduzir ações e atividades para a gestão do sistema de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos seus municípios integrantes.

Em paralelo foi avaliada a possibilidade de obtenção de créditos de carbono, o que pode resultar, além dos benefícios em termos ambientais, na melhoria do resultado econômico e financeiro do empreendimento.

## **2 LOCALIZAÇÃO DA USINA**

Conforme a primeira etapa do Projeto, Relatório 1, a região escolhida para avaliar a viabilidade da usina de aproveitamento energético de resíduos sólidos - UAER foi localizada na região do Sul de Minas Gerais. A Figura 1 apresenta a macrolocalização da região selecionada.

O ponto central escolhido na região do Sul de Minas Gerais foi a cidade de Três Corações.

---



**Figura 1 - Macrolocalização da Usina na região do Sul de Minas Gerais**

A Figura 2 - Possível localização da planta da UAER — destaca com círculos azuis, as alternativas de macrolocalização para a construção da UAER, definidas em função da proximidade com os centros de maior concentração da população alvo do projeto.

Em conjunto com a FEAM, foram definidas duas áreas prioritárias para instalação da UAER, sendo uma delas entre os municípios Campanha, Cordislândia, Monsenhor Paulo e São Gonçalo do Sapucaí, e outra entre os municípios de Caxambu, Soledade de Minas e Conceição do Rio Verde.

As alternativas de localização também consideram a proximidade a duas subestações de baixa tensão da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), conforme (LOPES, 2009a).

E, considerando a proximidade com a Rodovia BR 381 (Fernão Dias), são estudadas no Capítulo 4 - Estações de Transbordo, do presente Relatório, as alternativas de locação e capacidade de estações de transbordo compartilhadas entre os municípios.

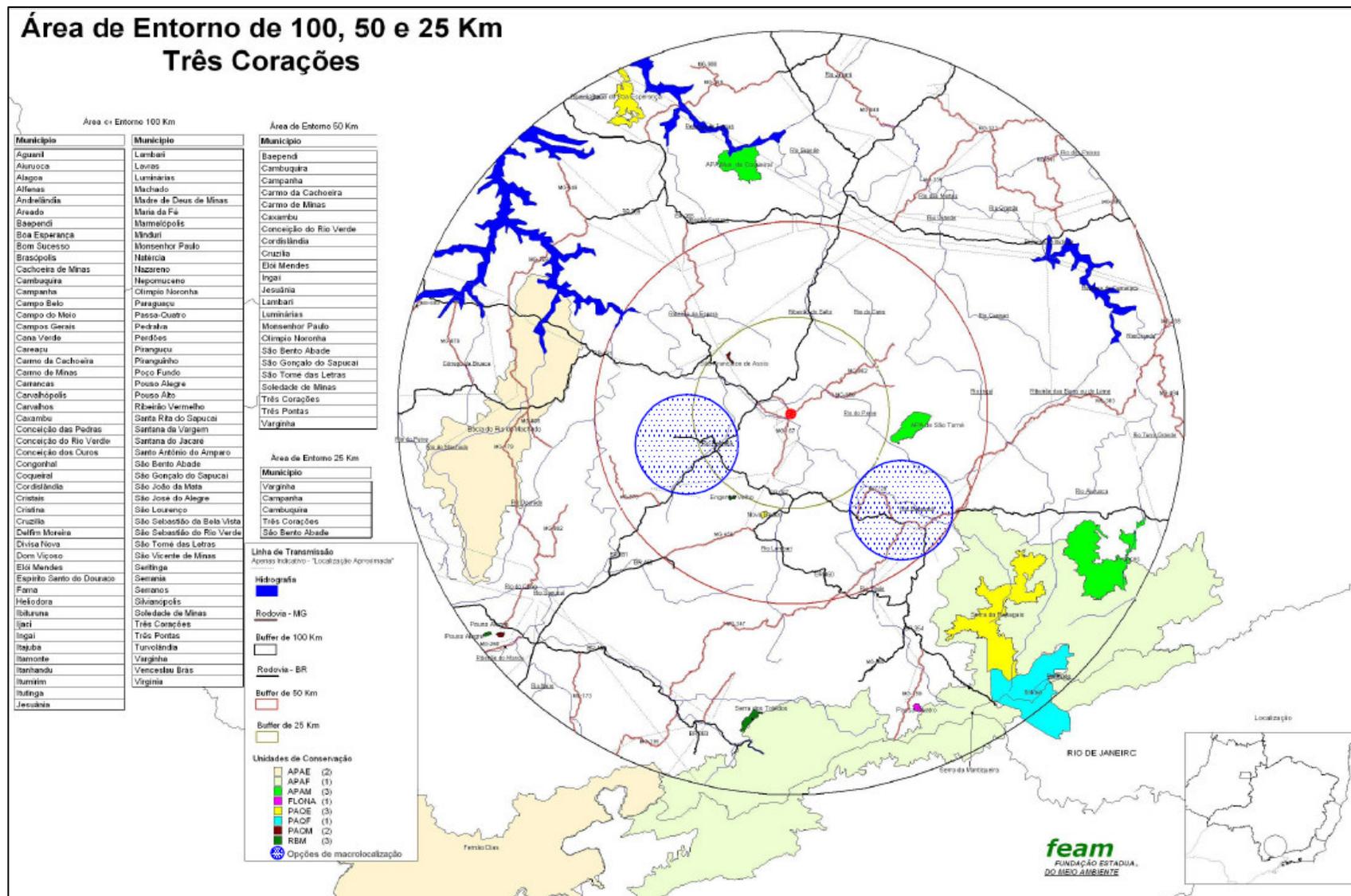


Figura 2 - Possível localização da planta da UAER

### 3 ESTUDO DA CAPACIDADE DA USINA

Este Capítulo tem como objetivo definir os cenários do estudo de viabilidade que será desenvolvido para a usina de aproveitamento energético de resíduos sólidos (UAER) considerando:

- as Metas do Programa “Minas sem Lixões”;
- a região de Três Corações;
- a população a ser atendida e sua evolução ao longo da vida útil da UAER;
- a taxa de geração de resíduos *per capita*.

#### 3.1 Considerações gerais

Existem três fatores básicos para o dimensionamento e rendimento de uma Usina Termelétrica de RSU:

- composição do resíduo a ser processado (ENGEBIO, 2009);
- quantidade de resíduo a ser processado;
- variação da quantidade e da composição dos resíduos em função da evolução das regiões ao longo dos anos.

A quantidade de geração de resíduos é proporcional à população, porém, não depende somente da população e seu crescimento.

Características de cada região, como por exemplo, o IDH, níveis econômicos, padrões de consumos, clima, características de região predominantemente rural ou urbana, entre outros fatores, refletem na taxa de geração e na composição dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

---

As características do RSU como as frações de matéria orgânica, plásticos, metais, vidros e papéis, bem como a umidade do resíduo, entre outras, intervêm diretamente no poder calorífico.

A taxa de geração intervém sobre a quantidade total de RSU gerada.

A quantidade e as características dos RSU são fatores básicos, que influenciam diretamente no porte e eficiência da UAER.

De forma simplificada se pode afirmar que a taxa de geração e a composição dos resíduos pode variar em função de diversos fatores, tais como:

- condições socioeconômicas, políticas e climáticas;
- sistema de coleta e reciclagens existentes;
- hábitos e costumes da população;
- acesso a tecnologias diferenciadas;
- variações sazonais, etc.

Para o Cenário do Brasil não há disponibilidade de informações técnicas e estatísticas confiáveis que possam fundamentar uma projeção da taxa de geração e da composição de Resíduos Sólidos Urbanos ao longo de toda a vida útil da Usina (25 anos).

Portanto, em função das informações disponíveis, será adotada no estudo uma previsão de geração de resíduos proporcional à variação do crescimento populacional, com uma composição e taxa de geração fixas, sem contemplar suas variações ao longo do tempo.

Visto a quantidade de variáveis que pode intervir em uma projeção para 25 anos (vida útil da UAER), considera-se que esta simplificação dará uma ordem de grandeza de variação de resíduos com precisão suficiente para fundamentar o pré-dimensionamento da UAER.

Observa-se que nas duas últimas estimativas de crescimento populacional do IBGE, a taxa média para os municípios da região de Três Corações apresenta um crescimento de 3,79% ao ano, conforme mostra a Tabela 1.

---

Esta taxa de crescimento, se aplicada diretamente numa projeção para os próximos 25 anos, resultaria em uma quase duplicação da população da região.

Sabe-se que estes dados não correspondem a estudos de longo prazo, que indicam que a taxa de crescimento populacional no Brasil tende a diminuir.

**Tabela 1 - População estimada pelo IBGE para a região de Três Corações**

<b>População Total 2007</b>	<b>População Total 2008</b>	<b>Crescimento (hab.)</b>	<b>Índice de crescimento-2007-2008 (%)</b>
1.556.000	1.615.021	59.021	3,79

Fonte: IBGE, 2008a.

Uma vez que os resíduos destinados à UAER serão gerados pela população urbana, que evolui ao longo dos anos, é necessário considerar a evolução desta população nos municípios. Neste estudo a população da região foi projetada até 2036. Para tanto, foi empregada, como referência, a metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros adotada por IBGE (2008b), considerando-se as hipóteses que serão descritas posteriormente.

Essa projeção populacional associada a uma taxa de geração per capita de resíduos e aos objetivos do Programa “Minas sem Lixões”, foram consideradas para estabelecimento dos módulos de capacidade da UAER.

O início de operação da UAER foi estabelecido como dezembro de 2011, considerando a meta do Programa “Minas sem Lixões”, mesmo sabendo que isso exigiria a implantação da Usina em um tempo recorde.

A seguir é apresentada a metodologia e premissas adotadas para a previsão de crescimento populacional, de geração de RSU e capacidade da UAER.

---

## 3.2 População

### 3.2.1 Dados existentes

A Projeção da População por Sexo e Idade para o Período 1980 - 2050 (Revisão elaborada por IBGE - 2008a) apresenta as projeções anuais de população total para o Brasil e estado de Minas Gerais, no período compreendido entre 1980 e 2050. Os dados de projeções de taxas de crescimento populacional, período entre 2002 e 2031, são apresentados na Tabela 2 e Figura 3.

**Tabela 2 - Projeção das Taxas de Crescimento Populacional - Minas Gerais e Brasil**

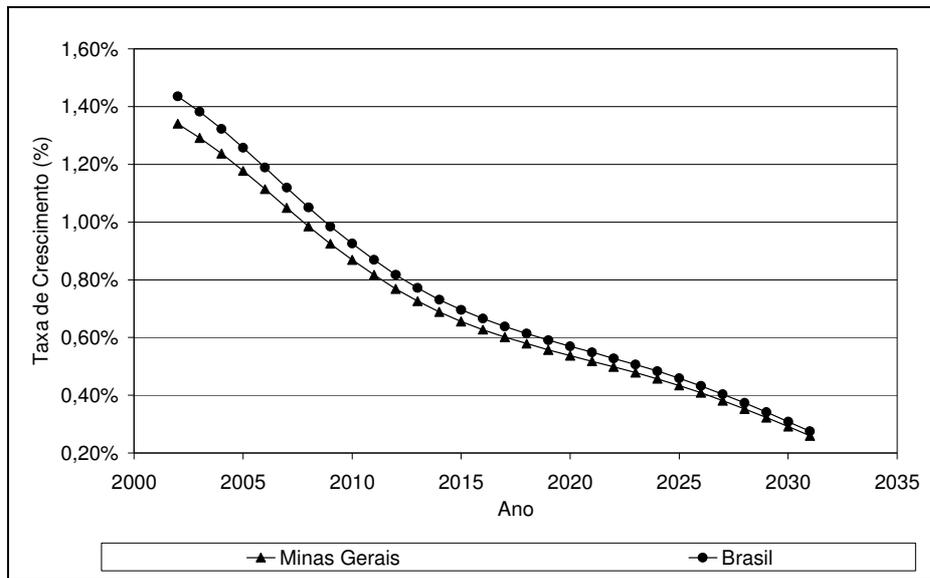
<b>Ano</b>	<b>Taxa de Crescimento projetado – MG (%)</b>	<b>Taxa de Crescimento projetado – Brasil (%)</b>
2002	1,34	1,44
2003	1,29	1,38
2004	1,24	1,32
2005	1,18	1,26
2006	1,11	1,19
2007	1,05	1,12
2008	0,99	1,05
2009	0,92	0,99
2010	0,87	0,93
2011	0,82	0,87
2012	0,77	0,82
2013	0,73	0,77
2014	0,69	0,73
2015	0,66	0,70
2016	0,63	0,67
2017	0,60	0,64

<b>Ano</b>	<b>Taxa de Crescimento projetado – MG (%)</b>	<b>Taxa de Crescimento projetado – Brasil (%)</b>
2018	0,58	0,61
2019	0,56	0,59
2020	0,54	0,57
2021	0,52	0,55
2022	0,50	0,53
2023	0,48	0,51
2024	0,46	0,48
2025	0,43	0,46
2026	0,41	0,43
2027	0,38	0,40
2028	0,35	0,37
2029	0,32	0,34
2030	0,29	0,31
2031	0,26	0,27

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da População por Sexo e Idade para o Período 1980 - 2050 - Revisão 2008

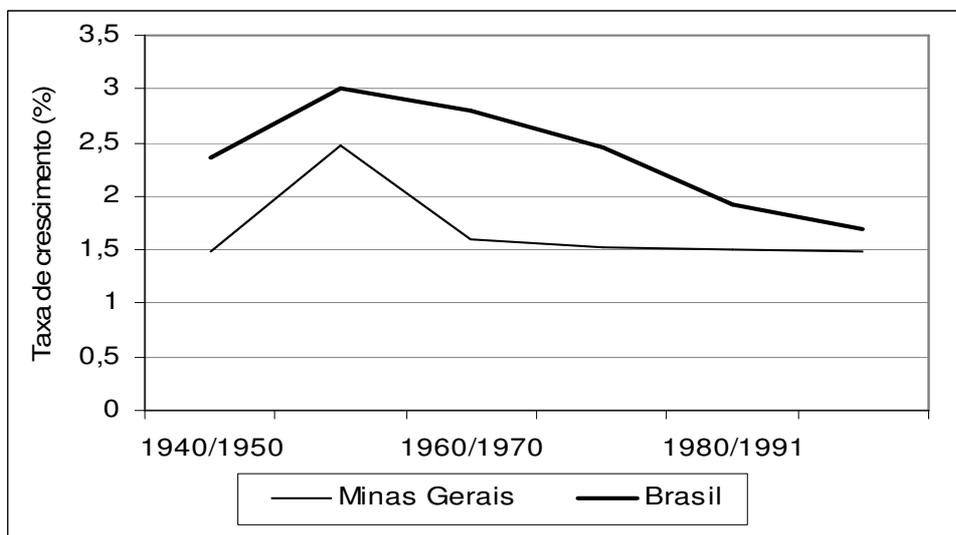
Analisando a Tabela 2 e a Figura 3, observa-se que as taxas de crescimento populacional do Brasil e Minas Gerais apresentam a mesma tendência, com diferenças entre 0,1% e 0,01%.

Em outros estudos, ainda baseados em censos do IBGE, entre 1940 e 2000, observa-se que as taxas de crescimento demográfico de Minas Gerais e do Brasil diferenciam-se por valores da ordem de 0,5% a 1,5%, conforme demonstrado na Figura 4.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da População por Sexo e Idade para o Período 1980-2050 - Revisão 2008

**Figura 3 - Projeção das Taxas de Crescimento Populacional**



Fonte: IBGE, censos demográficos 1940-2000 Apud BRITO, Fausto e HORTA, Cláudia Júlia G.: "MINAS GERAIS: CRESCIMENTO DEMOGRÁFICO, MIGRAÇÕES E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA POPULAÇÃO", 2004

**Figura 4 - Brasil e Minas Gerais: Taxa de Crescimento Populacional, 1940-2000**

### 3.2.2 Participação dos municípios na destinação de resíduos para a Usina

Outra variável importante no dimensionamento da capacidade da Usina é a participação dos municípios alvos do projeto no envio de seus resíduos a essa unidade.

A concepção do projeto considera para o seu estudo de viabilidade a implantação da Usina para atender os municípios da região em um raio de até 100 km a partir de Três Corações.

Segundo a Tabela 3 e a Tabela 4 pode-se observar que 84,4% dos municípios da região em estudo possuem de 80% a 100% dos seus resíduos domiciliares coletados e que, aproximadamente, 90% dos municípios destinam seus resíduos a lixões ou aterros controlados. Podemos, portanto, considerar que a taxa de coleta projetada para 2011 será de 100% da área Urbana.

**Tabela 3 - Municípios x Coleta de Resíduos em 2007**

Região do Estado	Número de municípios por faixa percentual de coleta de resíduo domiciliar			
	Até 50%	50 a 80%	80 a 100%	Dado não disponível
Três Corações	2	11	81	2
	2,10%	11,50%	84,40%	2,10%

Fonte: ENGEBIO, 2009

**Tabela 4 - Disposição final de resíduos sólidos urbanos total da região em 2007**

Região em Estado	Nº de sedes municipais	Número de sedes municipais e percentual da população segundo a forma de disposição final dos resíduos					
		Lixão	Aterro Control.	Aterro Sanitário	A. Sanit.+ UTC	UTC	UTC irregular
Três Corações	96	53	34	1	1	6	1
		52,83%	37,34%	5,25%	0,82%	3,47%	0,28%

Fonte: Quadro 3 – Revisado em GEDIF/ FEAM, 2009

A Tabela 5 apresenta o número de municípios e a respectiva população em raios de distâncias de 25, 50 e 100 km da região.

**Tabela 5 - Sedes municipais e População urbana**

Região em Estudo	Nº de sedes municipais (faixas à cidade polo - km)				População Urbana em 2007 (hab.) (faixas à cidade polo - km)		
	0 a 25	25 a 50	50 a 100	Total	0 a 25	25 a 50	50 a 100
Três Corações	5	18	73	96	204.536	196.634	880.611

Fonte: Quadro 3 – Revisado em GEDIF/ FEAM, 2009

O levantamento efetuado pela GEDIF/FEAM (2009), no período de 13 a 15/7/2009 (ANEXO A), sobre a atual situação de regularização ambiental dos municípios da área em estudo, em consulta ao Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM do SISEMA, identificou os municípios que possuem processos de regularização ambiental. Com base nessas informações, foi elaborada a Tabela 6, referente ao número de municípios que dispõem seus RSU em lixões ou aterros controlados, excluindo aqueles que se encontram hoje irregulares, porém com efetivo processo de regularização ambiental.

**Tabela 6 - Número de municípios em situação irregular de disposição de RSU, segundo tipo de disposição final, população urbana total e raio de distância do município à Usina - 2009**

Tipo de disposição final	Nº de municípios	Pop. Urbana 2007 (hab.)	Percentual relativo à população a ser atendida pela usina (%)	Nº de municípios e população urbana (hab.) na área em estudo		
				Até 25 km	De 25 a 50 km	De 50 a 100 km
Lixão	47	387.527	60,1	1 mun. 10.192	9 mun. 80.413	37 mun. 296.922
Aterro controlado	26	257.610	39,9	2 mun. 17.128	4 mun. 29.018	20 mun. 211.464
<b>TOTAL</b>	<b>73</b>	<b>645.137</b>	<b>100,0</b>	<b>3 mun. 27.320</b>	<b>13 mun. 109.431</b>	<b>57 mun. 508.386</b>

Fonte: Quadro 3 – Revisado em GEDIF/ FEAM, 2009

Sendo assim, fica definida como população alvo a ser atendida pela UAER a população urbana da região de Três Corações pertencente aos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização, sobre o total de 96 municípios existentes no raio de 100 km da região em estudo, apresentada no Relatório 1.

### 3.2.3 *Evolução populacional adotada*

Adotou-se o método de tendência de crescimento demográfico utilizado pelo IBGE, que tem como princípio fundamental a subdivisão de uma área maior, cuja estimativa já se conhece, em “n” áreas menores, de tal forma que seja assegurada ao final das estimativas das áreas menores, a reprodução da estimativa, previamente conhecida, da área maior através da soma das estimativas das áreas menores, conforme metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros (MADEIRA; SIMÕES, 1972 apud IBGE, 2008b).

Considerando:

- as populações urbanas nos municípios na região de Três Corações levantadas pelo IBGE nos censos demográficos de 2000 e contagem populacional de 2007;
  - população urbana da região de Três Corações pertencente aos 73 municípios sobre o total de 96 existentes no raio de 100 km da Usina (GEDIF/ FEAM, 2009);
  - as projeções de população para o Brasil, obtidas pelo método das componentes demográficas, elaboradas por IBGE (2008a);
  - o início de operação da Usina está previsto para dezembro de 2011;
  - a vida útil da Usina de 25 anos (até dezembro de 2036).
-

Assim, uma área maior cuja população estimada em um momento  $t$  é  $P(t)$ . Subdividida esta área maior em  $n$  áreas menores, cuja população de uma determinada área  $i$ , na época  $t$ , é:

$$P_i(t); i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

Desta forma, tem-se que:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) \quad (2)$$

Decompondo-se, por hipótese, a população desta área  $i$ , em dois termos:  $a_i \cdot P(t)$ , que depende do crescimento da população da área maior, e  $b_i$ . O coeficiente  $a_i$  é denominado coeficiente de proporcionalidade do incremento da população da área menor  $i$  em relação ao incremento da população da área maior e  $b_i$  é denominado coeficiente linear de correção. Como consequência, tem-se que:

$$P_i(t) = a_i \cdot P(t) + b_i \quad (3)$$

Para a determinação destes coeficientes utiliza-se o período delimitado por dois censos demográficos. Sejam  $t_0$  e  $t_1$ , respectivamente, as datas dos dois censos. Ao substituir-se  $t_0$  e  $t_1$  na equação acima, tem-se que:

$$P_i(t_0) = a_i \cdot P(t_0) + b_i \quad (4)$$

$$P_i(t_1) = a_i \cdot P(t_1) + b_i \quad (5)$$


---

Resolvendo o sistema acima, tem-se que:

$$a_i = \frac{P_i(t_1) - P_i(t_0)}{P(t_1) - P(t_0)} \quad (6)$$

$$b_i = P_i(t_0) - a_i \cdot P(t_0) \quad (7)$$

Dessa forma, para as estimativas anuais de população urbana nos municípios foi considerado nas expressões anteriores:

Época  $t_0$ : 1º de agosto de 2000 (censo demográfico);

Época  $t_1$ : 1º de abril de 2007 (contagem populacional);

Época  $t$ : 1º de julho do ano  $t$  (ano estimado).

Assim,  $P_i(t_0)$  representa a população da área  $i$ , referente ao ano de 2000, e  $P_i(t_1)$  a população da área  $i$ , referente ao ano de 2007.

A partir da aplicação do modelo descrito anteriormente, foram estimadas as populações ao longo dos anos do estado de Minas Gerais, considerando-se como área maior o Brasil, cuja projeção foi elaborada pelo Método das Componentes Demográficas (IBGE, 2008b), e como área menor o estado de Minas Gerais.

Estas estimativas foram obtidas pela aplicação do modelo de tendência, ressaltando-se que as áreas urbanas dos municípios da região de Três Corações foram consideradas como área menor em relação ao estado de Minas Gerais. Desta forma, foram obtidas as populações urbanas estimadas, em 1º de julho do ano  $t$ , deste conjunto de Municípios.

A população alvo com potencial de ser atendida pela UAER é a população urbana da região de Três Corações pertencente aos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização, apresentada na Tabela 6, projetada pela metodologia de estimativa das populações apresentada.

---

O crescimento populacional urbano projetado a partir de 2007, ano da última contagem populacional realizada pelo IBGE, empregando-se o método de estimativas populacionais adotado pelo IBGE, está apresentado na Tabela 7 e a taxa de crescimento populacional projetada para a população urbana dos municípios em estudo, comparada com as taxas Nacional e para Minas Gerais, encontra-se na Figura 5.

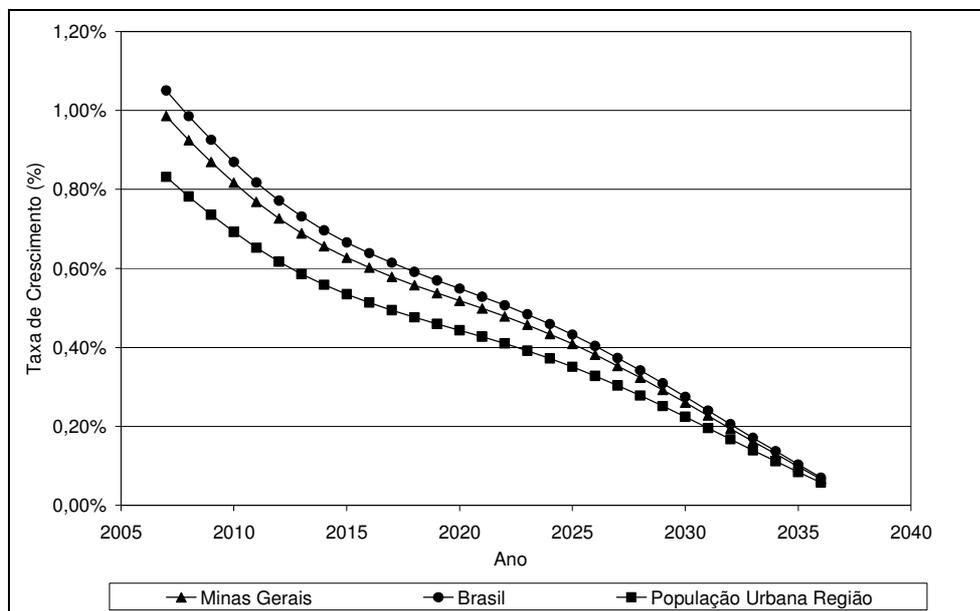
**Tabela 7 - População urbana estimada pela Engebio para a região de Três Corações (excluindo as populações dos municípios em situação regular ou em processo de regularização ambiental) e taxa de crescimento dessa população projetada pelo método de estimativa das populações**

<b>Ano</b>	<b>População urbana atendida (hab.)</b>	<b>Taxa de crescimento (%)</b>
2007	645.137	0,83
2008	650.504	0,78
2009	655.589	0,74
2010	660.414	0,69
2011	664.988	0,65
2012	669.327	0,62
2013	673.458	0,59
2014	677.403	0,56
2015	681.186	0,53
2016	684.827	0,51
2017	688.343	0,49
2018	691.746	0,48
2019	695.041	0,46
2020	698.235	0,44
2021	701.330	0,43
2022	704.326	0,41
2023	707.214	0,39
2024	709.986	0,37
2025	712.629	0,35
2026	715.130	0,33
2027	717.474	0,30
2028	719.651	0,28
2029	721.651	0,25
2030	723.466	0,22
2031	725.086	0,20

Ano	População urbana atendida (hab.)	Taxa de crescimento (%)
2032	726.504	0,17
2033	727.721	0,14
2034	728.735	0,11
2035	729.550	0,08
2036	730.166	0,06

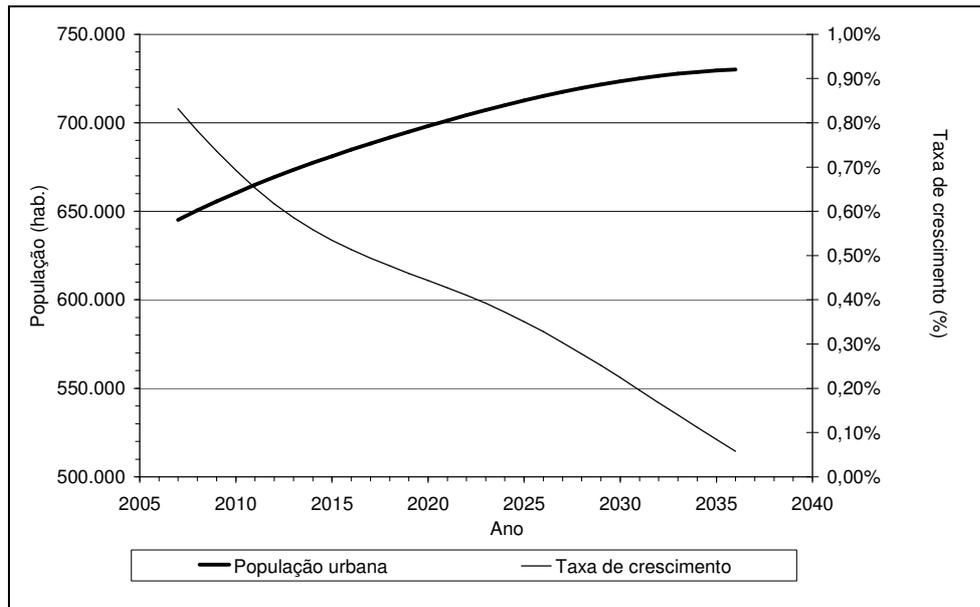
Fonte: Elaboração Engebio

A Figura 6 apresenta a projeção da população urbana da região a partir de 2007, ano da última contagem populacional realizada pelo IBGE, (excluindo as populações dos municípios em situação regular ou em processo de regularização ambiental) e a taxa percentual da evolução do crescimento demográfico.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. Projeção da População por Sexo e Idade para o Período 1980 - 2050 - Revisão 2008

**Figura 5 - Projeção de Taxas de Crescimento Populacional de Minas Gerais e Brasil**



Fonte: Elaborada pela ENGEBIO, com base em projeções efetuadas pelo método IBGE de estimativas das populações

**Figura 6 - Projeção da população urbana e taxa percentual da evolução do crescimento demográfico**

### 3.3 Taxa de geração de resíduos por habitante (kg/hab.dia)

#### 3.3.1 Considerações gerais

Novamente foram encontrados dados bastante díspares para a taxa de geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, sendo que para a evolução desta taxa ao longo dos anos praticamente nenhuma informação se encontra disponível.

A seguir serão apresentadas algumas informações existentes, buscando subsidiar a taxa a ser adotada para o estudo de viabilidade da UAER.

A Tabela 8 amostra o resultado do Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Domiciliares e de Serviços de Saúde - Prolixo da CETESB (1992). Nesse

trabalho foi estimada a geração de resíduos sólidos por habitante de acordo com o número de habitantes do município.

Esses dados foram obtidos em um número elevado de municípios do estado de São Paulo, o que confere credibilidade aos valores médios de geração de resíduos.

**Tabela 8 - Geração média de resíduos sólidos por habitante por dia**

<b>População (hab.)</b>	<b>Taxa de geração (kg/hab./dia)</b>
Até 100.000	0,4
De 100.001 a 500.000	0,5
De 500.001 a 1.000.000	0,6
Mais que 1.000.000	0,7

Fonte: CETESB, 1992

Mais recentemente, esses valores de taxas de geração de resíduos vêm sendo revistos. Como exemplo, a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), com 16,4 milhões de habitantes em 1995, teve uma geração de resíduos estimada em 0,96 kg/hab.dia (MCT, 2006).

O IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change* sugere para a taxa de disposição de resíduos no Brasil o valor de 1,47 kg/hab.dia (MCT, 2006).

A Tabela 9 apresenta a taxa de geração *per capita* de resíduos domiciliares para alguns países. Observa-se que conforme o desenvolvimento econômico do país, maior é a taxa de geração como, por exemplo, a Holanda (1,3 kg/hab.dia), a Itália (1,5 kg/hab.dia) e os EUA (3,2 kg/hab.dia).

---

**Tabela 9 - Produção *per capita* de resíduo domiciliar, segundo alguns países**

<b>País</b>	<b>Produção <i>per capita</i> (kg/hab.dia)</b>
Brasil (*)	0,73
Brasil	1,0
Holanda	1,3
Estados Unidos	3,2
Itália	1,5
Japão	1,1
Grécia	0,8
Portugal	0,6

Fontes: COUTINHO, 1999 apud AZEVEDO 2001; \*AZEVEDO, 2001

Por outro lado, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (1989) foram coletados no Brasil cerca de 242 mil t/dia de resíduos sólidos para uma população urbana de 108 milhões de habitantes (IBGE,1992), o que resulta em torno de 2,2 kg/hab.dia, valor este quatro vezes superior à estimativa da CETESB.

Ainda, segundo a contagem populacional (IBGE, 1996), aproximadamente 15% da população urbana de todo o Brasil não tem seus resíduos coletados, o que indica que, se no Brasil são coletados 2,2 kg/hab.dia, conseqüentemente são gerados 2,6 kg/hab.dia. O mesmo trabalho indica que, no estado de São Paulo, 99% da população urbana é atendida por serviços de coleta de resíduos, o que faz com que a quantidade de resíduos gerado seja praticamente igual à quantidade coletada.

A Tabela 10 apresenta a massa coletada de resíduos sólidos no Brasil segundo dados do SNIS (2005). Observa-se que esta massa média varia de 0,74 a 0,79 kg/hab.dia para populações de até 250.000 habitantes.

Tabela 10 - Massa coletada de resíduos sólidos no Brasil

Faixa populacional (hab.)	Massa coletada (RDO+RPU) (kg/hab.dia)		
	Mínima	Máxima	Média
<30.000	0,10	1,86	0,74
30.001 a 100.000	0,05	1,89	0,71
100.001 a 250.000	0,31	2,19	0,79
250.001 a 1.000.000	0,47	1,76	0,81
1.000.001 a 3.000.000	0,58	1,74	0,94
>3.000.000	0,93	1,21	1,07

Fonte: QUADRO 3.8 Relatório SNIS 2005 - \*Massa coletada (RDO+RPU) per capita em relação à população urbana, segundo porte dos municípios

O Centro Mineiro de Referência em Resíduos – CMRR - adota 0,60 para cidades menores e 0,80 para cidades maiores (MCT, 2006), critério este que é divergente ao do SNIS (2005) que apresenta taxas entre 0,74 e 0,81 kg/hab.dia para cidades com população até 500.000 habitantes.

Monteiro *et al.* (2001) afirmam que muitos técnicos consideram de 0,5 a 0,8 kg/hab.dia como a faixa de geração média para o Brasil.

Assim, para o Estudo de Viabilidade da UAER foi adotada uma taxa de geração de 0,80 kg/hab.dia como taxa média ao longo da vida útil da Usina (25 anos), dado este bastante conservador.

### 3.3.2 Evolução da quantidade de RSU para processamento na UAER

O Programa “Minas sem Lixões” tem como metas para 2011 que, no mínimo, 60% da população urbana deve ser atendida por sistemas tecnicamente adequados para tratamento ou disposição final de resíduos sólidos urbanos, além da redução de 80% no número de lixões no estado de Minas Gerais.

Com base nas metas do Programa “Minas sem Lixões” para 2011, anteriormente apresentadas, e na projeção para 2011 da população alvo a ser atendida pela UAER (população urbana da região de Três Corações pertencentes aos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização), foi elaborada a Tabela 11.

**Tabela 11 - População urbana dos municípios projetada para 2011 e metas do Programa “Minas Sem Lixões” para 2011**

<b>Tipo de disposição final</b>	<b>Nº de municípios</b>	<b>Pop. Urbana projetada para 2011 (hab.)</b>	<b>Percentual relativo à população a ser atendida pela usina</b>
Lixão	47	399.658	60,1%
Aterro controlado	26	265.330.	39,9%
<b>TOTAL</b>	<b>73</b>	<b>664.988</b>	<b>100,0%</b>
Meta “Minas sem Lixões” para 2011 – 80% dos lixões	38	319.726	48,1%
Meta “Minas sem Lixões” para 2011 – 60% população atendida por sistemas tecnicamente aceitáveis	-	398.993	60,0%

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Assim, obtemos uma população de 398.993 habitantes a ser atendida pela UAER, no início de sua operação.

Resumindo todas as premissas aqui justificadas tem-se:

- evolução da população urbana da região de Três Corações a ser atendida pela usina conforme Tabela 7 e Figura 6;
- taxa de geração de resíduos por habitante na região urbana, ao longo da vida útil da usina constante é igual a 0,8 kg/hab.dia por 365 dias/ano;
- taxa de coleta de 100% na região urbana;
- considerando a população alvo a ser atendida pela UAER, uma participação de destinação de resíduos sólidos domiciliares à usina de 60% dessa população, nos 5 primeiros anos de operação (2011 a

2015), atendendo os objetivos do Programa “Minas sem Lixões” para 2011;

- definido como metas (LOPES, 2009b), 80 e 100% dessa população para 5 a 10 anos (2016 a 2022) e 10 a 25 anos (2023 a 2036) da vida útil da Usina, respectivamente;
- início de operação da UAER em dezembro de 2011 (LOPES, 2009b).

Com estas considerações foram obtidas as quantidades de resíduos gerados e quantidades a serem encaminhadas à UAER ao longo dos anos, apresentadas na Tabela 12 e Figura 7.

**Tabela 12 - Geração e quantidade de resíduos processados ao longo dos anos**

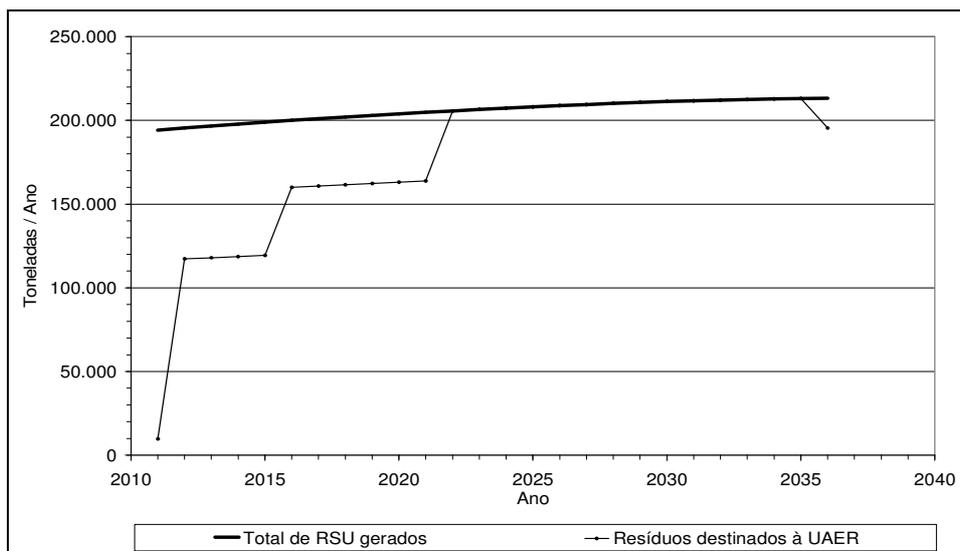
<b>Ano</b>	<b>População urbana atendida</b>	<b>Geração de RSU (t/ano)</b>	<b>RSU destinados à UAER (t/ano)</b>
2011	664.988	194.177	9.709*
2012	669.327	195.444	117.266
2013	673.458	196.650	117.990
2014	677.403	197.802	118.681
2015	681.186	198.906	119.344
2016	684.827	199.970	159.976
2017	688.343	200.996	160.797
2018	691.746	201.990	161.592
2019	695.041	202.952	162.361
2020	698.235	203.884	163.108
2021	701.330	204.788	163.831
2022	704.326	205.663	205.663
2023	707.214	206.507	206.507
2024	709.986	207.316	207.316
2025	712.629	208.088	208.088
2026	715.130	208.818	208.818
2027	717.474	209.502	209.502
2028	719.651	210.138	210.138

Ano	População urbana atendida	Geração de RSU (t/ano)	RSU destinados à UAER (t/ano)
2029	721.651	210.722	210.722
2030	723.466	211.252	211.252
2031	725.086	211.725	211.725
2032	726.504	212.139	212.139
2033	727.721	212.494	212.494
2034	728.735	212.791	212.791
2035	729.550	213.029	213.029
2036	730.166	213.208	195.441**

\*Considerando a operação da UAER apenas durante um mês no ano de 2011 (dez/2011)

\*\* Considerando a operação da UAER por 11 meses no ano de 2036 (até Nov/2036)

Fonte: Elaboração ENGEBIO



Fonte: Elaboração ENGEBIO

Figura 7 - Quantidades de resíduos gerada e processada ao longo dos anos

#### 4 ESTAÇÕES DE TRANSBORDO

O objetivo desta parte do estudo é estimar a quantidade, as localizações, capacidades e distâncias das estações de transbordo, a partir das quais o resíduo

recolhido em cada município será encaminhado à Usina. Conseqüentemente, estimar o custo do transporte dos resíduos até a UAER.

Conforme Capítulo 2 – Localização, consideraram-se duas áreas prioritárias para instalação da Usina, sendo uma delas entre os municípios de Campanha, Cordislândia, Monsenhor Paulo e São Gonçalo do Sapucaí (Área 1); e a outra entre os municípios de Caxambu, Soledade de Minas e Conceição do Rio Verde (Área 2).

Para fins de simulação, consideraram-se os municípios que se encontram dentro de uma região delimitada num raio de 100 km a partir da sede municipal Três Corações.

Foram excluídos da análise aqueles municípios que já possuem aterro sanitário ou aqueles que foram considerados em situação adequada de destinação dos seus resíduos conforme o órgão estadual de meio ambiente, FEAM. Ao todo foram analisados 73 municípios, totalizando uma população urbana de 645.137 habitantes em 2007, o que representa um potencial de geração de 516 t/dia de resíduos em 2007 e aproximadamente 584 t/dia em 2036, considerando a projeção da população urbana da região para 730.166 habitantes.

No ANEXO A é apresentada a tabela com a relação dos municípios dentro da área de estudo, indicando aqueles que ficaram de fora por já estarem atualmente em situação regular de disposição final de seus RSU.

#### **4.1 Cálculo dos custos de transbordo**

Para efeito dos cálculos e estimativas das distâncias foi considerado o município de Campanha como local da Usina para "Área 1" e a sede do município de Caxambu como local da Usina para "Área 2".

Para o levantamento das distâncias foi considerada a distância rodoviária entre as sedes municipais, com dados obtidos da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR, 2009).

---

Com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, buscou-se arranjar os municípios em agrupamentos de forma a obedecer alguns critérios, com os quais foram montadas 6 distintas situações, como segue:

### **Situação 1**

Nessa Situação o local da Usina foi a sede do município de Campanha, e os municípios foram agrupados obedecendo - dentro do possível - o limite de 25 km de deslocamento da sua coleta até a estação de transbordo. Em cada agrupamento buscou-se escolher o município de maior população para sediar a estação de transbordo. Foi levantada a distância entre as sedes de cada município do agrupamento e o transbordo e desse até a usina. Não foram agrupados para transbordo os municípios que se encontram numa distância de até 20 km da área da usina, sendo considerado que esses enviarão os resíduos diretamente para a usina.

### **Situação 2**

Idem à Situação 1, apenas mudando que a sede escolhida para a Usina foi o município de Caxambu.

### **Situação 3**

Nessa Situação considerou-se que cada um dos 73 municípios terá o seu próprio transbordo, sendo o local da usina a sede do município de Campanha. Para estimar as distâncias, nesse caso, foi feito o somatório das distâncias dos agrupamentos da Situação 1 mais a distância do local de transbordo do agrupamento até a Usina.

### **Situação 4**

Idem à Situação 3, sendo que o local da usina é a sede de Caxambu e o somatório das distâncias foi feito a partir dos agrupamentos da Situação 2.

---

### Situação 5

Idem à Situação 1, exceto que esse arranjo considerou um limite máximo de 30 km de deslocamento da coleta de cada município até a estação de transbordo. Sede da usina: Campanha.

### Situação 6

Idem à Situação 5, exceto que a sede para a usina é no município de Caxambu.

A Tabela 13, a seguir, apresenta um resumo dos dados totais obtidos conforme os diferentes arranjos (por situação).

**Tabela 13 - Dados totais das estações de transbordo**

	Sit. 1	Sit. 2	Sit. 3	Sit. 4	Sit. 5	Sit. 6
Total de estações de transbordo (un)	22	20	73	73	16	16
Estações de transbordo até 10 t/dia (un)	8	4	56	56	3	3
Estações de transbordo até 50 t/dia (un)	9	12	16	16	9	9
Estações de transbordo até 100 t/dia (un)	5	4	1	1	4	4
Distância total entre coleta e transbordo (km)	937	980	0	0	1.272	1.187
Dist. total entre estação de transbordo e usina (km)	1.905	1.970	2.842	2.950	1.375	1.584
Distância total (km)	2.842	2.950	2.842	2.950	2.647	2.771
Quantidade resíduo transportado (t/d)	468,92	468,92	468,92	468,92	468,92	468,92
Taxa resíduo	24.172,96	27.788,46	35.996,41	40.822,28	13.635,78	16.038,44

	Sit. 1	Sit. 2	Sit. 3	Sit. 4	Sit. 5	Sit. 6
transportado (km.t/d)						

Fonte: Elaboração ENGEBIO

## 4.2 Estação de transbordo (ET)

Para as estações de transbordo é necessária a implantação de estruturas adequadas de recebimento e armazenamento temporário dos resíduos, evitando o acúmulo de resíduos por longos períodos, assim como atração de vetores, ação de intempéries e contaminação da região.

Para tal definiram-se três módulos típicos de estações de transbordo (ET), de diferentes portes, para atender as situações de cada agrupamento conforme a capacidade: até 10 toneladas, acima de 10 e até 50 toneladas e acima de 50 até 100 toneladas por dia.

Os ANEXOS B a J apresentam o memorial descritivo e os desenhos preliminares para cada modelo de estação.

## 4.3 Avaliação dos custos

É necessário definir o custo de transporte, de investimento fixo e de operação da estação.

Para definir o investimento fixo para implantação e operação da ET foi levantada a quantidade de ETs necessárias por porte, e feito o orçamento para cada uma das três capacidades: 10 t/d, 50 t/d e 100 t/d, conforme tabelas abaixo.

---

A Tabela 14 a seguir, mostra a quantidade e custo fixo de investimento por unidade das Estações de Transbordo por capacidade, considerando os projetos conceituais de Estações apresentados nos ANEXOS B a J.

**Tabela 14 - Custos de investimento para implantação da estação de transbordo por porte**

	ET até 10 t/dia (un)		ET até 5-0 t/dia (un)		ET até 100 t/dia (un)		Total (R\$)
	Qtd	Custo un. (R\$)	Qtd	Custo un. (R\$)	Qtd	Custo un. (R\$)	
<b>Sit. 1</b>	8	85.560,64	9	150.651,19	5	561.075,35	4.845.722,58
<b>Sit. 2</b>	4	85.560,64	12	150.651,19	4	561.075,35	4.394.358,24
<b>Sit. 3</b>	56	85.560,64	16	150.651,19	1	561.075,35	7.762.890,23
<b>Sit. 4</b>	56	85.560,64	16	150.651,19	1	561.075,35	7.762.890,23
<b>Sit. 5</b>	3	85.560,64	9	150.651,19	4	561.075,35	3.856.844,03
<b>Sit. 6</b>	3	85.560,64	9	150.651,19	4	561.075,35	3.856.844,03

Fonte: Elaboração ENGEBIO

A Tabela 15 a seguir, mostra a quantidade e custo de operação por unidade das Estações de Transbordo por capacidade.

**Tabela 15 - Custos da operação da estação de transbordo por porte**

	ET até 10 t/dia (un)		ET até 50 t/dia (un)		ET até 100 t/dia (un)	
	Qtd	Custo un. (R\$/mês)	Qtd	Custo un. (R\$/mês)	Qtd	Custo un. (R\$/mês)
<b>Sit. 1</b>	8	2.980,96	9	7.257,60	5	16.891,20
<b>Sit. 2</b>	4	2.980,96	12	7.257,60	4	16.891,20
<b>Sit. 3</b>	56	2.980,96	16	7.257,60	1	16.891,20
<b>Sit. 4</b>	56	2.980,96	16	7.257,60	1	16.891,20
<b>Sit. 5</b>	3	2.980,96	9	7.257,60	4	16.891,20
<b>Sit. 6</b>	3	2.980,96	9	7.257,60	4	16.891,20

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Para definir o custo unitário de transporte foi empregada a metodologia de avaliação proposta no documento “Metodologia Para Auditoria De Serviços De Limpeza Urbana, Com Enfoque Nos Custos De Coleta De Resíduos Sólidos Urbanos”, do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais (TCMG, 2007). Estipulando-se, assim, uma taxa de custo que representa tonelada de resíduo por quilômetro de transporte, de R\$ 0,60/t.km. Este valor foi aferido pela experiência da Engebio (ENGEBIO, 2008) em projetos similares em que foram considerados os custos de manutenção e rodagem da frota de veículos.

A taxa de resíduo transportado representa a quantidade total de resíduos multiplicado pelo total de quilômetros de transporte. A Tabela 16 mostra o custo mensal de transporte entre as Estações de Transbordo e a Usina.

**Tabela 16 - Custo de transporte da estação de transbordo até a Usina**

	<b>Taxa de resíduo transportado (t.km/d)</b>	<b>Taxa de Custo (R\$ /t.km)</b>	<b>Dia/mês</b>	<b>Total (R\$/mês)</b>
<b>Sit. 1</b>	24.172,96	0,60	26,08	378.258,48
<b>Sit. 2</b>	27.788,46	0,60	26,08	434.833,82
<b>Sit. 3</b>	35.996,41	0,60	26,08	563.271,82
<b>Sit. 4</b>	40.822,28	0,60	26,08	638.787,04
<b>Sit. 5</b>	13.635,78	0,60	26,08	213.372,69
<b>Sit. 6</b>	16.038,44	0,60	26,08	250.969,51

Fonte: Elaboração ENGEBIO

O custo mensal final de operação é a soma da operação da ET e transporte. A Tabela 17 mostra o custo final para cada Situação estudada.

**Tabela 17 - Custo mensal final da operação**

	<b>Operação ET</b>	<b>Transporte</b>	<b>Total (R\$/mês)</b>
	<b>Total (R\$/mês)</b>	<b>Total (R\$/mês)</b>	
<b>Sit. 1</b>	173.622,08	378.258,48	551.880,56

	Operação ET	Transporte	Total (R\$/mês)
	Total (R\$/mês)	Total (R\$/mês)	
<b>Sit. 2</b>	166.579,84	434.833,82	601.413,66
<b>Sit. 3</b>	299.946,56	563.271,82	863.218,38
<b>Sit. 4</b>	299.946,56	638.787,04	938.733,60
<b>Sit. 5</b>	141.826,08	213.372,69	355.198,77
<b>Sit. 6</b>	141.826,08	250.969,51	392.795,59

Fonte: Elaboração ENGEBIO

#### 4.4 Conclusão

Analisando as simulações realizadas, o menor valor operacional foi encontrado na Situação 5. Porém, os arranjos das Situações 5 e 6 consideraram um limite máximo de 30 km de deslocamento (em comparação aos 25 km das Situações 1 e 2) da coleta de cada município até a Estação de Transbordo. Isso significa que parte desse custo é transferido para o sistema de coleta dos municípios, que terão maior distância a percorrer até a ET. Lembra-se ainda, que as Situações 3 e 4 referem-se aos cenários de implantação de uma ET em cada um dos municípios (situação avaliada apenas para fins de comparação de custos).

Considerando que normalmente o transporte de resíduos dos municípios já é um custo inerente a operação atual, os custos de implantação e operação das estações de transbordo, bem como de transporte dos RSU dessas estações até a UAER, não foram considerados como custos da Usina, portanto, não estão incluídos nos fluxos de caixa de implantação e operação da UAER, apresentados nos anexos O, P, Q, R, S e T.

A melhor opção em termos de custos, então, é a Situação 5, resumida nas Tabela 18, Tabela 19, Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 18 - Custo de operação da estação de transbordo, Situação 5

Sit. 5	ET até 10 t/dia (un)		ET até 50 t/dia (un)		ET até 100 t/dia (un)	
	Qtd	Custo un. (R\$/mês)	Qtd	Custo un. (R\$/mês)	Qtd	Custo un. (R\$/mês)
	3	2.980,96	9	7.257,60	4	16.891,20

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Tabela 19 - Custo de investimento para implantação da estação de transbordo, Situação 5

Sit. 5	ET até 10 t/dia (un)		ET até 50 t/dia (un)		ET até 100 t/dia (un)	
	Qtd	Custo un. (R\$)	Qtd	Custo un. (R\$)	Qtd	Custo un. (R\$)
	3	85.560,64	9	150.651,19	4	561.075,35

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Tabela 20 - Custo de transporte da estação de transbordo até a usina, Situação 5

Sit. 5	Taxa de resíduo transportado (t.km/d)	Taxa de Custo (R\$ /t.km)	Dia/mês	Total (R\$/mês)
	13.635,78	0,60	26,08	213.372,69

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Tabela 21 - Custo mensal final de operação, Situação 5

Sit. 5	Operação ET Total (R\$/mês)	Transporte Total (R\$/mês)	Total (R\$/mês)
	141.826,08	213.372,69	355.198,77

Fonte: Elaboração ENGEBIO

A Figura 8 mostra o mapa abrangendo toda área de estudo, indicando o agrupamento de municípios conforme a Situação 5.

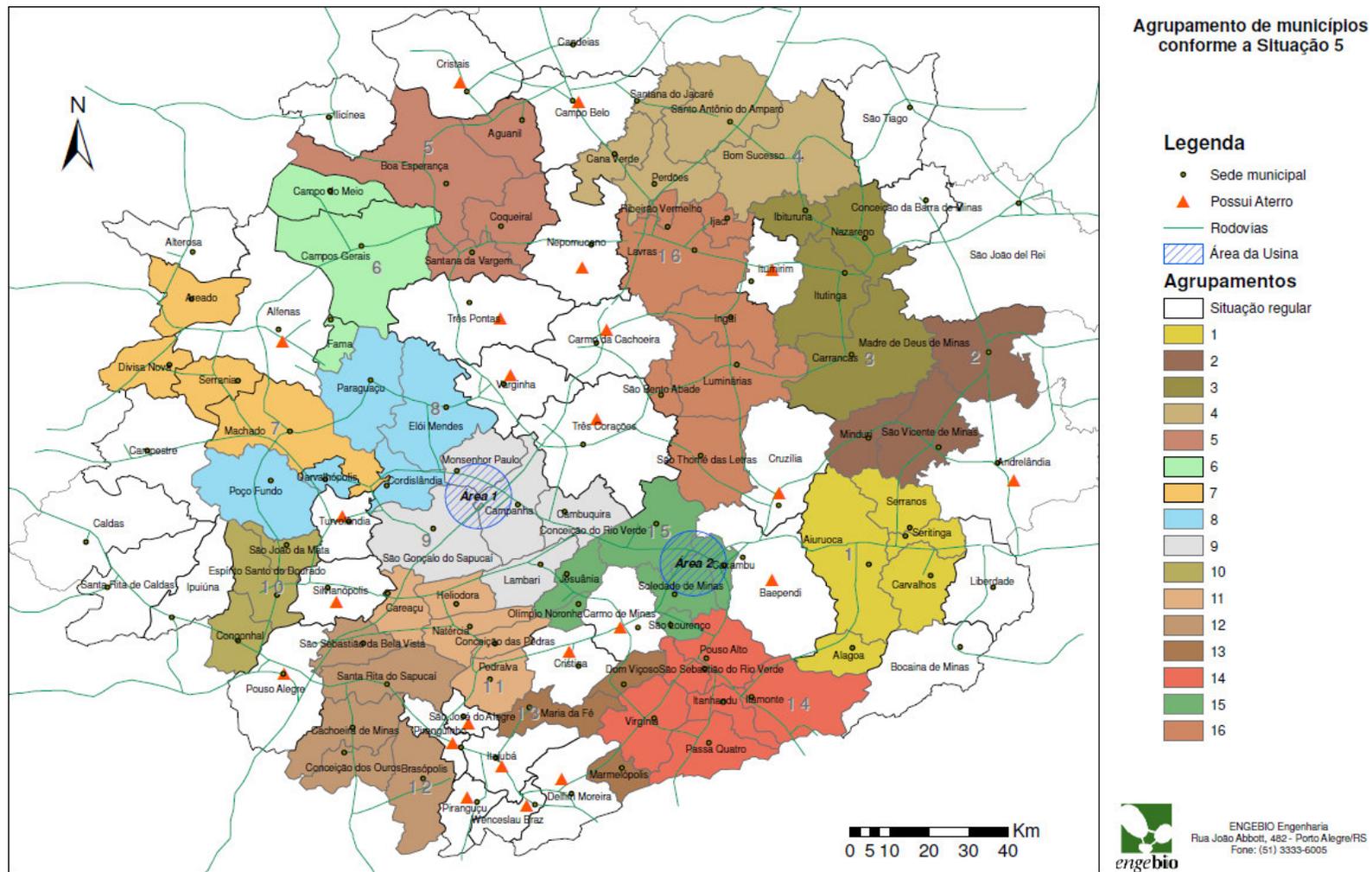


Figura 8 - Agrupamentos de Municípios por Estações de Transbordo

## 5 DESCRIÇÃO DA USINA DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS

Para a avaliação dos valores de fornecimento e tecnologias da UAER (Vide Relatório 1) foi elaborado um Termo de Referência para consulta de fornecimento da UAER considerando:

- será utilizado o conceito de “*Mass Burning*”, que significa que não haverá seleção prévia de materiais recicláveis e que na Planta da UAER haverá destruição térmica de resíduo bruto;
- a UAER deverá ser dimensionada para queimar na faixa de 350 t/dia de resíduo nos primeiros 5 anos e 640 t/dia depois de 5 anos de operação. A futura expansão poderá ser considerada após 5 anos;
- o poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos deve ser estimado pelo proponente levando em conta a composição dos resíduos considerada nesse estudo;
- o escopo de suprimento para o contrato EPC deve ser considerado na Planta da UAER desde a recepção de resíduos até os silos de cinzas e com projeto elétrico incluído.

A definição de entrada de um segundo módulo para a UAER após os primeiros 5 anos resultou de uma avaliação técnica com potenciais fornecedores da Usina.

---

## 6 AVALIAÇÃO DO PROJETO COMO ATIVIDADE DO MDL

### 6.1 Créditos de carbono

O desequilíbrio do ciclo do carbono natural, devido à queima de combustíveis fósseis extraídos de reservas naturais, tais como o carvão, o petróleo e o gás natural, é apontado como uma das principais contribuições para o acúmulo dos gases causadores do efeito estufa na atmosfera. Os principais gases causadores do efeito estufa são o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Esses gases se acumulam na atmosfera impedindo que o calor fornecido pelo sol e refletido pela superfície terrestre se dissipe.

A Assembléia Geral das Nações Unidas, em 1990, inicia formalmente negociações com vistas a estabelecer uma Convenção Quadro sobre Mudança de Clima, constituindo o chamado Comitê Interministerial de Negociação, que adotou a Convenção por consenso em 1992 na sede das Nações Unidas em Nova Iorque.

A Convenção Quadro sobre Mudança de Clima foi aberta para assinaturas na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a “Cúpula da Terra”, no Rio de Janeiro em 1992, entrando em vigor em 1994. Fica estabelecida a Conferência das Partes como seu órgão supremo, sendo uma Parte cada país signatário da Convenção.

Na terceira Conferência das Partes (COP3), foi adotado o Protocolo de Kyoto, que fixa o compromisso dos países desenvolvidos (Partes listadas no Anexo I do Protocolo) em reduzir suas emissões em 5,2%, na média, sobre os níveis de 1990, no período de 2008 a 2012. No Protocolo fica estabelecido que cada Parte deve reduzir suas emissões, podendo também comprovar a redução por meio de reduções atingidas por outras Partes, conforme mecanismos adicionais, que incluem a implementação conjunta, o comércio de reduções e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

---

O MDL é o único desses mecanismos que permite a participação de países em desenvolvimento não constantes do Anexo I como o Brasil.

Na sétima Conferência das Partes (COP7), o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo foi adotado. O propósito do MDL é assistir aos países que não fazem parte do Anexo I, para que atinjam o desenvolvimento sustentável contribuindo para o objetivo final da Convenção e para auxiliar os países do Anexo I a atingirem suas metas de redução. Para entrada em vigor, o Protocolo precisou ser ratificado por países que representam pelo menos 55% das emissões mundiais de gases causadores de aquecimento global. O Protocolo de Kyoto entrou em vigência em fevereiro de 2005 contando com a adesão de 141 membros nesta data e com abstenções dos Estados Unidos e da Austrália.

O primeiro compromisso do Protocolo de Kyoto expira em 2012, e está em fase de discussões na ONU e em alguns governos o delineamento de novas metas a serem cumpridas após 2012; com esse objetivo, neste mês de dezembro/2009 está ocorrendo uma nova reunião em Copenhague/Dinamarca (COP15).

## **6.2 Princípio do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL**

O MDL é operado pelo Comitê Executivo, pelas Autoridades Nacionais Designadas e por Entidades Operacionais Designadas.

O Conselho executivo é o órgão que supervisiona o funcionamento do MDL, agregando as tarefas de credenciar as Entidades Operacionais Designadas, registrar as atividades de projeto do MDL, emitir reduções certificadas de emissões (CER), desenvolver e operar o registro do MDL, bem como estabelecer e melhorar o aperfeiçoamento das metodologias de Linha de Base, de monitoramento e de fugas.

A autoridade Nacional Designada é o organismo indicado pelas Partes como autoridade nacional do MDL, tendo como principal função indicar se os projetos submetidos ao MDL contribuem com a sustentabilidade local.

---

As Entidades Operacionais Designadas são instituições nacionais ou internacionais que recebem credenciamento do Conselho Executivo e cujo rol de ação inclui validar atividades de projeto, verificar e certificar as reduções de emissões monitoradas.

O MDL se fundamenta na criação de organização e práticas necessárias para a operação de um fundo monetário, destinado a compensar a implantação de atividades de projeto que reduzam emissões de gases de efeito estufa que ocorreriam na sua ausência. Este fundo seria formado pelas Partes listadas no Anexo I do Protocolo de Kyoto e destinado a projetos propostos pelas outras Partes não listadas.

Chama-se Documentação de Concepção de Projeto o conjunto de documentos que serão elaborados com vistas à validação da atividade de projeto. Uma vez que o projeto contribua para o uso de tecnologias e combustíveis mais limpos, estaria contribuindo para a redução do patamar final de emissões na curva de industrialização da Parte proponente. A indicação de contribuição para a sustentabilidade e aprovação pelo país ou Parte onde o projeto será implantado é uma das premissas para a validação do projeto MDL.

Deve também ser possível justificar de maneira lógica que a iniciativa de sua implementação não é o curso de ação natural do ponto de vista de interesse econômico, legal, de costumes ou qualquer outro fato que lhe torne viável de forma usual. Isto evidencia o caráter de voluntarismo quanto à proposição do projeto, em relação ao cenário futuro mais provável.

Esse cenário futuro mais provável é chamado cenário de Linha de Base, sendo o modelo teórico sobre o qual se deverá realizar a estimativa das emissões de gases de efeito estufa que ocorrerão na hipótese de ausência do projeto.

Para criar uma Linha de Base para um projeto é necessário adotar uma metodologia de linha de base aprovada ou propor uma nova metodologia.

O que se costuma chamar de “Créditos de Carbono”, para atividades de projeto do MDL, é a diferença entre as emissões do cenário de Linha de Base e as emissões monitoradas da atividade de projeto, sendo medida em toneladas

---

equivalentes de CO<sub>2</sub>. Utiliza-se a palavra “equivalente”, pois alguns gases possuem maior potencial de aquecimento global do que o dióxido de carbono, sendo a tonelada de CO<sub>2</sub> a referência para quantificação dessas reduções.

O Anexo I do Protocolo de Kyoto especifica os gases causadores do efeito estufa e a relação de setores/categorias de fontes emissoras a serem tratados em seu âmbito (Tabela 22 e Tabela 23).

As linhas setoriais adotadas pelo painel de certificação do MDL com base no Anexo I do Protocolo de Kyoto, para apresentação de projetos são:

- produção de energia (de fontes renováveis ou não);
  - distribuição de energia;
  - consumo de energia;
  - indústrias de produção;
  - indústrias químicas;
  - construção;
  - transportes;
  - produtos minerais;
  - produção de metais;
  - emissões fugitivas de combustíveis (sólidos, líquidos e gasosos);
  - emissões fugitivas da produção e consumo de halocarbono e hexafluoreto de enxofre;
  - uso de solventes;
  - manejo e disposição final de resíduos;
  - florestamento e reflorestamento;
  - agricultura.
-

Tabela 22 - Gases de efeito estufa

Gás	Fórmula Química
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>
Metano	CH <sub>4</sub>
Óxido nitroso	N <sub>2</sub> O
Hidrofluorcarbonos	HFCs
Perfluorcarbonos	PFCs
Hexafluoreto de enxofre	SF <sub>6</sub>

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Tabela 23 - Setores e Categorias de fontes

Setor	Categoria
Energia Queima de combustível Setor energético Indústrias de transformação e de construção Transporte Outros setores Outros Emissões fugitivas de combustíveis Combustíveis sólidos Petróleo e gás natural Outros Processos Industriais Produtos minerais Indústria química Produção de metais Outras produções Produção de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre Consumo de halocarbonos e hexafluoreto de enxofre Outros	Uso de solventes e outros produtos na Agricultura Fermentação entérica Tratamento de dejetos Cultivo de arroz Solos agrícolas Queimadas prescritas de savana Queima de resíduos agrícolas Outros  Resíduos Disposição de resíduos sólidos Tratamento de esgoto Destruição térmica de resíduos Outros

Fonte: Elaboração ENGEBIO

### 6.3 O Projeto da UAER como atividade de projeto do MDL

Para estimativa da redução de emissões decorrentes da atividade de projeto de instalação da UAER na região sul do estado de Minas Gerais foi utilizada a metodologia aprovada de Linha de Base e monitoramento AM0025 / Versão 11 da *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) - Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes*.

Segundo a metodologia referida, para o cálculo da redução de emissões do projeto, deve ser aplicada a equação 8.

$$ER_y = BE_y - PE_y - L_{i,y} \quad (8)$$

Onde:

$ER_y$  = redução de emissões no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e);

$BE_y$  = emissões no cenário de Linha de Base no ano  $y$  (t CO<sub>2</sub>e);

$PE_y$  = emissões de projeto no ano  $y$  (t CO<sub>2</sub>e);

$L_{i,y}$  = Emissões a partir do resíduo do incinerador no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e).

#### 6.3.1 Metodologia de Linha de Base - Prevenção de disposição RSU em aterros

Entende-se por Linha de Base as emissões de CO<sub>2</sub> que ocorreriam na ausência do Projeto, como aquelas provenientes da disposição de RSU em lixões/aterros. A metodologia aqui utilizada para estimar essas emissões de Linha de Base se baseia na versão 04 do modelo da *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site*.

---

Essa ferramenta calcula a Linha de Base das emissões de CH<sub>4</sub> devidas à quantidade de resíduos que seriam dispostos em aterros na ausência da atividade de projeto.

### CÁLCULO DAS EMISSÕES DE CH<sub>4</sub>

A fermentação anaeróbia dos resíduos sólidos dispostos em lixões/aterros libera para a atmosfera quantidades de CH<sub>4</sub> que podem ser expressivas em função da quantidade de resíduos produzida, da composição desses e das condições de sua disposição. A quantidade de metano produzida no ano y (BE<sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub>) foi calculada conforme segue:

$$BE_{CH_4,SWDS,y} = \varphi (1-f) * GWP_{CH_4} * (1-OX) * 16/12 * F * COD_f * FCM * \sum W_{j,x} * COD_j * e^{-kj(y-x)} * (1-e^{-kj}) \quad (9)$$

Onde:

BE<sub>CH<sub>4</sub>,SWDS,y</sub> = Emissões de metano evitadas durante o ano do período de atividade do projeto devidas a prevenção de disposição RSU em aterros (tCO<sub>2</sub>e);

φ = Fator de correção do modelo devido a incertezas;

f = Fração de metano capturada e queimada nos aterros de RSU;

GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Potencial de aquecimento global do metano pelo período de 100 anos;

OX = Fator de oxidação;

F = Fração de metano no biogás de aterro;

COD<sub>f</sub> = Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe;

FCM = Fator de correção do metano (Varia em função do tipo de local onde os resíduos seriam dispostos, devendo ser considerado igual a 1,0 para o caso dos aterros);

$W_{j,x}$  = Quantidade de resíduo orgânico tipo j, evitado de ser disposto em aterros no ano x (t);

$COD_j$  = Fração de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j. Seu valor está relacionado à composição orgânica dos resíduos e depende do teor de papéis/papelões, folhas, têxteis, madeiras e restos de comida;

$k_j$  = Taxa de decaimento para o resíduo tipo j;

x = Ano durante o período de crédito: x vai do primeiro ano do primeiro período de creditação (x = 1) ao ano y para o qual são calculadas as emissões evitadas;

y = Ano para o qual são calculadas as emissões evitadas.

Onde, resíduo tipo j refere-se a fração de resíduo orgânico existente no RSU.

Os valores para os parâmetros da equação (9) empregados são estabelecidos na ferramenta metodológica utilizada e estão apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24 - Parâmetros fixos para cálculo das emissões de Linha de Base**

Parâmetro	Variável	Valor
Fator de correção do modelo	$\phi$	90%
Fração de metano capturada e queimada nos aterros	f	0,05*
Potencial de aquecimento global do metano	$GWP_{CH_4}$	21
Fator de Oxidação: SEM cobertura por solo ou composto	OX	0
Fração de metano no biogás de aterro	F	50%
Fração de carbono orgânico degradável que se decompõe	$COD_f$	50%
Fator de correção de metano: disposição anaeróbia dos RSU	FCM	1

\*Dado de pesquisas realizadas pela empresa Engebio ainda não divulgados  
Fonte: UNFCCC, 2008

As frações mássicas de carbono orgânico degradável no resíduo tipo j (COD<sub>j</sub>), em base úmida, juntamente com a composição dos resíduos, são apresentadas na Tabela 25.

**Tabela 25 - Frações mássicas de carbono orgânico degradável por tipo de resíduo e composição dos RSU**

Item	Matéria Orgânica	Papel Papelão	Madeira	Têxtil	Plástico Vidro Metal	Outros
Composição dos resíduos - %	66,5	10,1	NA	NA	15	8,4
COD <sub>j</sub> (valores sugeridos por UNFCCC, 2008) - %	15	40	43	24	0	0

Fonte: ENGEBIO, 2009; UNFCCC, 2008

Para as taxas de decaimento do resíduo tipo j, foram aplicados os valores padrão estabelecidos na ferramenta metodológica utilizada, em função dos dados climáticos da região de instalação da atividade de projeto, apresentados na Tabela 26.

**Tabela 26 - Dados climatológicos de Minas Gerais**

T <sub>am</sub> – Temperatura anual média (°C) <sup>(1)</sup>	21
P <sub>am</sub> – Precipitação anual média (mm) <sup>(1)</sup>	1600
I <sub>aridez</sub> – Índice de aridez <sup>(2)</sup>	5

<sup>(1)</sup> Fonte: SIMGE, 2009

<sup>(2)</sup> Fonte: FAO, 2009

As taxas de decaimento, para cada tipo de resíduo, utilizadas estão apresentadas na Tabela 27.

**Tabela 27 - Taxas de decaimento (k) por tipo de resíduo**

Tipos de resíduos	Restos de alimentos	Papel Papelão	Madeira	Têxtil	Resíduos de jardins
T <sub>am</sub> > 20°C e P <sub>am</sub> > 1000 mm	0,4	0,07	0,035	0,07	0,17

Fonte: UNFCCC, 2008

Com  $x = 1$  e  $y$  variando de 1 até 25, a quantidade de metano de Linha de Base por tonelada de resíduos para cada ano da atividade de projeto, calculada conforme a metodologia referida, é apresentada na Tabela 28.

**Tabela 28 - Emissões da Linha de Base por tonelada de resíduo a cada ano**

<b>Ano após a disposição</b>	<b>t CO<sub>2</sub>e/t<sub>resíduo</sub></b>
1	0,213167
2	0,147174
3	0,102648
4	0,072532
5	0,052092
6	0,038156
7	0,028596
8	0,021983
9	0,017360
10	0,014084
11	0,011722
12	0,009985
13	0,008677
14	0,007666
15	0,006863
16	0,006208
17	0,005661
18	0,005192
19	0,004784
20	0,004422
21	0,004097
22	0,003803
23	0,003534
24	0,003287
25	0,003060

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Considerando as emissões de Linha de Base por tonelada de resíduo em cada ano, apresentados na Tabela 28 e as quantidades estimadas de resíduos a

---

serem destinados à UAER apresentadas na Tabela 12, as emissões de Linha de Base a cada ano da atividade de projeto ( $BE_{CH_4,SWDS,y}$ ) em  $tCO_2e$  foram calculadas e são apresentadas na Tabela 29.

#### 6.4 Deslocamento do despacho

A Linha de Base relativa à parte de deslocamento do despacho do projeto é a emissão de gases de efeito estufa da geração elétrica de várias usinas de geração brasileiras, gerando a mesma quantidade de eletricidade que a Usina está produzindo, na margem do sistema elétrico. Na margem da rede, a eletricidade gerada está associada com o fator de emissão de carbono, devido aos geradores de combustível fóssil em operação.

A metodologia de Linha de Base escolhida para o cálculo do fator de emissão (*Tool to calculate the emission factor for an electricity system - UNFCCC-CDM - Versão 01.1*) considera a determinação do fator de emissão da rede com que a atividade de projeto faz conexão, sendo esse fator o dado principal a ser determinado no cenário de Linha de Base.

Os dados necessários para essa estimativa estão disponibilizados no *site* do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2009).

Resumidamente, o fator de emissão do sistema interligado para fins de MDL é uma combinação do fator de emissão da margem de operação ( $EF_{grid,OM}$ ), que reflete a intensidade das emissões de  $CO_2$  da energia despachada na margem, com o fator de emissão da margem de construção ( $EF_{grid,BM}$ ), que mostra a intensidade das emissões de  $CO_2$  das últimas usinas construídas. É um algoritmo amplamente utilizado para quantificar a contribuição futura de uma usina que vai gerar energia elétrica para a rede em termos de redução de emissões de  $CO_2$  em relação a um cenário de base. Esse fator serve para quantificar a emissão que está sendo deslocada na margem (MCT, 2009).

---

Tabela 29 - Emissões da Linha de Base a cada ano da atividade de projeto

Resíduos (t/ano) - A <sub>MSW</sub>		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
9.709		2.070	1.429	997	704	506	370	278	213	169	137	114	97	84
117.266			24.997	17.259	12.037	8.505	6.109	4.474	3.353	2.578	2.036	1.652	1.375	1.171
117.990				25.152	17.365	12.111	8.558	6.146	4.502	3.374	2.594	2.048	1.662	1.383
118.681					25.299	17.467	12.182	8.608	6.182	4.528	3.394	2.609	2.060	1.672
119.344						25.440	17.564	12.250	8.656	6.217	4.554	3.413	2.624	2.072
119.982							25.576	17.658	12.316	8.702	6.250	4.578	3.431	2.638
160.797								34.277	23.665	16.506	11.663	8.376	6.135	4.598
161.592									34.446	23.782	16.587	11.720	8.418	6.166
162.361										34.610	23.895	16.666	11.776	8.458
163.108											34.769	24.005	16.743	11.830
163.831												34.923	24.112	16.817
205.663	BE <sub>CH4,SWDS,y</sub>												43.841	30.268
206.507	(tCO <sub>2</sub> e)													44.020
207.316														
208.088														
208.818														
209.502														
210.138														
210.722														
211.252														
211.725														
212.139														
212.494														
212.791														
213.029														
195.441														
Σ BE <sub>CH4,SWDS,y</sub> (tCO <sub>2</sub> e)		2.070	26.426	43.407	55.405	64.030	70.360	83.692	93.334	100.466	105.878	110.105	122.272	131.177

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Tabela 29 (cont.) - Emissões da Linha de Base a cada ano da atividade de projeto

Resíduos (t/ano) - A <sub>MSW</sub>		2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	
9.709		74	67	60	55	50	46	43	40	37	34	32	30	28	
117.266		1.018	899	805	728	664	609	561	519	480	446	414	386	359	
117.990		1.178	1.024	904	810	733	668	613	564	522	483	449	417	388	
118.681		1.391	1.185	1.030	910	815	737	672	616	568	525	486	451	419	
119.344		1.681	1.399	1.192	1.036	915	819	741	676	620	571	528	489	454	
119.982		2.083	1.690	1.406	1.198	1.041	920	823	745	679	623	574	531	492	
160.797		3.535	2.791	2.265	1.885	1.606	1.395	1.233	1.104	998	910	835	769	711	
161.592		4.621	3.552	2.805	2.276	1.894	1.614	1.402	1.239	1.109	1.003	915	839	773	
162.361		6.195	4.643	3.569	2.819	2.287	1.903	1.621	1.409	1.245	1.114	1.008	919	843	
163.108		8.497	6.224	4.664	3.586	2.832	2.297	1.912	1.629	1.415	1.250	1.119	1.013	923	
163.831		11.883	8.534	6.251	4.685	3.602	2.844	2.307	1.920	1.636	1.422	1.256	1.124	1.017	
205.663	<b>BE<sub>CH4,SWDS,v</sub></b>  <b>(tCO<sub>2</sub>e)</b>	21.111	14.917	10.713	7.847	5.881	4.521	3.570	2.897	2.411	2.054	1.785	1.577	1.411	
206.507		30.392	21.198	14.978	10.757	7.879	5.905	4.540	3.585	2.908	2.421	2.062	1.792	1.583	
207.316		44.193	30.512	21.281	15.037	10.799	7.910	5.928	4.557	3.599	2.920	2.430	2.070	1.799	
208.088			44.357	30.625	21.360	15.093	10.840	7.940	5.950	4.574	3.612	2.931	2.439	2.078	
208.818				44.513	30.733	21.435	15.146	10.878	7.968	5.971	4.590	3.625	2.941	2.448	
209.502					44.659	30.833	21.505	15.196	10.913	7.994	5.991	4.606	3.637	2.951	
210.138						44.794	30.927	21.570	15.242	10.946	8.018	6.009	4.619	3.648	
210.722							44.919	31.013	21.630	15.284	10.977	8.040	6.026	4.632	
211.252								45.032	31.091	21.685	15.322	11.005	8.061	6.041	
211.725									45.133	31.160	21.733	15.357	11.029	8.079	
212.139										45.221	31.221	21.776	15.387	11.051	
212.494											45.297	31.274	21.812	15.413	
212.791												45.360	31.317	21.843	
213.029													45.411	31.352	
195.441														41.662	
<b>∑ BE<sub>CH4,SWDS,y</sub> (tCO<sub>2</sub>e)</b>			<b>137.852</b>	<b>142.991</b>	<b>147.062</b>	<b>150.379</b>	<b>153.152</b>	<b>155.525</b>	<b>157.595</b>	<b>159.426</b>	<b>161.063</b>	<b>162.539</b>	<b>163.874</b>	<b>165.085</b>	<b>162.396</b>

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Os fatores de Emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil para os três últimos anos, conforme MCT (2009) são apresentados na Tabela 30.

**Tabela 30 - Fatores anuais de emissão de CO<sub>2</sub> pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional Brasileiro**

Ano y	EF <sub>grid,BM,y</sub> (t CO <sub>2</sub> /MWh)	EF <sub>grid,OM,y</sub> (t CO <sub>2</sub> /MWh)
2006	0,0814	0,3232
2007	0,0775	0,2909
2008	0,1458	0,4766
Média	*	0,3636

Fonte: Adaptado de MCT, 2009

\* - o fator de emissão da margem de construção, EF<sub>grid,BM,y</sub>, por definição conforme a ferramenta metodológica “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, representa a intensidade das emissões de CO<sub>2</sub> das últimas 5 usinas construídas ou o conjunto de usinas com capacidade de incremento de 20% no sistema de geração de energia elétrica (em MWh) e que foram mais recentemente construídas. A mesma ferramenta metodológica estabelece que seja empregado no cálculo o valor mais recente disponível, ou seja os valores de 2008, diferentemente do fator de emissão na margem de operação EF<sub>grid,OM,y</sub>, cujo valor deve ser aquele formado pela média histórica dos últimos três anos disponíveis, avaliados na data de submissão do projeto. Nesse caso, 2006, 2007 e 2008.

Ou seja, o valor do fator de emissão é atualizado em virtude da construção de novas usinas de geração de energia.

Para cálculo do fator de emissão de CO<sub>2</sub> de margem combinada foi empregada a equação 10.

$$EF_{grid,CM,y} = EF_{grid,OM,y} \cdot W_{OM} + EF_{grid,BM,y} \cdot W_{BM} \quad (10)$$

Onde:

$EF_{grid,CM,y}$  = Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de margem combinada no ano y (tCO<sub>2</sub>/MWh);

$EF_{grid,BM}$  = Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de margem de construção no ano de 2008 (tCO<sub>2</sub>/MWh);

$EF_{grid,OM,y}$  = Fator de emissão de CO<sub>2</sub> de margem de operação média entre os anos de 2006 e 2008 (tCO<sub>2</sub>/MWh);

$w_{OM}$  = Fator de ponderação para as emissões na margem de operação (%);

$w_{BM}$  = Fator de ponderação para as emissões na margem de construção (%).

Os valores padrão para  $w_{OM}$  e  $w_{BM}$  foram assumidos, conforme a ferramenta metodológica utilizada, para atividades de projeto diferentes de atividades de projeto de geração de energia eólica ou solar iguais a 0,5 no primeiro período de creditação.

Assim:

$$EF_{grid,CM,y} = 0,1458 \cdot 0,5 + 0,3636 \cdot 0,5$$

$$EF_{grid,CM,y} = 0,2547 \text{ tCO}_2\text{e/MWh}$$

As emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho da atividade de projeto foram calculadas conforme segue:

$$BE_{elec,y} = EG_{m,y} * EF_{grid,CM,y} \quad (11)$$

Onde:

$BE_{elec,y}$  = Emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho da atividade de projeto no ano y (tCO<sub>2</sub>e/ano);

$EG_{m,y}$  = Quantidade de energia elétrica gerada pela atividade de projeto no ano  $y$  (MWh).

A quantidade de energia elétrica gerada pela atividade de projeto e entregue à rede pela planta “ $m$ ” no ano  $y$ , foi calculada conforme a equação 12:

$$EG_{m,y} = (FC_{i,m,y} / T_{grid,y} \cdot PCI \cdot \eta) / 0,0000012 \quad (12)$$

Onde:

$FC_{i,m,y}$  = Quantidade de RSU consumida pela planta para geração de energia elétrica no ano  $y$  (kg/ano);

$T_{grid,y}$  = Disponibilidade da planta em h/ano;

PCI = Poder calorífico inferior dos RSU queimados na planta no ano  $y$  (kcal/kg);

$\eta$  = Fator de conversão de energia na planta (%);

0,0000012 = Fator de conversão de unidades.

Para o cálculo da energia gerada foram adotadas as seguintes considerações:

- toda potência disponível seja convertida em energia elétrica;
  - disponibilidade de capacidade igual a 8.000 horas por ano;
  - quantidade de RSU consumida pela planta igual à quantidade de RSU a ser destinada para a UAER apresentada na Tabela 12;
  - PCI igual a 1650 kcal/kg;
  - fator de conversão de energia de 26%.
-

Assim, os valores de  $BE_{elec,y}$ , para cada ano da atividade de projeto foram calculados e são apresentados na Tabela 31.

**Tabela 31 - Emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho**

<b>Ano (y)</b>	<b>EG<sub>m,y</sub> (MWh)</b>	<b>BE<sub>elec,y</sub> (tCO<sub>2e</sub> / ano)</b>
2011	4.850	1.235
2012	58.574	14.918
2013	58.936	15.010
2014	59.281	15.098
2015	59.612	15.182
2016	59.931	15.263
2017	80.318	20.456
2018	80.715	20.557
2019	81.100	20.655
2020	81.472	20.750
2021	81.833	20.842
2022	102.729	26.163
2023	103.150	26.271
2024	103.554	26.374
2025	103.940	26.472
2026	104.305	26.565
2027	104.646	26.652
2028	104.964	26.733
2029	105.256	26.807
2030	105.520	26.874
2031	105.757	26.934
2032	105.964	26.987
2033	106.141	27.032
2034	106.289	27.070
2035	106.408	27.100
2036	97.623	24.863
<b>Total</b>	<b>2.272.868</b>	<b>578.863</b>

Fonte: Elaboração ENGEBIO

## 6.5 Emissões do projeto

O gás oriundo do processo de destruição térmica dos resíduos pode conter pequenas quantidades de metano e óxido nítrico. Além disso, a destruição térmica de resíduos de origem fóssil gera emissões de CO<sub>2</sub> que devem ser contabilizadas. A metodologia aplicada para estimar essas emissões foi a *Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes (AM0025/Version 11)*.

As emissões do projeto no ano y são:

$$PE_y = PE_{i,f,y} + PE_{i,s,y} \quad (13)$$

Onde:

$PE_y$  = emissões do projeto no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$PE_{i,f,y}$  = emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da combustão dos resíduos de origem fóssil no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$PE_{i,s,y}$  = emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> oriundas da combustão dos resíduos no ano y (tCO<sub>2</sub>e).

### EMISSÕES DOS RESÍDUOS DE ORIGEM FÓSSIL

As emissões de CO<sub>2</sub> são calculadas com base na quantidade de resíduos alimentados na planta de destruição térmica (UAER), no conteúdo de carbono fóssil-derivado e na eficiência da combustão. A estimativa de emissões pode ser feita da seguinte maneira:

---

$$PE_{i,f,y} = A_{MSW,y} * FCF_{MSW} * EF * 44/12 \quad (14)$$

Onde:

$PE_{i,f,y}$  = emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da combustão dos resíduos de origem fóssil no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

$A_{MSW,y}$  = Quantidade de RSU alimentado na UAER (t/ano);

$FCF_{MSW}$  = Fração de carbono fóssil no RSU (%);

EF = Eficiência da combustão (%);

44/12 = Fator de conversão de carbono para dióxido de carbono.

Neste estudo, os resíduos de origem fóssil são os resíduos de origem carbono-fóssil (não degradável) existentes nos RSU, neste caso os resíduos de plásticos e borrachas.

Para a definição de  $FCF_{MSW}$  foi considerado, conservadoramente, que toda a massa de plásticos compõe a fração de carbono fóssil existente no RSU (%). Portanto, conforme dados da Tabela 19 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos no Sul de Minas Gerais, do Relatório 1 - Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica, por ENGEBIO (2009), foi assumido o valor para  $FCF_{MSW}$  de 9%.

A eficiência de combustão (EF) foi considerada igual a 100% (IPCC,2006).

Os valores calculados para  $A_{MSW}$  para cada ano y de atividade do projeto, são aqueles apresentados na Tabela 29.

Empregando a equação 14 se obtêm os valores de  $PE_{i,f,y}$  para cada ano da atividade de projeto apresentados na Tabela 32.

---

## EMISSÕES DECORRENTES DO PROCESSO DE DESTRUIÇÃO TÉRMICA

As emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> podem ser estimadas da seguinte maneira:

$$PE_{i,s,y} = Q_{\text{biomass},y} * (EF_{\text{N}_2\text{O}} * GWP_{\text{N}_2\text{O}} + EF_{\text{CH}_4} * GWP_{\text{CH}_4}) * 10^{-3} \quad (15)$$

Onde:

PE<sub>i,s,y</sub> = emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> oriundas da combustão dos resíduos no ano y (tCO<sub>2</sub>e);

Q<sub>biomass,y</sub> = Quantidade de biomassa presente no resíduo queimado no ano y (t/ano);

EF<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = Fator de emissão de N<sub>2</sub>O para combustão de resíduos (kg N<sub>2</sub>O/t de RSU) (0,067);

EF<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Fator de emissão de CH<sub>4</sub> para combustão de resíduos (kg CH<sub>4</sub>/t de RSU) (0,2);

GWP<sub>N<sub>2</sub>O</sub> = Potencial de aquecimento global do N<sub>2</sub>O (tCO<sub>2</sub>e/t) (310);

GWP<sub>CH<sub>4</sub></sub> = Potencial de aquecimento global do CH<sub>4</sub> (tCO<sub>2</sub>e/t) (21).

Os valores de EF foram obtidos do *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Chapter 5: Incineration and Open Burning of Waste* (IPCC, 2006).

Os valores de potencial de aquecimento global (GWP) foram obtidos em (UNFCCC, 2009).

A fração de biomassa (matéria orgânica, madeira, papel/papelão, couro) calculada a partir da análise gravimétrica é de 68,4%. Assim, são calculadas as quantidades de biomassa em cada ano de atividade do projeto e de emissões de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O geradas a partir da destruição térmica de biomassa. Os resultados são apresentados na Tabela 32.

---

### EMISSIONES DECORRENTES DO RESÍDUO APÓS A DESTRUIÇÃO TÉRMICA

As emissões causadas pelos resíduos restantes após o processo de destruição térmica devem ser contabilizadas de acordo com a seguinte equação:

Se o resíduo do incinerador contiver mais de 5% de carbono <sup>1</sup>

$$L_{i,y} = A_{\text{residual},y} * 0,05 * 44/12 + A_{\text{residual},y} * (FC_{\text{residual}} - 0,05) * 16/12 * 21 \quad (16)$$

Onde:

$L_{i,y}$  = Emissões a partir do resíduo do incinerador no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e);

$A_{\text{residual},y}$  = Quantidade de resíduo do incinerador (t/ano);

$FC_{\text{residual}}$  = Fração de carbono residual contido no resíduo (%);

44/12 = Fator de conversão de carbono para dióxido de carbono;

16/12 = Fator de conversão de carbono para metano;

21 = Potencial de aquecimento do metano (tCO<sub>2</sub>/tCH<sub>4</sub>).

## **6.6 Total de emissões evitadas pelo projeto**

A partir das emissões estimadas para a Linha de Base e daquelas provenientes do projeto será calculada a quantidade total de emissões evitadas pelo projeto:

---

<sup>1</sup> Neste caso será assumido que todo carbono no resíduo da combustão será convertido a metano. Esta consideração é incluída para oferecer um incentivo para os proponentes do Projeto para que operem eficientemente o incinerador.

---

Total de emissões evitadas (TEE) = Emissões da Linha de Base – Emissões do projeto.

$$TEE = BE_{CH_4,SWDS,y} + BE_{elec,y} - PE_y - L_{i,y} \quad (17)$$

Onde:

$BE_{CH_4,SWDS,y}$  = Emissões de metano evitadas durante o ano do período de atividade do projeto devidas a prevenção de disposição RSU em aterros (tCO<sub>2</sub>e) – Tabela 29;

$BE_{elec,y}$  = Emissões de Linha de Base de deslocamento de despacho da atividade de projeto no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e/ano) – Tabela 31;

$PE_y$  = emissões do projeto no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e);

$L_{i,y}$  = Emissões a partir do resíduo do incinerador no ano  $y$  (tCO<sub>2</sub>e).

Os resultados de  $PE_y$ ,  $L_{i,y}$  e TEE para cada ano da atividade de projeto são apresentados na Tabela 32, bem como as variáveis  $PE_{i,f,y}$ ,  $Q_{biomass,y}$  e  $PE_{i,s,y}$ .

O valor da quantidade de resíduo gerada no incinerador ( $A_{residual,y}$ ) foi assumido pela consultoria, em função da experiência acumulada em outros projetos, como um percentual de 10% de cinzas, resultantes da combustão do resíduo sólido alimentado na UAER, ou seja  $A_{residual}$  para o ano  $y$  corresponde a 10% de  $A_{MSW}$  no mesmo ano  $y$ , e para a fração residual de carbono no resíduo ( $FC_{residual}$ ), foi adotado um valor conservador de 5%. Assim, os resultados foram calculados e apresentados na Tabela 32.

---

Tabela 32 - Emissões do projeto em cada ano y

Ano	A <sub>residual,y</sub> (t/ano)	PE <sub>i,f,y</sub> (tCO <sub>2</sub> e)	Q <sub>biomass,y</sub> (t/ano)	PE <sub>i,s,y</sub> (tCO <sub>2</sub> e)	PE <sub>y</sub> (tCO <sub>2</sub> e)	L <sub>i,y</sub> (tCO <sub>2</sub> e)	TEE (tCO <sub>2</sub> e)
2011	971	3.204	7.437	186	3.390	178	-263
2012	11.727	38.698	89.826	2.243	40.941	2.150	-1.747
2013	11.799	38.937	90.380	2.257	41.193	2.163	15.060
2014	11.868	39.165	90.910	2.270	41.435	2.176	26.893
2015	11.934	39.383	91.417	2.283	41.666	2.188	35.358
2016	11.998	39.594	91.906	2.295	41.889	2.200	41.535
2017	16.080	53.063	123.171	3.076	56.139	2.948	45.061
2018	16.159	53.325	123.779	3.091	56.416	2.963	54.513
2019	16.236	53.579	124.369	3.105	56.685	2.977	61.459
2020	16.311	53.826	124.940	3.120	56.945	2.990	66.692
2021	16.383	54.064	125.494	3.134	57.198	3.004	70.745
2022	20.566	67.869	157.538	3.934	71.803	3.770	72.863
2023	20.651	68.147	158.184	3.950	72.097	3.786	81.564
2024	20.732	68.414	158.804	3.965	72.380	3.801	88.045
2025	20.809	68.669	159.395	3.980	72.649	3.815	92.999
2026	20.882	68.910	159.955	3.994	72.904	3.828	96.895
2027	20.950	69.136	160.479	4.007	73.143	3.841	100.047
2028	21.014	69.346	160.966	4.019	73.365	3.853	102.668
2029	21.072	69.538	161.413	4.030	73.569	3.863	104.900
2030	21.125	69.713	161.819	4.041	73.754	3.873	106.842
2031	21.172	69.869	162.181	4.050	73.919	3.882	108.559
2032	21.214	70.006	162.499	4.058	74.064	3.889	110.098
2033	21.249	70.123	162.771	4.064	74.188	3.896	111.488
2034	21.279	70.221	162.998	4.070	74.291	3.901	112.752
2035	21.303	70.299	163.180	4.075	74.374	3.906	113.906
2036	19.544	64.496	149.708	3.738	68.234	3.583	115.442
<b>Total</b>	<b>455.028</b>	<b>1501.594</b>	<b>3485.518</b>	<b>87.033</b>	<b>1588.627</b>	<b>83.422</b>	<b>1.934.372</b>

Fonte: Elaboração ENGEBIO

## 7 PROPOSTAS DE FORNECIMENTO

Com o objetivo de obter informações para a estimativa dos custos de implantação e operação de uma planta de combustão de RSU para geração de energia elétrica, foram consultados os principais fornecedores detentores das tecnologias aplicáveis.

A consulta formal às empresas solicitando propostas comerciais foi feita por e-mail, tendo sido enviado a cada uma delas o documento chamado *Request For Proposal* que apresentava as condições da região de implantação do projeto, a disponibilidade de resíduos e sua composição estimada, bem como as seguintes condições gerais:

- utilização do conceito de queima em massa (*mass burning*);
  - capacidade da planta projetada para 350 t/dia, nos cinco primeiros anos de operação, e 640 t/dia após esse período; o que, respectivamente, possibilitaria a correta destinação final, de 60% dos RSU a serem gerados pelos municípios em estudo, em 2011, estimado em 312 t/dia para um *per capita* de 0,8 kg/hab.dia e uma população urbana de 390.000 hab. (isso atenderia à meta do Programa “Minas sem Lixões”), e à estimativa de resíduos para 2036, considerando o mesmo *per capita* e uma população urbana de 730.000 habitantes (584 t/dia);
  - estimativa do PCI dos resíduos, baseada na composição dos RSU da região considerada nesse projeto;
  - escopo de suprimento para um contrato EPC (*engineering, procurement and construction*) desde a recepção dos resíduos até os silos de armazenamento de cinzas;
  - solicitação de informações técnicas sobre:
    - estimativa de consumo de água pela planta;
    - tecnologia de limpeza de gases de combustão;
-

- estimativa das propriedades das cinzas geradas;
- estimativa da performance da planta;
- quantificação e qualificação de pessoal envolvido na operação;
- estimativa de consumo de insumos e reagentes;
- área e infraestrutura requeridas;
- tempo necessário para instalação da planta;
- equipamentos necessários;
- leiaute da planta;
- estimativa global de investimentos para uma planta tipo *turn-key*, com preços em separado para cada Unidade da Planta e serviços;
- exclusões de fornecimento.

As seguintes empresas foram consultadas:

- Constructions Industrielles de la Méditerranée – CNIM
- Von Roll Inova
- Foster Wheeler
- Martin
- Energy Products of Idaho
- USINAVERDE
- Kuttner/Kompogas
- Areva Koblitz
- City of Amsterdam Waste Energy Company

A Kuttner apresentou proposta alternativa de biodigestão anaeróbia (processo Kompogas).

A seguir são apresentados os descritivos técnicos das propostas comerciais de fornecimento da UAER apresentadas pelas empresas CNIM, Areva Koblitz e USINAVERDE, recebidas em resposta à solicitação de propostas *Request for Proposals*.

---

Os demais fornecedores consultados não apresentaram suas propostas, justificando a falta de disponibilidade de tempo para atender a nossa consulta de suporte ao estudo.

## 7.1 Areva Koblitz

A proposta da Areva Koblitz (ANEXOS K e L) apresenta o fornecimento de construção civil, serviços de engenharia, painéis elétricos, sistema de automação, instrumentação, equipamentos, materiais e serviços de instalação elétrica e mecânica, comissionamento, *start-up* e operação assistida necessários à implantação de uma Usina Termelétrica.

### 7.1.1 Descrição técnica da proposta

Considerando a evolução da quantidade de resíduos destinada à usina, propôs a implantação em dois módulos, o primeiro, Etapa 1, em 2011 e o segundo, Etapa 2, para entrada em operação a partir de 2016.

#### **Etapa 1**

Serão consumidas em torno de 350 toneladas por dia de resíduos com potência instalada de 8 MW<sub>el</sub>, na primeira fase.

#### **Etapa 2**

Será implantado um segundo módulo de 7 MW<sub>el</sub> na segunda fase, resultando em uma potência final total instalada de 15 MW<sub>el</sub>, correspondendo a uma carga máxima de 640 toneladas diárias quando as duas unidades estiverem em operação.

---

A usina foi dimensionada considerando o poder calorífico inferior (PCI) de 7745 kJ/kg (1850 kcal/kg) do RSU (valor médio). A eficiência térmica da planta varia entre 22 e 24%, com disponibilidade variando entre 7800 e 8200 horas por ano.

Na Etapa 1 a planta consome 725 kW<sub>el</sub> para o funcionamento e na Etapa 2 consumirá 1287 kW<sub>el</sub>.

A central geradora operará em paralelo com a concessionária de energia local, fornecendo energia elétrica às cargas auxiliares e exportando o excedente de energia gerado.

A caldeira e as torres de resfriamento serão abastecidas com água vinda do desaerador, totalizando 34 metros cúbicos por hora de consumo de água. Antes de ser utilizada, a água passa pela ETA, e depois é clarificada, desmineralizada e desaerada.

Não foram apresentadas soluções técnicas para as emissões de gases de combustão, bem como o detalhamento dos tipos de gases que podem ser emitidos e os reagentes necessários para o tratamento. Não foram encontradas na proposta referências a emissões de ruídos e odores emitidos pela UAER.

O tratamento de efluentes considerado consiste em correção de pH. Não consta a destinação dos efluentes líquidos e das cinzas produzidas, bem com suas propriedades.

Não houve menção quanto ao quadro de funcionários necessário para manter a planta em funcionamento depois da instalação, nem o tempo necessário até a conclusão da planta.

Não foi enviado o leiaute solicitado, somente o fluxograma da planta (Figura 9).

Quanto ao sistema de tratamento de gases, a proposta considera o atendimento aos padrões de emissão da Resolução CONAMA 316/2002, mas não especifica o sistema e destaca que no custo de investimento não está inclusa a aquisição de filtros de manga ou precipitadores eletrostáticos.

---

O vapor produzido pela caldeira é transportado até a casa de força, a uma vazão de 35 t/h, chegando à turbina de condensação, aonde troca calor com o vapor vindo do turbogerador. Depois de condensada, a água retorna para o desaerador, passando pelas torres de resfriamento.

Na Figura 9, é apresentado um fluxograma simplificado do ciclo de geração de energia da UAER, enviado juntamente com a proposta.

### *7.1.2 Valor de investimento*

O valor previsto pela Areva Koblitz é para a implantação em duas Etapas, de R\$ 98.995.540,00 (noventa e oito milhões novecentos e noventa e cinco mil e quinhentos e quarenta reais) e segunda de R\$ 93.995.540,00 (noventa e três milhões novecentos e noventa e cinco mil e quinhentos e quarenta reais) implantadas em 2011 e 2016, respectivamente, o que significa um valor total de investimento de R\$ 192.991.080,00 (cento e noventa e dois milhões, novecentos e noventa e um mil e oitenta reais).

### *7.1.3 Descrição do fornecimento*

O projeto civil apresentado inclui o projeto arquitetônico da usina, das fundações, leiaute das estruturas e cálculo estrutural. Na implantação da UAER serão feitos a subestação de 69,0 kV, casa de força, caldeira, ETA, ETE, balança e sistema de alimentação de RSU.

---



O projeto elétrico do fornecimento detalhará os equipamentos, sistemas e diagramas, como leiaute dos setores, esquemas de distribuição de serviços auxiliares, aterramento, projeto da subestação elevadora da UAER, etc. Os serviços de instalação elétrica cobrem o gerenciamento do projeto, análise de documentos, coordenação da obra, mão-de-obra, e também o comissionamento e treinamento de funcionários.

A proposta também inclui uma descrição do sistema de automação, que consistirá no dimensionamento, especificação e detalhamento dos equipamentos, redes de comunicação, instrumentação e softwares referentes à automação de uma UAER e uma subestação. Serão desenvolvidos os documentos e desenhos necessários tomando como base as informações fornecidas pelo cliente e as melhores práticas de projeto a cada aplicação específica.

A proposta da Areva Koblitz informa detalhadamente itens não previstos, como por exemplo, licenças e autorizações ambientais e com a ANEEL, desapropriações de terras, levantamento planialtimétrico e sondagem do terreno, sistemas de telecomunicação, circuito fechado de TV, sistema de controle, ligação e medição de transmissão de energia elétrica entre outros.

#### *7.1.4 Avaliação da proposta*

Em resumo, a proposta da Areva Koblitz não apresenta uma descrição do processo e das condições operacionais básicas dos principais equipamentos da planta.

Em sua maior parte a proposta dedica-se à especificação de critérios de projeto, descrição detalhada dos sistemas de recuperação e geração de energia, construção e montagem, civil, mecânico, elétrico, etc., que são importantes para o processo de seleção e contratação do empreendimento.

---

A proposta não fornece informações que permitam uma avaliação quanto à adequação das tecnologias que serão empregadas na Usina, tanto na combustão dos resíduos urbanos propriamente dita, quanto nas operações de limpeza e de gases e remoção de poluentes e dos fornecedores dos principais componentes da planta.

Não são apresentadas referências às unidades já implantadas por esse Proponente, tampouco são descritas as tecnologias a serem empregadas para o controle das emissões gasosas.

Areva Koblitz tem uma experiência importante no fornecimento de usinas na forma de EPC na área de energia renováveis (biomassa e eólica), porém não tem uma experiência específica em usinas com resíduos sólidos domiciliares.

## 7.2 CNIM

A proposta da CNIM (ANEXO M) propõe o fornecimento de uma usina termelétrica (UAER) de EPC apresentando o fornecimento de serviços de engenharia, obras civis, equipamentos, materiais, montagem eletro-mecânica, painéis elétricos, sistema de automação, instrumentação, e serviços de instalação elétrica e mecânica, comissionamento, *start-up* e operação assistida necessários à implantação de uma Usina Termelétrica.

### 7.2.1 Descrição técnica da proposta

Da mesma forma que a Areva Koblitz, a CNIM considerou a evolução da quantidade de resíduos destinada à usina, propôs a implantação em dois módulos, o

---

primeiro, Etapa 1, em 2011 e o segundo, Etapa 2, para entrada em operação a partir de 2016.

### **Etapa 1**

Serão consumidas em torno de 300 toneladas por dia de resíduos com um primeiro módulo de 5 MW de potência instalada.

### **Etapa 2**

Após 5 anos, na segunda fase, será implantado um segundo módulo também de 5 MW, de mesma capacidade que o primeiro, resultando em um potência final total instalado de 10 MW, que corresponde a uma carga máxima de 600 toneladas diárias quando as duas unidades estiverem em operação.

A CNIM apresentou também uma alternativa para a implementação simultânea dos módulos logo no início de operação, ou seja, em etapa única.

O poder de combustão inferior (PCI) estimado do RSU recebido pela planta foi estimado em de 6155 kJ/kg (1472 kcal/kg).

A estimativa de eficiência térmica da planta foi considerada de 25%, com disponibilidade de 8000 horas por ano.

Foi informado um consumo de energia elétrica de 0,5 MW por módulo para o consumo próprio da usina, consumo específico por tonelada de resíduo processado para cada insumo, e índices para cálculo de seguro e manutenção em função do valor fixo de investimentos.

---

### 7.2.2 Processo

Os resíduos que chegam à usina são pesados e descarregados diretamente em um fosso. Existem dois guindastes no fosso que tanto homogeneizam os resíduos, para assegurar um valor calorífico aproximadamente constante, como também para transportá-los até o funil de carga que abastece o sistema de combustão. Os guindastes são operados pelo controle central e monitorados por sistema de vídeo.

A calha de alimentação de resíduo, abaixo do funil de carga, é feita de forma que garanta que os resíduos selem a entrada de ar para a câmara de combustão, para evitar a entrada de ar e a saída de gases de combustão provenientes da fornalha. Na parte inferior da calha de alimentação, os resíduos são empurrados ao longo da esteira de alimentação para a grelha da fornalha.

O sistema de combustão Martin e seus componentes representam a tecnologia em “estado de arte”, comprovada por muitas plantas de usinas de energia pelo mundo. Uma grande variedade de classes de resíduos com diferentes valores caloríficos pode ser seguramente incinerada com bons resultados.

A grelha de ação reversa é o principal componente do sistema de combustão. Ela consiste em uma ou várias séries paralelas de grelhas inclinadas. Cada grelha tem seu próprio movimento e dispositivo de alimentação. As barras da grelha são feitas de uma liga de cromo e alumínio, que oferece boa resistência ao desgaste e a temperatura. O movimento da grelha alterna etapas fixas e móveis, empurrando os resíduos contra o sentido do fluxo. Deste modo, garante uma boa queima para o consumo de resíduos, independentemente do movimento de transporte.

O movimento de ação reversa assegura que a superfície da grelha esteja sempre coberta por uma camada protetora de resíduo ou cinzas. Assim, não ocorre o desgaste térmico devido à irradiação de calor da fornalha, tornando desnecessário o resfriamento por água.

---

O ar de combustão será aspirado na região acima do fosso dos resíduos para manter esta zona em depressão com o exterior. O ar pode passar por baixo da grelha, atravessando sua superfície e também é injetado dentro da fornalha sobre a grelha. A mistura do ar da queima e o gás de combustão sob condições turbulentas resulta em excelente queima e baixas emissões de gases.

No sistema de combustão com 3 ou mais esteiras de grelha, uma câmara com infravermelho é colocada no topo da primeira passagem para a caldeira. O sinal da distribuição de temperatura na superfície da grelha é utilizado para controlar a diminuição de calor.

O vapor super aquecido, produzido pela caldeira, alimenta um conjunto de condensação turbogerador. A água utilizada na caldeira é previamente desaerada e desmineralizada. Um condensador resfriado por ar é colocado como condensador para as turbinas de vapor. A água condensada retorna para o desaerador. A energia gerada é usada para suprir as necessidades da planta e o excesso é exportado para a rede através de um transformador.

O vapor de alta pressão pode ser bombeado diretamente para o condensador se o gerador estiver indisponível, para certificar-se que a destruição térmica dos resíduos será contínua. O vapor de média pressão pode ser utilizado para alimentar uma rede de aquecimento urbano, caso existente.

O processo de destruição térmica descrito na proposta consome 0,28 metros cúbicos de água por tonelada de resíduo.

Para o tratamento de gases de combustão, foi selecionado o processo semisseco que utiliza cal como agente neutralizante. O processo semisseco opera em três estágios garantindo a neutralização do gás ácido, eliminação de metais pesados e redução de dioxinas.

Em contato com o reagente, uma parte dos metais pesados condensa nas partículas de cal, e assim pode ser capturada pelo filtro. Além disso, para alcançar os limites de emissões, o sistema é completado, antes da utilização da cal, por um

---

dispositivo de injeção de carvão ativado na tubulação de gases, objetivando maior redução das emissões de mercúrio, dioxinas e furanos.

Emissões de óxidos de nitrogênio são controladas por um sistema de redução seletiva não catalítica (SNCR), que usa injeção de amônia na câmara de combustão.

Os gases resultantes do processo de destruição térmica, como dioxinas, furanos, metais pesados, óxidos de nitrogênio, etc, serão sempre monitorados e tratados.

A estimativa do consumo dos reagentes para tratamento dos gases de combustão depende das condições do gás na saída da caldeira. Assim, foi enviada uma estimativa baseada em uma planta similar.

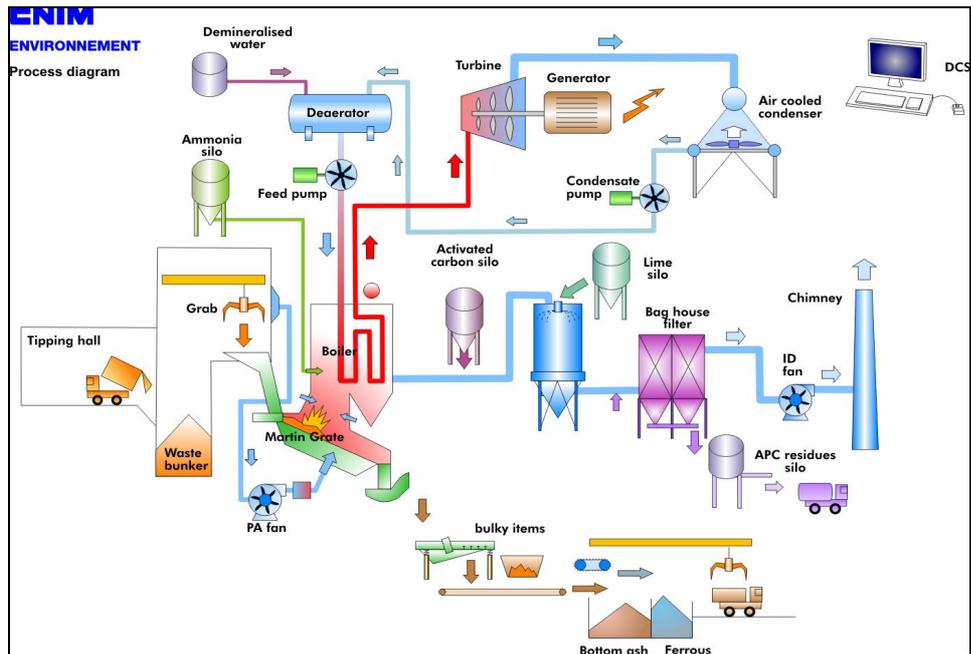
As cinzas produzidas durante a destruição térmica de RSU poderão ser destinadas a um aterro.

Segue um fluxograma do funcionamento da planta sugerida pela proposta (Figura 10).

A planta tem capacidade de operação de 8000 horas por ano. Serão necessários 55 funcionários, entre gerência e operação, para o funcionamento da planta.

A empresa não menciona uma área mínima de terreno para a construção da planta e a proposta é baseada em premissas como solo sem contaminações, nível de água no lençol freático profundo e solo plano.

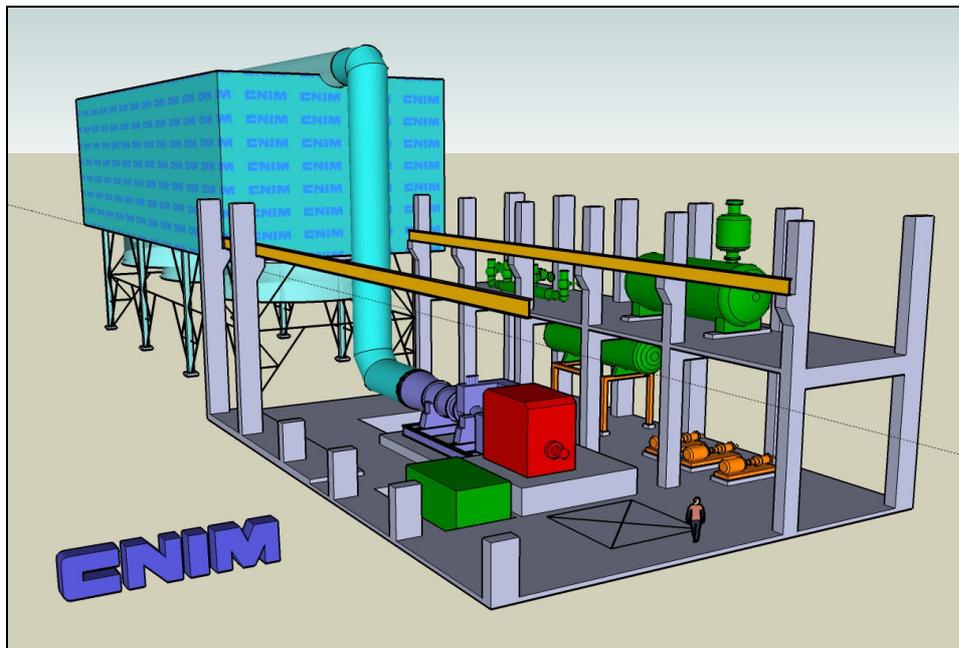
---



Fonte: CNIM (Anexo M)

**Figura 10 - Fluxograma do funcionamento da UAER – CNIM**

Os equipamentos necessários para a operação da planta também estão descritos na proposta recebida. A Figura 11 mostra a disposição da planta da UAER



Fonte: CNIM (Anexo M)

**Figura 11 - Disposição da planta de UAER – CNIM**

### 7.2.3 Valor de investimento

O valor previsto pela CNIM para a implantação em duas Etapas é de R\$ 190.000.000,00 (cento e noventa milhões de reais) para a Etapa 1 e de R\$ 142.000.000,00 (cento e quarenta e dois milhões de reais) para a Etapa 2, implantadas em 2011 e 2016, respectivamente, o que significa um valor total de investimento, de R\$ 332.000.000,00 (trezentos e vinte milhões de reais).

Para a implantação dos dois módulos em etapa única, o valor previsto é de R\$ 276.000.000,00 (duzentos e setenta e seis milhões de reais).

### 7.2.4 Avaliação da proposta

A CNIM é uma tradicional fornecedora de plantas para destruição térmica de resíduos urbanos, tendo tradicional e exitosa parceria com a MARTIN, detentora de tecnologia de queima de resíduos urbanos em grelhas móveis.

Essas duas empresas desenvolveram sistemas para tratamento e limpeza dos gases de combustão que vem operando com sucesso em diversas unidades instaladas por toda a Europa, onde fica seu maior mercado.

A lista de referência da CNIM apresenta mais de 200 plantas em operação ou previstas para comissionamento nos próximos anos.

---

### 7.3 USINAVERDE

A USINAVERDE, com base na composição gravimétrica considerada nesse estudo, realizou um cálculo preliminar que apontou um PCI para os RSU a serem destinados para a UAER um pouco abaixo de 1300 kcal/kg, isto é devido à desproporção existente entre a matéria orgânica (restos de alimentos) e os materiais plásticos, papéis e papelões.

Segundo o processo da USINAVERDE (MALTA, 2009), esse valor para o PCI irá requerer, em um processo *mass burning*, uma quantidade considerável de combustível auxiliar, para manter a temperatura no forno de destruição térmica ao redor de 950 °C. Os cálculos realizados pela USINAVERDE apontaram que seriam necessários aproximadamente 2,5 Nm<sup>3</sup> de GN por tonelada de resíduos processado, que segundo a USINAVERDE inviabilizaria o projeto.

A solução apresentada então foi o tratamento parcial desse resíduo (em torno de 50%) para fins de produção de composto orgânico, sendo o resíduo não compostável misturado à outra parte não tratada e encaminhada à combustão com geração de energia. Com esta solução o PCI do resíduo resultante da mistura, a ser convertido em energia, seria da ordem de 2000 kcal/kg, o que seria suficiente para manter a temperatura do forno em níveis adequados sem necessidade de combustível auxiliar.

A partir do recebimento de 350 toneladas por dia de RSU, seriam separadas em torno de 230 toneladas de matéria orgânica, para encaminhamento à unidade de compostagem, 67 toneladas de resíduos não compostáveis e 50 toneladas de material inerte. Estima-se que a unidade de compostagem produziria 140 toneladas diárias de fertilizante orgânico.

---

### 7.3.1 Valor de investimento

O valor previsto pela USINAVERDE para a implantação da unidade de compostagem e unidade de queima dos resíduos é de R\$ 55.000.000,00 (cinquenta e cinco milhões de reais) sendo R\$ 25.000.000,00 (vinte e cinco milhões de reais) referentes à unidade de compostagem e R\$ 30.000.000,00 (trinta milhões de reais) referentes à unidade de queima.

### 7.3.2 Avaliação da proposta

USINAVERDE não é um fornecedor tradicional de usinas e até hoje somente operou uma planta experimental com capacidade diária de processamento de 30 t de resíduos.

A proposta da USINAVERDE (ANEXO N) agrega uma unidade de compostagem para viabilizar a valorização energética dos resíduos. Sendo assim, essa proposta não foi considerada no estudo de viabilidade técnica e econômica.

## 8 CENÁRIO ALTERNATIVO PARA SIMULAÇÃO - UAER

Considerando a grande diferença das propostas recebidas e, tomando como base o Relatório 1 - Estado da Arte do Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica elaborado por ENGEBIO (2009), as propostas da Areva Koblitz e da CNIM, somado a experiência da ENGEBIO acumulada em outros estudos de geração térmica a partir de resíduos, decidiu-se propor uma terceira alternativa que será denominada **Cenário UAER**.

---

Cabe destacar que o cenário UAER trata-se de um cenário “hipotético” para fins de simulação. Este cenário foi estabelecido em função das propostas recebidas e da experiência da Engebio em estudos de plantas similares e de outros tipos de instalações industriais, adotando-se as seguintes premissas:

**Processo** - A alternativa desenvolvida para “Cenário UAER” considera um processo similar ao da CNIM, visto que se trata de um processo já consolidado.

**PCI**- O valor do poder calorífico inferior dos resíduos foi calculado por cada fornecedor com base na composição gravimétrica dos resíduos, informada no documento *Request For Proposal*. Cada empresa possui sua própria metodologia de cálculo do poder calorífico inferior (PCI) dos resíduos, assim como dos demais parâmetros do projeto. Deste modo, existem diferenças no valor do PCI adotado por cada uma.

O valor do PCI calculado é de 1759 kcal/kg, conforme as informações apresentadas nas Tabelas 21 e 22, do Relatório 1 - Estado da arte do tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica. A Areva Koblitz apresentou um PCI de 1850 kcal por quilograma de resíduo, a CNIM de aproximadamente 1470 kcal/kg de resíduo.

Entretanto, no cenário UAER esta consultoria, por experiência própria em outros projetos, decidiu arbitrar um valor mais conservador em relação aos valores calculados no Relatório 1 e ao valor proposto pela Areva Koblitz, desconsiderando o valor proposto pela CNIM, adotando para este estudo o valor de 1650 kcal/kg de resíduo.

**Capacidade** – Para o cenário UAER adotaram-se os valores de 350 toneladas/dia e 640 toneladas/dia, operando 8.000 horas anuais, que são aqueles correspondentes para a demanda adotada.

**Investimentos** - Não existem unidades semelhantes operando no Brasil e na América Latina e portanto não existem valores de investimentos como referência. Em visitas a Usinas na França e Portugal e contatos com fornecedores realizados

---

pela ENGEBIO observou que pode chegar a 30% do valor total do investimento na rubrica custo de obras civis (concreto e estruturas metálicas).

Dos itens que compõem a Usina são passíveis de fabricação no Brasil motores, calderaria, silos e equipamentos mecânicos em geral. Necessariamente serão importados a grelha e instrumentação, além da tecnologia e projeto executivo para um fornecimento “*turn key*”, que normalmente fazem parte dos custos a serem pagos para a instalação de uma Usina.

Portanto, com base na experiência de outros estudos realizados pela Engebio, estimamos um índice de nacionalização de 60% dos equipamentos e, para o cenário teórico da UAER foi assumido para esta opção um valor total igual a 70% do valor ofertado pela CNIM, resultando em um valor total de investimentos de R\$ 232.400.000,00.

**Eficiência e Potencia** - A CNIM adotou eficiência de 24% e a Areva Koblitz 22/24 %, e, esta pode chegar , pela experiência da Engebio, até 30%.

A potência utilizada no Cenário UAER foi estimada para as capacidades definidas para a UAER considerando uma eficiência conservadora de 26% , que com a massa de resíduos e PCI adotados , resulta em dois módulos de 6,5 MW<sub>el</sub> cada um.

Considerou-se que a UAER será implantada em duas etapas, em módulos iguais, sendo o segundo módulo será implantado após os 5 primeiros anos de operação, totalizando uma capacidade final da UAER de 13 MW<sub>el</sub>.

**Resíduos do processo e insumos** – Foi assumido pela consultoria, em função da experiência acumulada em outros projetos e, com base nos valores estimados pela ENGEBIO constantes no item 3.5 do Relatório 1, como resíduos do processo um total de 10% sobre a massa total de resíduos em cinzas, dos quais, 20% são cinzas volantes e 80% são cinzas de fundo. Os insumos foram considerados em quantidade similares às apresentadas pela CNIM.

---

## **9 VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA MELHOR ALTERNATIVA**

Este capítulo tem como objetivo apresentar a análise de viabilidade relativa ao investimento para a instalação da Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos (UAER).

### **9.1 Considerações Gerais**

As simulações financeiras foram efetuadas a partir de modelo desenvolvido pela Engebio adaptado para este Estudo e não foi disponibilizado para a FEAM.

Em função de se tratar de demonstrativo que utiliza o regime de caixa não foram aplicados valores de depreciação.

Valores para capital de giro não foram considerados, pois no modelo, tendo em vista o tipo de operação, adotou-se de maneira simplificada que a empresa recebe e paga no mesmo mês .

### **9.2 Análise dos Indicadores**

Apresenta-se a seguir os principais indicadores (variáveis), envolvendo rendimentos e gastos, assim como dos investimentos utilizados para o desenvolvimento da presente análise.

---

### 9.2.1 Investimento

O investimento utilizado nas simulações é relativo aos dados apresentados nos orçamentos. Foi priorizada a utilização de um critério único, ou seja, desenvolvimento do investimento em duas etapas. Os investimentos são os seguintes:

Para o estudo de viabilidade foram contemplados as proposta da CNIM, Areva Koblitz e Cenário UAER.

#### FORNECEDOR AREVA KOBLITZ

O valor previsto para o fornecedor Areva Koblitz é de uma etapa de R\$ 98.995.540,00 (noventa e oito milhões novecentos e noventa e cinco mil e quinhentos e quarenta reais) e outra de R\$ 93.995.540,00 (noventa e três milhões novecentos e noventa e cinco mil e quinhentos e quarenta reais) implantadas em 2011 e 2016, respectivamente.

#### FORNECEDOR CNIM

O valor previsto para o fornecedor CNIM é de R\$ 276.000.000,00 (duzentos e setenta e seis milhões de reais) em etapa única ou duas etapas de R\$ 190.000.000,00 (cento e noventa milhões de reais) em 2011 e R\$ 142.000.000,00 (cento e quarenta e dois milhões de reais) em 2016.

#### CENÁRIO UAER

Valor total de investimentos de R\$ 232.400.000,00, sendo para cada fase:

- 1ª fase – R\$ 133.000.000,00 em 2011
  - 2ª fase – R\$ 99.400.000,00 em 2016
-

Independentemente do fornecedor o investimento é relativo à implantação em regime de EPC, ou seja, do ponto de vista da implantação da usina não haverá custos adicionais além do valor principal orçado.

Quanto às despesas de aquisição de terreno e de terraplanagem do mesmo, foi considerado que estarão a cargo do município onde a Unidade será implantada.

Segue adiante a Tabela 33 onde é apresentado o resumo das propostas de fornecimento.

**Tabela 33 - Resumo dos dados das propostas de fornecimento**

<b>Item</b>	<b>CNIM</b>	<b>UAER</b>	<b>AREVA KOBBLITZ</b>
Investimento Etapa 1 (R\$)	190.000.000,00	133.000.000,00	98.995.540,00
Investimento Etapa 2 (R\$)	142.000.000,00	99.400.000,00	93.995.540,00
Investimento Total (R\$)	332.000.000,00	232.400.000,00	192.991.080,00

Fonte: Elaboração ENGEBIO

### *9.2.2 Receitas operacionais*

O projeto proposto deverá receber os rendimentos da venda de energia elétrica, receita da destruição térmica dos resíduos sólidos urbanos e da venda de créditos de carbono.

#### ENERGIA ELÉTRICA

Estima-se para as simulações os valores de R\$ 150,00 (cento e cinquenta reais) e R\$ 170,00 (cento e setenta reais) por MWh, conforme informações obtidas da CEMIG.

---

### VENDA DE SERVIÇOS DE DESTRUIÇÃO TÉRMICA DE RSU

A receita para a destruição térmica de RSU a ser cobrada das prefeituras do entorno a título de pagamento pelos serviços de destruição térmica de resíduos sólidos urbanos, expressa em R\$/t, foi utilizada como variável exógena para a classificação das propostas buscando manter uma TIR de 12% e um resultado a VPL igual a zero (R\$ 00,00).

### CRÉDITOS DE CARBONO

Para as simulações de cenários o valor estimado dos créditos de redução de emissões é de 12 euros por tCO<sub>2</sub>e. Este é um valor conservador não levando em conta o possível aumento do valor do crédito de CO<sub>2</sub> a partir de 2012.

#### 9.2.3 *Tributos e encargos variáveis*

Foram aplicados os tributos ordinários sobre operações típicas como os tributos federais PIS e COFINS, e municipais, no caso da venda do serviço de destruição térmica, ISSQN. Também foi imputado taxa da ANEEL sobre a receita de venda de energia elétrica. Os percentuais relativos a esses são apresentados na Tabela 34.

**Tabela 34 - Valores percentuais dos tributos e encargos**

	<b>Item</b>	<b>Valor (%)</b>	<b>Base</b>
<b>Tributos e Encargos</b>	PIS	<b>1,65</b>	Sobre a receita de Energia Elétrica e Serviços
	COFINS	<b>7,00</b>	Sobre a receita de Energia Elétrica e Serviços
	Taxa ANEEL	<b>1,50</b>	Sobre a receita de Energia Elétrica
	ISSQN	<b>3,00</b>	Sobre a receita de Serviços

Fonte: Elaborado ENGEBIO

#### 9.2.4 Custos e despesas anuais

Tendo em vista a alimentação e a manutenção da operação anual da usina, foram alocados os seguintes custos de operação:

#### CUSTOS VARIÁVEIS DE OPERAÇÃO

Para os custos de produção foram assumidos para todos os cenários os valores propostos pela CNIM, dispostos na Tabela 35 com o seu custo unitário,

**Tabela 35 - Custo de produção da planta de UAER**

	<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
<b>Custos de Produção</b>	Solução Amoniacal	0,78	R\$/kg
	Soda Cáustica	0,09	L/t
	Calcário	0,35	R\$/kg
	Carvão Ativo	2,97	R\$/kg
	Água	1,35	R\$/m <sup>3</sup>
	Gás	0,00	R\$/m <sup>3</sup>
	Outros Insumos	2,70	R\$/t

Fonte: CNIM (Anexo M)

#### CUSTOS FIXOS DE OPERAÇÃO

Os custos fixos de operação estão a seguir demonstrados. Foram utilizados como custos fixos de produção: Quadro de Pessoal Administrativo, Quadro de Pessoal de Operação e Despesas Administrativas, considerada como 10% sobre os custos de pessoal, com base na experiência da Engebio em projetos similares.

Tabela 36 - Custos gerais de operação da planta de UAER

Item	Custo (R\$)
<b>Quadro Administrativo:</b>	<b>768.000</b>
<b>Gerente Geral da Planta</b>	<b>300.000</b>
Qtd Funcionários	1
Salário Anual	300.000
<b>Gerente de Engenharia &amp; Operação</b>	<b>216.000</b>
Qtd Funcionários	1
Salário Anual	216.000
<b>Gerente Comercial / Contador</b>	<b>180.000</b>
Qtd Funcionários	1
Salário Anual	180.000
<b>Secretaria</b>	<b>72.000</b>
Qtd Funcionários	2
Salário Anual	36.000
<b>Quadro de Operação</b>	<b>2.880.000</b>
<b>Supervisor de Turno</b>	<b>780.000</b>
Qtd Funcionários	5
Salário Anual	156.000
<b>Operadores de Planta</b>	<b>1.260.000</b>
Qtd Funcionários	15
Salário Anual	84.000
<b>Operadores da Recepção de Lixo</b>	<b>252.000</b>
Qtd Funcionários	3
Salário Anual	84.000
<b>Manutenção Mecânica</b>	<b>252.000</b>
Qtd Funcionários	3
Salário Anual	84.000
<b>Manutenção Elétrica / Instrumentação</b>	<b>252.000</b>
Qtd Funcionários	3
Salário Anual	84.000
<b>Laboratorista</b>	<b>84.000</b>
Qtd Funcionários	1
Salário Anual	84.000
<b>Despesas administrativas</b>	<b>364.800</b>
Quadro de pessoal (R\$)	3.648.000
% Despesas admin. s/ pessoal	10 %

Fonte: Elaboração ENGEBIO

## CUSTOS DE MANUTENÇÃO E SEGUROS

Compõem este item:

- a) custo de manutenção propriamente dito, envolvendo revisão e reposição de componentes;
- b) custos com seguros;
- c) manutenção pesada.

## CUSTOS DE DISPOSIÇÃO DE REJEITOS

O custo de disposição de rejeito leva em conta o volume de cinzas volantes (ou leves) e pesadas (escórias). Conservativamente foi considerado que ambos os rejeitos ( cinzas volantes e pesadas) possam vir a ser classificados como Classe I e portanto , o valor adotado para custos de disposição final foi o valor de R\$ 250,00 (duzentos e cinquenta reais) por tonelada de rejeito disposto em aterro Classe I. O valor adotado foi fornecido pela Essencis MG –Aterro de Betim/MG e é condizente com o valor praticado pelo mercado nacional, aferido pela experiência da Engebio em vários projetos e consultoria. Os indicadores relativos a esse item encontram-se explicitados na planilha de despesas (Tabela 37).

Os valores e indicadores relativos a verba necessária para análise, disposição de cinzas, manutenções leve e pesada e seguros estão apresentados na planilha “Despesas geradas pela planta de UAER” (Tabela 37).

**Tabela 37 - Despesas geradas pela planta de UAER**

<b>Item</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Verba para análises e monitoramento	100.000,00	R\$/ano
Geração cinza volante	2	%
Geração cinza pesada	8	%
Disposição cinza volante	250,00	R\$/t
Disposição cinza pesada	250,00	R\$/t

Item	Valor	Unidade
Manutenção leve	3,75	R\$/t
Manutenção pesada (s/ investimento)	2,00	%
Seguros (s/ investimento)	1,00	%

Fonte: Elaboração ENGEBIO

## JUROS SOBRE FINANCIAMENTO

O investimento realizado será em parte financiado a taxa e prazos de mercado. O financiamento e os juros relativos a esse financiamento são incluídos no fluxo de caixa como despesa financeira do investimento.

### **9.3 Financiamento e análise de investimento**

As linhas de financiamento para esse tipo de empreendimento são as oriundas de bancos governamentais de fomento, no caso BNDES, via linhas próprias de fomento. As condições típicas para esses financiamentos, tomando como base a linha Finem do BNDES, são: Taxa de juros de 1,5 a 2,5 % + TJLP, contrapartida de 20% e prazo máximo de amortização de 14 anos.

Essas condições podem variar de acordo com a fonte de fomento e as condições ditadas pelas políticas adotadas pelo BNDES.

Para efeito das simulações foram utilizadas as taxas de juros de 1,5 + 6,0% TJLP e uma contrapartida de 20%.

Foi considerada para efeitos da análise de investimento uma taxa de atratividade de 12% e taxa de desconto de 12%.

---

## 9.4 Simulações e cenários

Para efeito de simulações visando à análise de viabilidade de investimento e a comparação entre os fornecedores foram considerados os critérios descritos a seguir.

### 9.4.1 Cenários simulados

Foram simulados os cenários tendo em vista o menor valor de cobrança de serviços de destruição térmica (R\$/t), dado exógeno; para isso foram simulados os cenários levando-se em conta as seguintes condições:

- A. Fornecedor Areva Koblitz - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 150,00 MWh (Anexo O);
- B. Fornecedor Areva Koblitz - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 170,00 MWh (Anexo P);
- C. Fornecedor CNIM - Implantação em duas etapas, investimento e venda de energia a R\$ 150,00 MWh (Anexo Q);
- D. Fornecedor CNIM - Implantação em duas etapas, investimento e venda de energia a R\$ 170,00 MWh (Anexo R);
- E. UAER - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 150,00 MWh (Anexo S);
- F. UAER - Implantação em duas etapas e venda de energia a R\$ 170,00 MWh (Anexo T).

O resumo dos cenários é apresentado na Tabela 38, onde VPL do Projeto é resultado do projeto para o período de 20 anos, em VPL.

---

Tabela 38 - Simulação dos valores da implantação da UAER em duas etapas

Item	CNIM VE R\$ 170,00	CNIM VE R\$ 150,00	UAER VE R\$170,00	UAER VE R\$ 150,00	Areva Koblitz VE R\$ 170,00	Areva Koblitz VE R\$ 150,00
<b>Células variáveis:</b>						
Investimento Etapa 1 (R\$)	190 .000.000	190.000.000	133.000.000	133.000.000	98.995.540	98.995.540
Investimento Etapa 2 (R\$)	142.000.000	142.000.000	99.400.000	99.400.000	93.995.540	93.995.540
<b>Valor de serviço de destruição térmica (R\$/t)</b>	186,86	195,69	120,60	130,61	90,93	101,34
Energia (R\$)/ MWh	170,00	150,00	170,00	150,00	170,00	150,00
<b>Células de resultado:</b>						
VPL do Projeto (R\$)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)	(0,00)
TIR do Projeto (% ao ano)	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0

VE = valor de venda de 1 MWh de energia

Fonte: Elaboração ENGEBIO

Taxa de desconto de 12% a.a.

Taxa de Juros de 1,5% + TJLP de 6% e prazo de amortização de 14 anos

## 10 MELHOR CENÁRIO

As melhores condições são encontradas considerando os valores de investimentos propostos pela Areva Koblitz, principalmente, em função dos valores de investimento.

Considerando o fato da Areva Koblitz ainda não ter realizado fornecimentos deste tipo de Usina, mesmo sendo uma empresa qualificada para fornecer o tipo de usina em estudo, e que os valores propostos pela CNIM não consideram índices de nacionalização relativos a valores para fabricação e fornecimentos nacionais, decidiu-se adotar um cenário médio como resultado mais realista.

Assim sendo, o melhor cenário é o Cenário UAER com um valor de venda de energia a R\$ 170,00, o que resulta de uma simulação de valor de venda de serviços de destruição térmica de RSU de R\$ 120,60 a tonelada.

A Tabela 39 apresenta os resultados de fluxo de caixa e a Figura 12 o Gráfico de resultado por período e resultado acumulado do Cenário UAER.

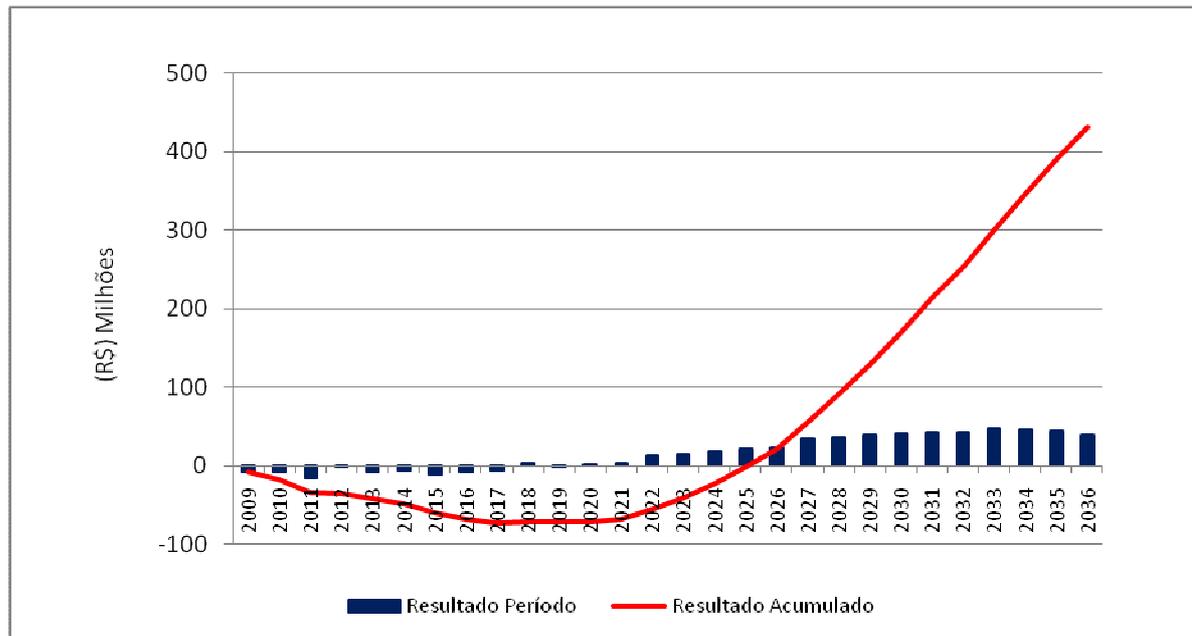
**Tabela 39 - Valores de fluxo de caixa do Cenário UAER**

Item	VP em 2009 <sup>(1)</sup> (R\$)
(+) Receitas Operacionais	280.524.551
(-) Tributos e Encargos Variáveis	29.007.515
(-) Custos e Despesas	178.021.905
Custos Variáveis de Operação	21.861.781
Custos Fixos de Operação	34.112.832
Despesas de Manutenção	37.161.699
Despesas de Disposição do Rejeito	39.474.690
Juros Financiamento <sup>(2)</sup>	45.410.903
(=) Resultado Operacional	73.495.131
Investimento Etapa 1	53.309.875
Investimento Etapa 2	20.185.256
Resultado Período (VPL)	0,0

Fonte: Elaboração ENGEBIO

(1) Taxa de desconto de 12% a.a.

(2) Taxa de Juros de 1,5% + TJLP de 6% e prazo de amortização de 14 anos



Fonte: Elaboração ENGEBIO

**Figura 12 - Gráfico de resultado por período e resultado acumulado**

## 11 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os elevados custos de investimentos e operação de uma UAER tornam necessária a integração e a articulação entre os sistemas de limpeza pública de cada município, na busca de minimização dos custos de implantação e operacionais por economia de escala, podendo ser foco da criação de um consórcio intermunicipal, instituído conforme a Lei Federal 11.107, de 6 de abril de 2005, com a finalidade de organizar e proceder ações e atividades para a gestão do sistema de tratamento e destinação final dos resíduos sólidos urbanos gerados pelos seus municípios integrantes.

Considerando a localização da UAER na macrorregião cujo centro é o município de Campanha, a logística de transbordo conforme Situação 5 (Capítulo 3), na qual a distância máxima de deslocamento da coleta de cada município até a estação de transbordo não é superior a 30 km, foi o cenário que apresentou o menor investimento inicial global para instalação das estações de transbordo obtendo-se:

- um custo médio do total da operação de transbordo e de transporte das ETs até a UAER de R\$ 36,00 (no ano de 2011) a R\$ 20,00 (no ano de 2036) por tonelada transportada;
- um investimento total de R\$ 3.850.000,00 para a implantação de 16 Unidades de Transbordo, sendo 3 unidades com capacidade de 10 t/dia, 9 unidades com capacidade de 50 t/dia e 4 unidades com capacidade de 100 t/dia.

A redução de emissões de GEE estimada para o período de 25 anos analisados, resultantes da implantação da UAER para combustão dos RSU oriundos dos 73 municípios, atualmente em situação irregular de disposição de resíduos e sem processo formal de regularização será de 2.000.000 tCO<sub>2</sub>e.

O melhor cenário é o Cenário UAER, em que se considerou um investimento de total de R\$ 232.400.000,00 com uma capacidade instalada de 13 MW<sub>el</sub> e um valor de venda de energia a R\$ 170,00, o que resultou de uma simulação de valor de serviços de destruição térmica de RSU de R\$ 120,60 a tonelada para obter uma taxa de retorno de 12% a.a e um resultado de investimento igual a zero (R\$ 0,00), ou seja, lucro zero.

Se considerada a proposta de fornecimento de menor valor de investimento, ou seja, R\$ 193.000.000,00, com uma capacidade instalada de 15 MW<sub>el</sub> e um valor de venda de energia a R\$ 170,00, o resultado permite uma simulação para os serviços de destruição térmica de RSU de R\$ 90,93 a tonelada para obter uma taxa de retorno de 12% a.a e um resultado de investimento igual a zero (R\$ 0,00), ou seja lucro zero.

Dentro dos critérios estabelecidos para a simulação das diferentes opções – CNIM, UAER e Areva Koblitz (TIR 12,00% a.a e VPL = R\$ 00,00), com geração de energia elétrica, os resultados encontrados pela simulação de diferentes cenários são:

- uma capacidade instalada entre 10 MW<sub>el</sub> a 15 MW<sub>el</sub>;
  - um valor total de investimento, variando segundo o fornecedor entre R\$ 193.000.000,00 e R\$ 332.000.000,00;
-

- um valor de serviço de destruição térmica dos resíduos na faixa de R\$ 90,93 a R\$ 195,69 por tonelada de resíduo processado.

Pelas simulações desenvolvidas neste estudo de viabilidade técnica e econômica, a implantação de uma usina de destruição térmica de RSU por combustão com aproveitamento da energia gerada para a produção de energia elétrica pode ser uma solução viável, se caracterizando por uma solução que:

- contempla a não disposição desses resíduos no meio ambiente;
- caracteriza-se como uma solução aceitável para destinação final dos RSU, em conformidade com as metas do programa “Minas sem Lixões”;
- proporciona uma solução para um conjunto de municípios que possuem um porte populacional para o qual, dificilmente, conseguirão soluções adequadas sem uma ação conjunta, na busca de uma viabilização pela economia de escala que este tipo de ação significa;
- resultará na geração de energia elétrica a partir de resíduos;
- a obtenção de créditos de carbono resultará em melhoria do resultado econômico e financeiro do empreendimento;
- a operação resultará em uma melhoria global em função da eliminação do metano gerado pela prática de disposição dos resíduos em aterros e pelo deslocamento da produção de energia em relação à Linha de Base de emissões do Brasil.

Recomenda-se para as próximas etapas desenvolver um estudo de viabilidade técnica mais preciso, considerando:

- avançar em definições institucionais, como por exemplo: montagem de consórcio municipal; e definições de responsabilidades quanto à propriedade, operação e implantação da usina e busca de parceiros;
  - analisar detalhadamente, para os municípios que hoje atendem às condições do Programa “Minas sem Lixões”, que tipo de solução esses estão praticando para disposição de resíduos e qual é a sustentabilidade dessas soluções para um futuro próximo de cinco anos;
-

- efetuar um estudo de caracterização de resíduos de maneira a definir com certeza a composição dos resíduos e por consequência o seu poder calorífico médio;
- atualização do estudo de Capacidade da Usina, considerando os itens acima elencados, buscando aumentar a quantidade de resíduos a ser processada, de maneira a reduzir o valor dos serviços encontrados neste estudo; resultando na elaboração de um novo anteprojeto e estudo de viabilidade;
- revisão das solicitações de fornecimento da usina dentro de um cenário de maior perspectiva para os possíveis fornecedores, de maneira a obter propostas mais firmes e provavelmente, com valores melhores que os obtidos durante este estudo.
- Buscar alternativas de valorização dos resíduos sólidos da Usina ( cinzas de fundo e cinzas volantes) para baixar os custos de operação e por consequência dos serviços de destruição térmica de RSU

Finalmente, recomenda-se avançar na busca da viabilização de uma Usina de Aproveitamento Energético de Resíduos para o estado de Minas Gerais.

---

**ANEXOS**

---

**ANEXO A - QUADRO 3: SITUAÇÃO DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS**

**ANEXO B - MEMORIAL DESCRITIVO ET 10 T**

**ANEXO C- MEMORIAL DESCRIPTIVO ET 50 T**

**ANEXO D - MEMORIAL DESCRITIVO ET 100 T**

**ANEXO E - ET 10 T – LEIAUTE**

**ANEXO F - ET 10 T – PLANTA E CORTE**

**ANEXO G - ET 50 T – LEIAUTE**

**ANEXO H - ET 50 T – PLANTA E CORTE**

**ANEXO I - ET 100 T -LEIAUTE**

**ANEXO J - ET 100 T – PLANTA E CORTE**

**ANEXO K - PROPOSTA TÉCNICA AREVA KOBLITZ**

**ANEXO L - PROPOSTA COMERCIAL AREVA KOBLITZ**

**ANEXO M - PROPOSTA COMERCIAL CNIM**

**ANEXO N - PROPOSTA COMERCIAL USINAVERDE**

**ANEXO O – FLUXO DE CAIXA AREVA-KOBLITZ COM VALOR DA VENDA DE ENERGIA DE R\$ 150/MWh**

**ANEXO P – FLUXO DE CAIXA AREVA-KOBLITZ COM VALOR DA VENDA DE  
ENERGIA DE R\$ 170/MWh**

**ANEXO Q – FLUXO DE CAIXA CNIM COM VALOR DA VENDA DE ENERGIA DE R\$ 150/MWh**

**ANEXO R – FLUXO DE CAIXA CNIM COM VALOR DA VENDA DE ENERGIA DE  
R\$ 170/MWh**

**ANEXO S – FLUXO DE CAIXA CENÁRIO UAER COM VALOR DA VENDA DE  
ENERGIA DE R\$ 150/MWh**

**ANEXO T – FLUXO DE CAIXA CENÁRIO UAER COM VALOR DA VENDA DE  
ENERGIA DE R\$ 170/MWh**

## **ANEXO U – CÁLCULOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE ET 10 T**

**ANEXO V – CÁLCULOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE ET 50 T**

**ANEXO X – CÁLCULOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE ET 100 T**

## REFERÊNCIAS

ABCR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSIONÁRIAS DE RODOVIAS. **Distância entre cidades**. Disponível em <[www.abcr.org.br/geode/index.php](http://www.abcr.org.br/geode/index.php)>. Acesso em: 8 set. 2009.

AGENCE DE L'ENVIRONNEMENT E DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE. –. **Techniques et recommandatios** – Connaitre pour Agir, ADEME: 2001.

AZEVEDO, J., NASCIMENTO, L. C. A., MENDES, O. F. Panorama dos Problemas Gerados, pelos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. In: IV SIMPÓSIO DE DIREITO AMBIENTAL. 2001, São Gonçalo. **Anais**. Rio de Janeiro: UNIVERSO, (2001).

BRASIL. Lei Federal Nº. 11.107 de 06 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. de 7 abr. 2005.

BRITO, Fausto e HORTA, Cláudia Júlia G.: “**Minas Gerais**: crescimento demográfico, migrações e distribuição espacial da população”, 2004 Apud IBGE, censos demográficos 1940-2000.

CETESB. Programa de gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares e de serviço de saúde – **Prolixo da CETESB** – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo, 1992.

---

COUTINHO, José. **Lixo urbano**: Um indicador de progresso. Química Industrial, Rio de Janeiro: ABQ, n.715, 1999. p. 7-8

ENGEBIO Engenharia LTDA. **Estudo da arte e de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma unidade de tratamento térmico de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica em uma região conjunto de municípios no estado de Minas Gerais**. Relatório 1: Estado da Arte do Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com Geração de Energia Elétrica, Porto Alegre, 2009, 276 p.

ENGEBIO & BURGEAP. **Plano Diretor Regional de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos - PDRS**. Santa Catarina, 2003.

Engebio Engenharia Ltda, **Estudo de Recuperação e Adequação de Área conhecida como “Aterro do Lima” bairro Rondônia em Novo Hamburgo**, Novo Hamburgo, 2008.

Engebio Engenharia Ltda, **Plano Diretor, Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica e Projeto de Gestão** – Tractebel Energia – Centrais Geradoras do Sul – Grupo Suez, Santa Catarina, 2002.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES, **Aridity Index**. Disponível em <[http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity\\_index.gif&Access=public](http://www.fao.org/geonetwork/srv/fr/graphover.show?id=12739&fname=aridity_index.gif&Access=public)>. Acesso em: 11 nov. 2009.

GEDIF/DPED/FEAM, Ofício N° 009/2009 de 17 de julho de 2009. Ref. Estudo da Capacidade da Usina – Contrato de Prestação de Serviços N° 2091010102008. ANEXO ao OFÍCIO N° 009/2009 GEDIF/DPED/FEAM.

---

IBGE, Censo Demográfico 2000 - Fundação João Pinheiro (FJP), Centro de Estatística e Informações (CEI). População recenseada. **Estimativas Anuais de População** - UFs - 1980 - 2050, revisão 2004 apud Anexo II do Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado (PMDI) 2007-2023. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/servidor\\_arquivos\\_est/](http://www.ibge.gov.br/servidor_arquivos_est/)>. Acesso em: 8 jul. 2009.

IBGE- Diretoria de Pesquisas - Coordenação de População e Indicadores Sociais. Gerência de Estudos e Análises da Dinâmica Demográfica. **Projeção da População por Sexo e Idade para o Período 1980 - 2050** - Revisão 2008. (2008a). Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao\\_da\\_populacao/2008/default.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/projecao_da_populacao/2008/default.shtm)>. Acesso em: 8 jul. 2009.

IBGE. **Metodologia das estimativas das populações residentes nos municípios brasileiros**: Uma abordagem demográfica para estimar o padrão histórico e os níveis de subenumeração de pessoas nos censos demográficos e contagens da população, 2008. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa\\_pop.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa_pop.shtm)>. Acesso em: 10 jul. 2009.

IPCC (2006), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

LOPES, Ana Lúcia Bahia. (ana.bahia@meioambiente.mg.gov.br). Versão eletrônica Sede da usina. [ mensagem pessoal] Mensagem recebida por saffer@engebio.net em 24 jul. 2009a.

LOPES, Ana Lúcia Bahia. (ana.bahia@meioambiente.mg.gov.br). Versão eletrônica análise da projeção da população e modulação das unidades de tratamento de RSU. [ mensagem pessoal] Mensagem recebida por saffer@engebio.net em 11 jul. 2009b.

---

MALTA, Luiz Carlos. (diretoria@usinaverde.com.br). Versão eletrônica ENC: USINA TERMICA EM MINAS GERAIS - revisão Capacidade - USINAVERDE [ mensagem pessoal] Mensagem recebida por saffer@engebio.net em 15 jun. 2009.

MADEIRA, J., L., SIMÕES, C., C. S. Estimativas preliminares da população urbana e rural segundo as unidades da federação, de 1960/1980 por uma nova metodologia. **Revista Brasileira de Estatística**, v.33, n.129, p.3-11, jan./mar. 1972. Disponível em <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa\\_pop.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa_pop.shtm)>. Acesso em: 10 jul. 2009.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. COPPE, Rio de Janeiro. (2006). Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/17341.html>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia. **Fatores de Emissão de CO2 pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**, 2009. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/72764.html>>. Acesso em: 13 ago. 2009.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (trad.), **Protocolo de Kyoto**. Brasília, 1998. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0012/12425.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12425.pdf)>. Acesso em: 13 ago. 2009.

MONTEIRO, J. H. P., FIGUEIREDO C. E. M., MAGALHÃES A. F., MELO M. A. F., BRITO J. C. X., ALMEIDA T. P. F., MANSUR G.L., ZVEIBIL, V. Z. (coord.). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2009.

---

Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, no ano de 1989. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp>>. Acesso em: 10 jun. de 2009.

SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS – SIMGE. **Mapas climáticos.** Disponível em <[http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas\\_climaticos.html](http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas_climaticos.html)>. Acesso em: 11 out. 2009.

TCMG - Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais. Metodologia para auditoria de serviços de limpeza urbana, com enfoque nos custos de coleta de resíduos sólidos urbanos. Encontro Nacional de Auditoria de Obras Públicas. Belo Horizonte, 2007. Disponível em <<http://www.tcm.ba.gov.br/enaop/download%5CDia-080307%5CMetodologia%20para%20Auditoria%20de%20Servi%C3%A7os%20de%20Limpeza%20Urbana%20com%20Enfoque%20nos%20Custos%20de%20Coleta%20de%20Res%C3%ADduos%20S%C3%B3lidos%20Urbanos.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2009.

SNIS-SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO (2005). Disponível em <<http://www.cidades.pmss.gov.br/snis/faq.php>>. Acesso em: 4 jun. 2009.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE – UNFCCC. Global Warming Potentials. Disponível em <[http://unfccc.int/ghg\\_data/items/3825.php?minus=j](http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php?minus=j)>. Acesso em: 18 out. 2009.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. AM0025 “Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes. Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved.html>>. Acesso em: 2 dez. 2009.

---

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Tool to determine methane emissions avoided from disposal of waste at a solid waste disposal site. Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>>. Acesso em: 2 dez. 2009.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Tool to calculate the emission factor for an electricity system . Disponível em <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>>. Acesso em: 2 dez. 2009.

---

