

ETE

**VIABILIDADE
TÉCNICO-ECONÔMICA**

DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM ETES A PARTIR
DO BIOGÁS



ETE

**VIABILIDADE
TÉCNICO-ECONÔMICA**
DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM ETES A PARTIR
DO BIOGÁS

Coletânea de publicações do PROBIOGÁS
Série Aproveitamento Energético de Biogás
em Estações de Tratamento de Esgoto

1ª Edição
Ministério das Cidades
Brasília, 2016

República Federativa do Brasil

Presidente da República

Michel Temer

Ministro das Cidades

Bruno Araújo

Secretário Executivo do Ministério das Cidades

Luciano Oliva Patrício

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental

Alceu Segamarchi

Chefe de Gabinete

Gustavo Zarif Frayha

Diretor de Articulação Institucional

Ernani Ciríaco de Miranda

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica

Hélio de Freitas (Diretor substituto)

Diretor de Águas e Esgotos

Johnny Ferreira dos Santos

Apoio Técnico

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento
Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft
für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

Diretor Nacional: Wolf Michael Dio

Coordenador do Projeto: Wolfgang Roller

Informações legais

As idéias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério das Cidades, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROBIOGÁS seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério das Cidades e da GIZ.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação [CIP]

Bibliotecário Responsável: Illy Guimarães B. Batista [CRB/DF 2498]

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás.

Análise da viabilidade técnico-econômica de produção de energia elétrica em ETEs no Brasil a partir do biogás / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ] ; autores, Sebastian Rosenfeldt ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

145 p.: il. – [Aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto ; 2]

ISBN XXXXXXXXXX

1. Energia elétrica – produção e utilização – Brasil. 2. Energia térmica – produção e utilização – Brasil. 3. Biogás – produção e utilização – Brasil. 4. Biogás – saneamento ambiental – Brasil. 5. Biogás – aspectos econômicos – Brasil. 6. Biogás – aspectos técnicos – Brasil. 7. Biogás – aspectos tecnológicos – Brasil. 8. Energia – fontes alternativas. I. Ministério das Cidades. II. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]. III. Jende, Oliver. IV. Título. V. Série.

CDD 665.776

CDU 662.767.2



Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

www.cidades.gov.br/probiogas

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – é um projeto inovador, fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e o Governo Alemão, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Com o objetivo de contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de gases indutores do efeito estufa, o projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial e possui vigência entre os anos de 2013 e 2017.

Para alcançar tais objetivos, o PROBIOGÁS desenvolve atividades em três linhas: (1) *condições-quadro*, atuando junto a órgãos governamentais em prol da melhoria das condições regulatórias relacionadas à produção de energia a partir do biogás; (2) *cooperação científica*, aproximando instituições de ensino e de pesquisa brasileiras entre si e das alemãs; e, (3) *cadeia de valor*, com o intuito de fomentar a indústria brasileira para produção nacional de tecnologia e de aproximar empresas brasileiras e alemãs para o intercâmbio de conhecimento. Além dessas atividades, o PROBIOGÁS busca capacitar profissionais brasileiros em diversos níveis, contemplando os atores que integram a cadeia de biogás e objetivando fortalecer o mercado de biogás no Brasil.

A realização da parceria Brasil-Alemanha possibilita a transferência do conhecimento e da experiência alemã sobre o aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes e de resíduos, cuja expertise é reconhecida mundialmente. Neste contexto, o PROBIOGÁS assume papel relevante, indutor do desenvolvimento de tecnologias nacionais para o aproveitamento do biogás, possibilitando um retorno positivo para o setor de saneamento básico no Brasil, em função do potencial de incremento na viabilidade técnica e econômica das plantas e instalações de tratamento de esgotos e de resíduos sólidos, a partir da geração de energia proveniente dos processos de biodegradação da fração orgânica.

Para melhor inserir o Projeto nas políticas nacionais foi criado um Comitê Gestor interministerial com a função de assegurar a integração entre as diversas áreas do Governo Federal com atuação no tema. O Comitê é formado pelos seguintes órgãos: Ministérios das Cidades, do Meio Ambiente, da Ciência, Tecnologia e Inovação, das Minas e Energia, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, assim como a GIZ.



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Coordenação do projeto PROBIOGÁS

Ernani Ciríaco de Miranda (Ministério das Cidades) e Wolfgang Roller (GIZ)

Publicado por

Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ)

Contatos

SNSA/MCidades

Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II
CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2108-1000
www.cidades.gov.br

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 – 15º andar Ed. Brasília Trade Center,
CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2101-2170
www.giz.de/brasil

Expediente

Autores

Sebastian Rosenfeldt (Rotária do Brasil), Heike Ho mann (Rotária do Brasil), Christoph Platzer (Rotária do Brasil), Carolina Bayer Gomes Cabral (Rotária do Brasil)

Coordenação do material

Hélinah Cardoso Moreira (GIZ) e Christoph Platzer (Rotária do Brasil)

Revisão Técnica

Ministério das Cidades – Mariana Lago Marques, Gilson Pires da Silva, Keyla Nunes da Silva, Érica Carvalho de Almeida e Magnus Martins Caldeira
GIZ – Hélinah Cardoso Moreira, Wolfgang Roller

Revisão Ortográfica

Wagner Santos

Apoio Técnico

Carlos Foltynnek (Fokal Equipamentos Industriais Ltda)
Union Instruments GmbH
Höntzsch GmbH

Capa, projeto gráfico e diagramação

Estúdio Marujo

PREFÁCIO

A Lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei 11.445/2007 – estabelece que a prestação dos serviços terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada e, sob os aspectos técnicos, atenderá a requisitos que garantam a qualidade adequada. Por sua vez, a Lei que institui a política nacional de resíduos sólidos – Lei 12.305/2010 – estabelece a obrigatoriedade da coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos devem ser encaminhados a aterros sanitários (regra que ficou conhecida no país como o “fim dos lixões”). Tais elementos reforçam o grande desafio, enfrentado pelo Brasil, de ampliar os níveis de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos.

O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab, aprovado em dezembro de 2013, com horizonte de 20 anos, destaca que um dos princípios fundamentais da política de saneamento diz respeito à matriz tecnológica que orienta o planejamento e a política setorial. Segundo o Plansab, planejar o saneamento básico no país, com um olhar de longo prazo, necessariamente envolve a prospecção dos rumos tecnológicos que o setor pode e deve trilhar. Cabe à política de saneamento básico identificar tendências, nacionais e internacionais, segundo as quais a matriz tecnológica do saneamento vem se moldando, o que supõe também procurar enxergar novos conceitos, ainda que sejam antigas formulações em novas roupagens, ou novos desafios que pressionam no sentido de mudanças paradigmáticas. Neste sentido, temas como a sustentabilidade, a gestão integrada das águas urbanas, o saneamento ecológico e o combate às mudanças climáticas globais podem ser evocados como exemplos.

Neste contexto, o PROBIOGÁS é um instrumento de grande importância para a implementação do Plansab. O aproveitamento energético do biogás nos processos de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos, consagrado em diversos países, representa um pequeno esforço de modernização das instalações dos sistemas brasileiros com impactos altamente positivos na sustentabilidade econômico-financeira, na qualidade dos processos de tratamento e na melhoria do meio ambiente, contribuindo de forma efetiva para a redução dos gases de efeito estufa.

Espera-se que os resultados do PROBIOGÁS possibilitem a inserção do aproveitamento energético do biogás na pauta dos governos e dos prestadores de serviços de saneamento básico, de modo a fazer com que esta fonte renovável de energia seja utilizada em toda a sua potencialidade, dentro da realidade brasileira, contribuindo também para a geração distribuída de energia e a maior diversificação da matriz energética nacional.

APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA

A Coletânea de Publicações do PROBIOGÁS é uma relevante contribuição governamental aos profissionais brasileiros que atuam em diferentes setores da infraestrutura, energia renovável, inovação tecnológica e, em especial, no setor de saneamento. Essa coletânea é composta por cadernos técnicos que tratam do biogás como tema central.

A coletânea é dividida em quatro séries, cada uma agrupando um conjunto de publicações que contribuem para uma determinada área do conhecimento e/ou de atuação no tema.

BIOGÁS

A primeira série é intitulada **Desenvolvimento do Mercado de Biogás**, abreviada como **BIOGÁS**, composta por publicações que tratam de aspectos tecnológicos da geração e utilização do biogás, do processo de licenciamento ambiental de plantas e instalações, da comercialização de co-produtos de plantas de biogás, entre outros tópicos pertinentes à estruturação da cadeia produtiva e à consolidação de um mercado nacional.

RSU

A segunda série aborda a utilização energética do biogás gerado a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, questão extremamente atual no contexto técnico e institucional do saneamento ambiental brasileiro. Denominada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos** e abreviada simplesmente como **RSU**, esta série abordará, entre outros tópicos, a metodologia e a tecnologia da metanização seca e estudos de viabilidade técnica e econômica.

ETE

A terceira série é chamada **Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto**, simbolizada pela sigla **ETE**, composta por publicações que tratam de aspectos técnicos, do projeto à operação, de estudos de viabilidade técnica e econômica, e de orientações para a licitação de sistemas de tratamento que contemplem o biogás.

RA

Finalmente, a quarta série abordará a utilização do biogás oriundo dos resíduos das atividades agrícolas, pecuárias e da agroindústria, que possuem um elevado potencial de aproveitamento no país. Intitulada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Agrosilvopastoris**, abreviada simplesmente como **RA**, as publicações versarão sobre os resíduos da suinocultura, comercialização de biofertilizante, entre outros tópicos.

Por oportuno, informamos que todas as Publicações da Coletânea estão disponíveis para download na página do Projeto PROBIOGÁS, hospedado no site da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades: www.cidades.gov.br/probiogas

SUMÁRIO

14	1 APRESENTAÇÃO
17	2 METODOLOGIA
25	3 ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO CONSIDERADAS
25	3.1 Alternativa 1: Lodo ativado com aeração prolongada [LAAP]
25	3.2 Alternativa 2: Decantador primário, lodo ativado convencional e digestor anaeróbio de lodo [DP-LAC-DL]
26	3.3 Alternativa 3: Decantador primário, lodo ativado convencional e digestor anaeróbio de lodo com sistema de aproveitamento energético de biogás [DP-LAC-DL GAS]
27	3.4 Alternativa 4: Reator UASB e lodo ativado convencional [UASB-LAC]
28	3.5 Alternativa 5: Reator UASB e tanque de aeração tipo lodo ativado convencional com sistema de aproveitamento energético de biogás [UASB-LAC GAS]
28	3.6 Sistema de aproveitamento de energia elétrica a partir do biogás
32	4 CUSTOS DE INVESTIMENTO [CAPEX]
32	4.1 Base de cálculo
33	4.2 Cálculo dos investimentos dos 5 sistemas
35	5 CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO [OPEX]
35	5.1 Base de cálculo
39	5.2 Cálculo das despesas de operação e manutenção
41	6 RECEITAS
42	7 CUSTO TOTAL E VIABILIDADE ECONÔMICA
42	7.1 Cálculo do Valor Presente Líquido das 5 alternativas
43	7.2 Taxa interna de retorno das instalações de aproveitamento de biogás
43	7.3 Análise de sensibilidade

53	8 POTENCIAL ECONÔMICO ADICIONAL PELO USO DA ENERGIA TÉRMICA PARA SECAGEM DO LODO
53	8.1 Descrição das tecnologias
55	8.2 Demanda de energia térmica para secagem de lodo
56	8.3 Estimativa do valor de redução de custos pela utilização da energia térmica do CHP
57	8.4 Potencial de redução de custos de disposição final de lodo pela secagem térmica
58	9 RESUMO ENERGÉTICO
60	10 CONCLUSÕES
61	11 CONSIDERAÇÕES FINAIS
61	11.1 Panorama das ETes com Aproveitamento de Biogás no Brasil
62	11.2 Conclusões da Análise de Viabilidade Técnico-Econômica
65	12 REFERÊNCIAS
68	13 ANEXOS
68	13.1 ANEXO 1: Dimensionamento dos arranjos
80	13.2 ANEXO 2: Cálculo CAPEX
87	13.3 ANEXO 3: Cálculo OPEX
89	13.4 ANEXO 4: Fluxos de Caixa

LISTA DE FIGURAS

14	1: Geração de energia elétrica em ETEs na Alemanha.
15	2: Biodigestores e gasômetro na ETE Arrudas.
15	3: Microturbina instalada na ETE Arrudas.
15	4: Gasômetro e CHP instalados na ETE Ribeirão Preto.
16	5: Unidade motor-gerador instalado na ETE Jacuípe II.
18	6: Metodologia.
19	7: Limpeza de reator UASB.
19	8: Calha para remoção de espuma.
19	9: Tampas para fechamento hermético.
20	10: Tecnologias e portes de ETEs no Brasil.
21	11: Alternativas comparadas.
22	12: Possibilidades de utilização de biogás.
25	13: Arranjo de lodos ativados com aeração prolongada.
26	14: Arranjo de lodos ativados convencional com digestor de lodo.
27	15: Arranjo de lodos ativados convencional com digestor de lodo e aproveitamento energético do biogás.
27	16: Arranjo de UASB com lodos ativados convencional.
28	17: Arranjo de UASB com lodos ativados convencional e aproveitamento energético do biogás.
29	18: Manômetro de sobrepressão.
29	19: Coletor de água condensada.
29	20: Produção de biogás com alimentação semicontínua.
30	21: Gasômetro de membrana dupla na ETE Jacuípe II.
30	22: Esquema de gasômetro de membrana dupla.
30	23: Tratamento de biogás preliminar-biodessulfurização.
30	24: Tratamento de biogás complementar – refrigerador e filtro de carvão ativado.
31	25: Motor-gerador instalado na ETE Jacuípe II.
31	26: Linha de regulação de biogás com válvula corta-chama.
31	27: Diagrama esquemático de um filtro de cascalho e/ou de cerâmica para remoção simultânea de sedimentos e de condensados.
31	28: Válvula corta-chama.
31	29: Medidor de vazão de biogás.
31	30: Analisador de qualidade de biogás.

34	31: Custos de investimento.
36	32: Tarifas médias de energia elétrica no ano de 2015.
40	33: Custos de operação.
43	34: Valor Presente Líquido do cenário base.
45	35: Valor Presente Líquido com aumento de perda de biogás no reator UASB.
46	36: Evolução da tarifa média de fornecimento [com e sem inflação].
48	37: Valor Presente Líquido com e sem aumento real da tarifa de energia elétrica.
50	38: Valor Presente Líquido com variação cambial.
52	39: Valor Presente Líquido com variação do custo de manutenção.
53	40: Exemplo de Secadores Rotativos.
54	41: Secador Transportador de esteira.
54	42: Esquema geral de uma planta de secagem solar.
59	43: Consumo de energia elétrica e térmica.

LISTA DE TABELAS

17	1: Premissas do Estudo.
20	2: Eficiências médias de remoção em %.
21	3: Características do esgoto e vazão de projeto.
33	4: Custos unitários de equipamentos do sistema de aproveitamento de biogás.
34	5: CAPEX em R\$.
36	6: Resumo do consumo anual de energia elétrica e custos anuais correspondentes.
37	7: Resumo da produção anual de lodo e custo para transporte e disposição final.
39	8: Quantitativo dos itens considerados para determinação de OPEX e custos unitários.
40	9: OPEX.
42	10: Valor Presente Líquido do cenário base.
43	11: Taxa interna de retorno.
45	12: Valor Presente Líquido com aumento de perda de biogás no reator UASB.
46	13: Tarifa média de fornecimento [com e sem inflação].
47	14: Valor Presente Líquido conforme aumento real da tarifa de energia elétrica.

48	15: Taxa interna de retorno com e sem aumento real da tarifa de energia elétrica.
49	16: Composição do CAPEX.
49	17: Valor Presente Líquido conforme a variação cambial.
51	18: Taxa interna de retorno com variação cambial.
51	19: Valor Presente Líquido conforme a variação do custo de manutenção.
52	20: Taxa interna de retorno com variação do custo de manutenção.
55	21: Demanda de energia térmica para secagem térmica de lodo.
56	22: Secagem térmica de lodo – Demanda e custo.
57	23: Redução de lodo e custo de disposição final pela secagem de lodo.
58	24: Comparação entre os balanços de energia elétrica e térmica.
68	25: Parâmetros de projeto – Lodo ativado geral.
68	26: Parâmetros de projeto – Lodo ativado com aeração prolongada.
71	27: Parâmetros do decantador primário.
72	28: Resultados do decantador primário.
73	29: Parâmetros de projeto – Tanque de aeração após decantador primário.
73	30: Resultados Tanque de Aeração após decantador primário.
74	31: Parâmetros e resultados para os decantadores secundários – Tanque de Aeração após UASB.
78	32: Parâmetros de projeto – Tanque de aeração após UASB.
79	33: Resultados Tanque de Aeração após UASB.
79	34: Parâmetros e resultados para os decantadores secundários – Tanque de Aeração após UASB.
81	35: Custos unitários de obras civis.
81	36: Quantitativo dos serviços de obras civis.
82	37: Quantidades e custos unitários de equipamentos.
84	38: Custos CAPEX – Equipamentos.
86	39: Custos CAPEX – Obras Civis.
88	40: Custos OPEX anuais.
90	41: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário base.
91	42: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5 % a.a.
92	43: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0 % a.a.
93	44: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário base.

94	45: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.
95	46: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.
96	47: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR.
97	48: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.
98	49: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.
99	50: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.
100	51: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário base.
101	52: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.
102	53: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.
103	54: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR a.a.
104	55: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.
105	56: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.
106	57: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.
107	58: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário base.
108	59: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.
109	60: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.
110	61: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.
111	62: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.
112	63: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário base.
113	64: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5%.
114	65: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.

115	66: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR a.a.
116	67: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.
117	68: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.
118	69: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.
119	70: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de perda de biogás para 40%.

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

SÍMBOLO/ABREVIATURA	DESCRIÇÃO
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CAPEX	Capital expenditure (investimento em bens de capital)
CAUE	Custo anual uniforme equivalente
CHP	Unidade motor-gerador
DL	Digestor anaeróbio de Lodo
DP	Decantador primário
ETE	Estação de tratamento de esgoto
GAS	Sistema de aproveitamento de biogás
LAAP	Lodo ativado com aeração prolongada
LAC	Lodo ativado convencional
OPEX	Operational expenditure (despesas operacionais)
UASB	<i>Upflow anaerobic sludge blanket</i>
LAAP	Lodos ativados com aeração prolongada
DP-LAC-DL	Decantação primária + lodo ativado convencional + digestor de lodo
DP-LAC-DL-GAS	Decantação primária + lodo ativado convencional + digestor de lodo + sistema de aproveitamento de biogás
UASB-LAC	Reator UASB + lodo ativado convencional
UASB-LAC-GAS	Reator UASB + lodo ativado convencional + sistema de aproveitamento de biogás
PCI	Poder calorífico inferior
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
SINAPI	Sistema nacional de preços e índices para construção civil

1

APRESENTAÇÃO

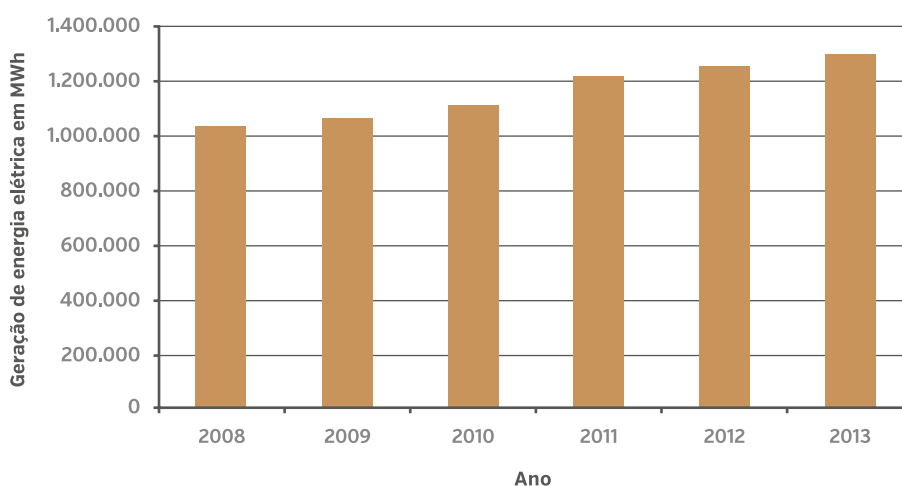
O objetivo deste trabalho é analisar, do ponto de vista técnico-econômico, a viabilidade do uso do biogás gerado em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), para fins de produção de energia elétrica, servindo como orientação para o setor de saneamento e contribuindo tanto com o avanço tecnológico quanto com a busca pela eficiência energética na prestação desse serviço. Esta análise será expandida, contribuindo com o objetivo do trabalho, para destacar o potencial de aproveitamento térmico do biogás na secagem do lodo gerado nas ETEs.

O estudo é voltado, portanto, aos prestadores de serviço de saneamento, que têm interesse em tornar suas instalações mais eficientes energeticamente; às instituições que elaboram e promovem as políticas de saneamento, já que buscam a qualidade dos serviços prestados à população; às demais instituições envolvidas diretamente com o tema, como o meio acadêmico; e aos projetistas de ETEs.

O aproveitamento de biogás em estações de tratamento de esgoto já é uma realidade no exterior. Nos Estados Unidos, há 104 ETEs que utilizam biogás oriundo de digestores de lodo como a fonte primária de combustível, totalizando uma capacidade instalada de 190 MW (EPA, 2011). Na Alemanha, onde a utilização de digestores anaeróbios de lodos é muito difundida, cerca de 90% da energia gerada a partir do biogás é utilizada em forma de energia elétrica e 10% em forma de energia térmica. No ano de 2013, foram gerados 1.291.396 MWh de energia elétrica, sendo grande parte (93%) consumida pelas próprias ETEs (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2015).

Na Figura 1, a seguir, pode ser observada a evolução da produção de energia elétrica nas ETEs da Alemanha. Entre os anos 2008 e 2013, a produção aumentou continuamente, totalizando um incremento de 26%.

Figura 1: Geração de energia elétrica em ETEs na Alemanha.



Fonte: Statistisches Bundesamt [2015].

No Brasil, embora o aproveitamento energético de biogás ainda não esteja muito difundido, já existem plantas instaladas, bem como outras em processo de implantação.

A ETE Arrudas, localizada em Belo Horizonte/MG, por exemplo, atende a aproximadamente 1,7 milhão de habitantes e aproveita o biogás produzido em digestores anaeróbios de lodo, como é possível ver na Figura 2, por meio de 12 microturbinas, visíveis na Figura 3, que têm uma capacidade total de geração de 2.400 kW, segundo dados da COPASA, 2015.

Figura 2: Biodigestores e gasômetro na ETE Arrudas.



Figura 3: Microturbina instalada na ETE Arrudas.



Fontes: Rotária do Brasil.

Outro exemplo de ETE em operação no Brasil que também usa energeticamente o biogás produzido em digestores de lodo é a ETE Ribeirão Preto. A ETE atende a cerca de 600.000 habitantes e está localizada em município de mesmo nome, no estado de São Paulo. Nesta planta, a energia elétrica vem sendo gerada em dois conjuntos motor-gerador ciclo Otto (Figura 4), com potência elétrica total de 1.500 kW (GUASCOR, 2015). Em ambos os casos, a energia térmica, produzida na cogeração, é utilizada para o aquecimento dos digestores anaeróbios de lodo.

Figura 4: Gasômetro e CHP instalados na ETE Ribeirão Preto.



Fonte: Guascor [2015].

Ao contrário dos exemplos anteriores, nos quais o foco é a geração de energia elétrica, nas instalações da ETE Vieiras, em Montes Claros/MG, somente a energia térmica tem sido aproveitada no processo de secagem do lodo, segundo Platzer, 2015.

Além dos empreendimentos já em operação no Brasil, como dito anteriormente, existem alguns projetos sendo implantados. Na ETE Jacuípe II, em Feira de Santana/BA, que atende a cerca de 100.000 habitantes, a instalação de um motor-gerador com potência elétrica de aproximadamente 200 kW (Figura 5) foi concluída e sua operação será iniciada ainda em 2016. O biogás, neste sistema, é gerado em um reator UASB, e a energia elétrica produzida compensará grande parte da demanda de energia necessária para o tratamento do efluente no processo de lodo ativado. O empreendimento faz parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) da ANEEL.

Figura 5: Unidade motor-gerador instalado na ETE Jacuípe II.



Fonte: Rotária do Brasil.

Na ETE Franca, outro projeto em andamento no Brasil, localizada em Franca/SP, pretende-se transformar o biogás em biometano e utilizá-lo como combustível veicular na frota da SABESP (PLATZER, 2015).

METODOLOGIA

O presente estudo compara três tecnologias de tratamento de esgoto, sendo que duas delas são capazes de gerar biogás: o reator UASB e o digestor anaeróbio de lodo. Foram comparadas as configurações apresentadas a seguir, considerando uma contribuição de esgotos proveniente de uma população de 100.000 habitantes:

- >> Lodos ativados de aeração prolongada (arranjo sem etapa anaeróbia);
- >> Lodos ativados convencional, seguido de tratamento anaeróbio de lodo (digestor), com e sem aproveitamento energético do biogás gerado;
- >> Reator UASB, seguido de lodos ativados convencional, com e sem aproveitamento energético do biogás gerado.

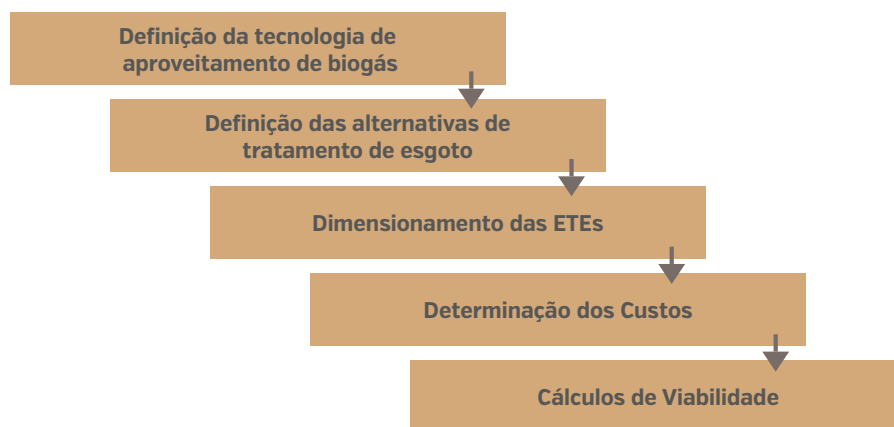
Na Tabela 1, a seguir, são apresentadas as premissas adotadas, que se apresentam justificadas ao longo do trabalho.

Tabela 1: Premissas do Estudo.

CRITÉRIO	PREMISSA
População	<ul style="list-style-type: none"> 100.000 habitantes
Forma de aproveitamento	<ul style="list-style-type: none"> Unidade motor-gerador ciclo Otto para geração de energia elétrica Geração elétrica contínua [24 horas por dia]
Aplicação	<ul style="list-style-type: none"> Concepção tecnológica de ETE nova Ampliação de um sistema de aproveitamento de biogás em ETEs existentes [com ressalvas]
Tarifa de energia elétrica*	<ul style="list-style-type: none"> Horosazonal – verde A4 para a faixa de tensão de 2,3 a 25 kV da COELBA com desconto de 15% [detalhes nas seções 6.1.1 e 8.3.2]
Câmbio base**	<ul style="list-style-type: none"> R\$ 3,50 por Euro
Juros de empréstimo*	<ul style="list-style-type: none"> 8,70% [BNDES]
Taxa de inflação*	<ul style="list-style-type: none"> 6,50%
Destino final de lodo	<ul style="list-style-type: none"> Custos de disposição final em aterro sanitário sem higienização
* Base 07/2015	
** Variado na análise de sensibilidade	

Na Figura 6, que segue, apresenta-se a metodologia adotada, detalhada a seguir.

Figura 6: Metodologia.



A partir de eficiências preestabelecidas de tratamento de esgoto, será realizada uma análise comparativa dos cinco arranjos selecionados, considerando os custos relevantes de investimento, operação, manutenção e reparação. Desta maneira, o trabalho avaliará a viabilidade econômica de aproveitamento energético de biogás para cenários específicos em estações de tratamento de esgoto e mostrará qual desses arranjos é o mais vantajoso.

O presente estudo subsidiará tanto a escolha da tecnologia de tratamento, no caso de concepção e implantação de novas ETes, quanto a tomada de decisão pela instalação de um sistema de aproveitamento energético em ETes existentes que possuam uma etapa anaeróbia. Nestes casos, especialmente quando se tratar de uma ETE com reatores UASB, devem ser tomados alguns cuidados com relação à adequação das instalações existentes, cujos custos adicionais, apesar de não terem sido considerados neste estudo, devem ser objeto de estudo específico.

Tais adequações visam promover a máxima estanqueidade e a boa operacionalidade do reator UASB, de forma a minimizar as perdas do biogás para a atmosfera e no próprio efluente líquido, o que poderia inviabilizar a implantação de um sistema de aproveitamento de biogás.

Estas ações consistem, geralmente, na limpeza dos reatores por empresas especializadas (Figura 7), fechamento com tampas herméticas (Figura 9), impermeabilização de aberturas e implantação de sistemas de remoção de espuma (Figura 8).

Figura 7: Limpeza de reator UASB.**Figura 8:** Calha para remoção de espuma.**Figura 9:** Tampas para fechamento hermético.

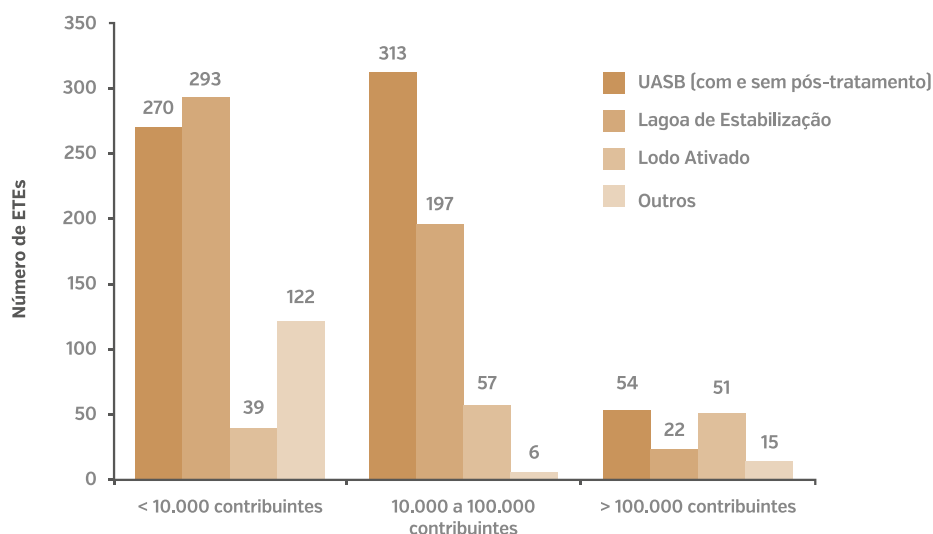
Fontes: Rotária do Brasil.

Para este estudo, foi adotada, como base de cálculo, uma população atendida de 100.000 habitantes, visto que, além deste porte proporcionar grande possibilidade de reprodução, alguns estudos e experiências práticas apontam para a viabilidade econômica dessas instalações.

Valente (2015), que avaliou a viabilidade econômica de cinco arranjos de aproveitamento energético em escalas de 50.000 a 450.000 habitantes, estima a escala mínima populacional, com viabilidade de geração de energia elétrica, em aproximadamente 162.000. Rosenfeldt *et al.* (2015) demonstraram, por sua vez, a viabilidade de um sistema de aproveitamento de energia elétrica a partir do biogás, tendo por base a ETE Jacuípe II, em Feira de Santana/BA, com capacidade de atendimento de aproximadamente 100.000 habitantes.

O potencial de replicabilidade pode ser estimado a partir dos levantamentos de Chernicharo (2015). Em nove estados brasileiros e no Distrito Federal, foi contabilizado um total de 1.439 ETEs com diversas tecnologias de tratamento, sendo que, desse total, 142 estações atendem a uma população superior a 100.000 habitantes. As ETEs de maior porte (> 100.000 habitantes), que possuem reator UASB, atendem em torno de 12 milhões habitantes, enquanto os sistemas com lodos ativados atendem a aproximadamente 25 milhões habitantes. Considerando somente os reatores UASB, Chernicharo (2015) estima um potencial de geração de energia elétrica, a partir de biogás, de 370 MWh/d, o que equivale ao consumo residencial de energia elétrica diário *per capita* de aproximadamente 206.000 habitantes (EPE, 2015).

Figura 10: Tecnologias e portes de ETes no Brasil.



Fonte: Chernicharo (2015).

Definiu-se que as tecnologias de tratamento de esgoto adotadas deveriam apresentar, no mínimo, o seguinte desempenho de tratamento, baseando-se no estado da arte da área:

- >> Eficiência de remoção de carga orgânica (DBO_5) de 90%;
- >> Eficiência de nitrificação de 80% (inevitável nas condições brasileiras e, portanto, considerada no dimensionamento da aeração);
- >> Eficiência de desnitrificação de 60% (necessária para manter a alcalinidade mínima do sistema);
- >> Lodo excedente estabilizado, com a relação entre sólidos totais e sólidos totais voláteis suficientemente grande ($< 60\%$), permitindo disposição final em aterro sanitário.

Na definição de parâmetros anterior, não foi considerada a remoção de fósforo, pois esta normalmente não é uma condição para obtenção de licença ambiental.

Na Tabela 2, a seguir, são apresentadas as eficiências médias dos arranjos estudados.

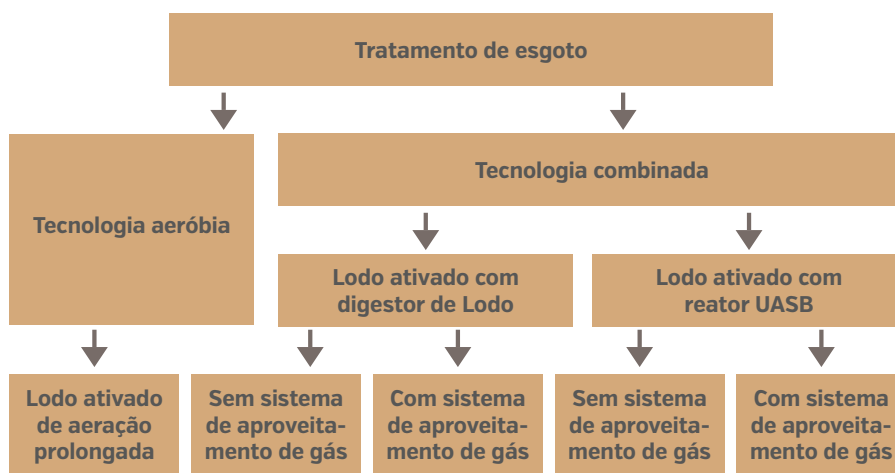
Tabela 2: Eficiências médias de remoção em %.

PROCESSO	CARGA ORGÂNICA (DBO_5)	REMOÇÃO DE AMÔNIA (NITRIFICAÇÃO)	REMOÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL (DENITRIFICAÇÃO)
Lodo ativado de aeração prolongada	90 a 97	> 80	< 60
Lodo ativado convencional	85 a 93	> 80	< 60
Lodo ativado com reator UASB	83 a 93	50 a 85	< 60

Fonte: Von Sperling (2009).

Com as premissas estabelecidas, apresentadas anteriormente, chegou-se aos arranjos apresentados na Figura 11.

Figura 11: Alternativas comparadas.



Após a definição das premissas do estudo, realizou-se o dimensionamento dos arranjos definidos, determinando os volumes de todas as unidades de tratamento, a potência instalada, o consumo de energia elétrica de aeração nas etapas aeróbias e a produção de lodo excedente.

Para o dimensionamento dos arranjos, adotaram-se as características qualitativas e quantitativas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Características do esgoto e vazão de projeto.

PARÂMETRO	VALOR	OBSERVAÇÃO
População Atendida (hab.)	100.000	Adotado
Contribuição <i>per capita</i> (l/hab.d)	160	Adotado
Coefficiente de vazão máxima diária (k1)	1,2	Adotado
Coefficiente de vazão máxima horária (k2)	1,5	Adotado
DBO (Kg/d)	5.400	Pop x [54 g/hab.dia <i>i</i>]/1000
DQO (Kg/d)	11.000	Pop x [110 g/hab.dia <i>i</i>]/1000
NTK (Kg/d)	1.100	Pop x [11 g/hab.dia <i>i</i>]/1000
ST (Kg/d)	6.000	Pop x [60 g/hab.dia <i>i</i>]/1000
$Q_{\text{média}}$ (m³/d)	16.000	[Pop x C]/1000
$Q_{\text{infiltração}}$ (m³/d)	4.800	Adotado
$Q_{\text{máxima}}$ (m³/d)	28.800	$Q_{\text{esgoto}} \times [k1] \times [k2]$
Q_{total} (m³/d)	33.600	$Q_{\text{máxima}} + Q_{\text{infiltração}}$
i Conforme NBR 12.209 (ABNT, 2011)		

cado. Contudo, sugere-se, para novos projetos, um estudo de viabilidade técnico-econômica para a escolha do método construtivo mais vantajoso.

Com relação aos custos de operação e manutenção, foi consultada a literatura específica, destacando-se a obra de Döhler (2013). Em analogia aos custos de investimento, também foram considerados somente os custos que diferem significativamente uma solução da outra.

Os itens considerados relativos ao tratamento de esgoto são os custos com o consumo de energia elétrica para a aeração nos tanques de lodo ativado e o custo com transporte e disposição final dos lodos gerados em aterro sanitário.

Para a verificação da viabilidade econômica dos arranjos propostos, foi utilizado o Valor Presente Líquido (VPL), calculado por meio da Equação 1, apresentada a seguir. Inicialmente, é estruturado o fluxo de caixa, ou seja, o somatório de todos os custos e receitas em cada ano. Em seguida, é descontado o valor anual pela taxa mínima de atratividade, sendo o somatório destes valores anuais descontados igual ao Valor Presente Líquido.

Equação 1

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$$

Onde,

- >> VPL = Valor Presente Líquido
- >> FC_t = Fluxo de caixa no período
- >> i = taxa de juros em %
- >> n = número de períodos

Como taxa de desconto, adotou-se a taxa de juros para empréstimos do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) para empreendimentos de saneamento ambiental, referente ao mês de julho de 2015 (BRASIL, 2015b). A taxa é composta pelo custo financeiro de 6,50% a.a., remuneração básica do BNDES de no mínimo 1,2% a.a. e taxa de risco de crédito para Estados, Municípios e Distrito Federal de 1% a.a., resultando em uma taxa de financiamento de 8,70%. Os fluxos de caixa referentes à reposição de equipamentos, operação e receitas foram ajustados pela taxa de inflação, prevista para 6,50% (BRASIL, 2015c).

O estudo não considerou a receita oriunda do serviço de esgotamento sanitário, gerada a partir das tarifas cobradas pelo prestador. Sendo este um estudo comparativo, tomou-se como base somente os custos de investimento e operação ao longo do universo de referência, e, como custo evitado, a geração de energia elétrica a partir do biogás. A ausência de receitas oriundas das tarifas de esgoto explica os Valores Presentes Líquidos negativos resultantes do trabalho.

O cálculo da viabilidade foi realizado com um horizonte de planejamento de 25 anos (SANDER, 2003). Contudo, considerou-se que os arranjos são compostos por unidades que apresentam vida útil diferente, fato que re-

sulta na necessidade de reposição durante o período analisado. Para evitar distorções na avaliação das alternativas estudadas, foram considerados os valores residuais conforme Orth (1988), que sugere a utilização de um fator de desconto para determinação do valor residual (Equação 2).

Equação 2

$$VPL = \frac{1 - [(1+i)^l]}{1 - [(1+i)^n]} \cdot l$$

Onde,

- >> VR = Valor residual
- >> i = Taxa de juros em %
- >> n_{residual} = Anos residuais, após o horizonte de planejamento de 25 anos
- >> l = Vida útil em anos

Para mostrar a vantagem da instalação da linha de aproveitamento de bio-gás, é apresentada sua taxa interna de retorno (TIR), que torna o VPL igual a ZERO (Equação 3) e representa a taxa de desconto que o investidor obtém, em média, em cada período do empreendimento sobre o capital investido.

Equação 3

$$VPL = 0 = \sum \frac{FC_t}{(1+TIR)^t}$$

Onde,

- >> VPL = Valor Presente Líquido
- >> FC_t = Fluxo de caixa no período
- >> TIR = Taxa interna de retorno em %
- >> n = Número de períodos

Ao final, é possível realizar uma análise de sensibilidade, na qual é verificada a influência de variação de fatores significativos ao estudo de viabilidade.

3

ALTERNATIVAS DE TRATAMENTO CONSIDERADAS

Neste capítulo, são apresentadas e descritas as alternativas de tratamento propostas.

3.1 Alternativa 1: Lodo ativado com aeração prolongada [LAAP]

A alternativa 1 consiste em lodos ativados com aeração prolongada (Figura 13), caracterizada pela permanência de biomassa durante um período maior do que o convencional, variando entre 18 e 30 dias (von Sperling, 2012), tendo sido adotado neste estudo o período de 20 dias. No sistema de lodos ativados com aeração prolongada, a estabilização do lodo ocorre no próprio reator (estabilização aeróbia), fazendo com que esta configuração não necessite de decantador primário ou de digestor de lodo. Portanto, esta alternativa, além de consumir mais energia elétrica para a aeração, não apresenta potencial significativo de produção de energia, pois não possui etapa anaeróbia de tratamento do esgoto com produção de biogás.

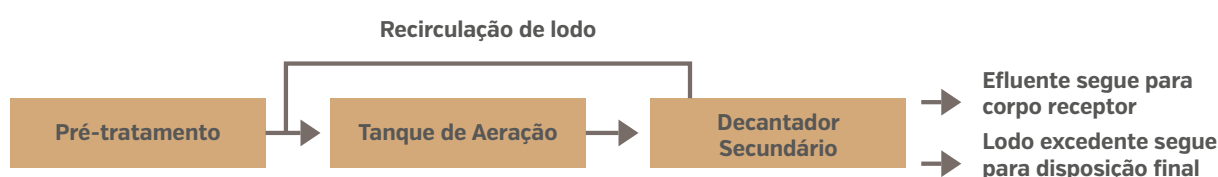


Figura 13: Arranjo de lodos ativados com aeração prolongada.

A eficiência de remoção de DQO é de 90%, apresentando ainda boa eficiência na nitrificação e desnitrificação se operada adequadamente. A grande vantagem do sistema está na simplicidade de operação, em comparação às demais tecnologias consideradas neste estudo. O dimensionamento do sistema é apresentado no ANEXO 1.2.

3.2 Alternativa 2: Decantador primário, lodo ativado convencional e digestor anaeróbio de lodo [DP-LAC-DL]

Nesta concepção (Figura 14), utiliza-se um decantador primário para remoção de parcela da matéria orgânica sedimentável, seguido de lodo ativado convencional que geralmente apresenta uma idade de lodo de 4 a 10 dias (Von Sperling, 2012), tendo sido adotado neste estudo o período de 10 dias. Em consequência da idade de lodo inferior, o lodo excedente possui maior parcela de matéria orgânica e necessita de uma unidade para sua estabilização anaeróbia, realizada, nesta alternativa, em um digestor. É nesta etapa que ocorre a geração de biogás, não aproveitado neste caso, sendo apenas direcionado a um queimador.

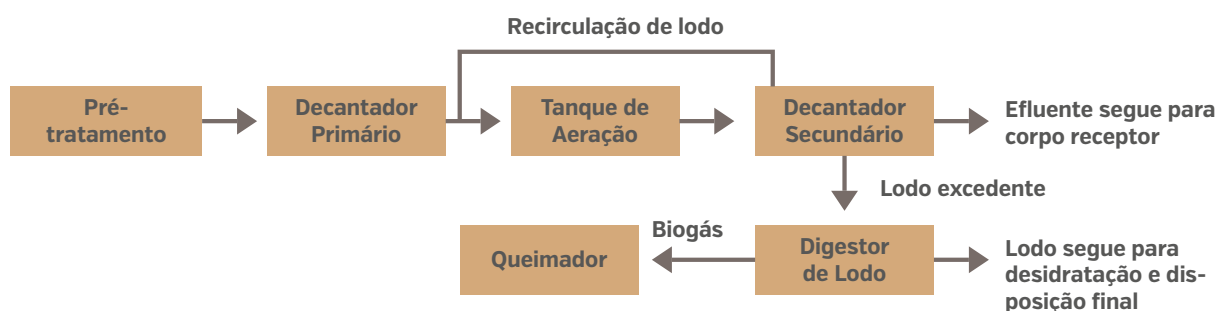


Figura 14: Arranjo de lodos ativados convencional com digestor de lodo.

A eficiência de remoção de DQO, nesta alternativa, é de 90%, sendo boa a eficiência na nitrificação e havendo possibilidade de alta eficiência na desnitrificação.

3.3 Alternativa 3: Decantador primário, lodo ativado convencional e digestor anaeróbio de lodo com sistema de aproveitamento energético de biogás [DP-LAC- DL GAS]

Esta alternativa considera a mesma linha de tratamento de efluentes da alternativa 2, mas, neste caso, aproveita-se o biogás que está sendo gerado no digestor de lodo. Acrescenta-se, portanto, um sistema de aproveitamento energético de biogás por meio de um motor-gerador, proporcionando a geração de energia elétrica na ETE para autoconsumo, como disposto na Figura 15.

O cálculo da potência elétrica a ser instalada considera o teor de metano e, consequentemente, seu poder calorífico inferior (PCI). Conforme Brasil (2015a), o biogás proveniente do processo anaeróbio de digestores de lodo apresenta teores de metano de 60 a 70% e um PCI entre 6,0 e 7,0 kWh/Nm³. Adotando-se um gás com teor de metano de 65%, apresentando um PCI de 6,50 kWh/m³, e um rendimento elétrico típico do motor-gerador de 38% (BRASIL, 2015d), calcula-se a potência ativa do gás por:

Equação 4

$$P_{\text{elétrica}} = Q_{\text{biogás, disponível}} \cdot \text{PCI} \cdot \eta_{\text{elétrico}}$$

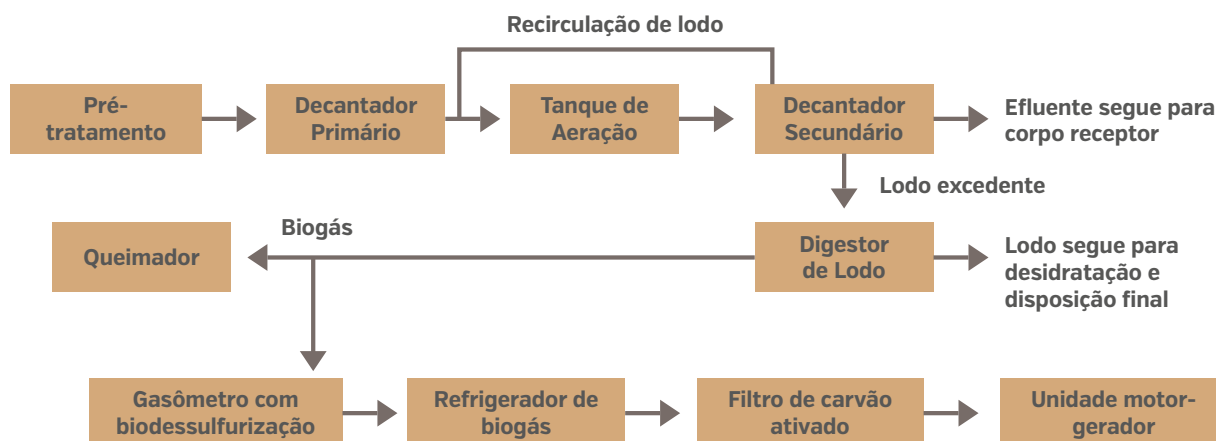
$$P_{\text{elétrica}} = 1.712 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 38\%$$

$$P_{\text{elétrica}} = 71,35 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 6,50 \text{ kWh/m}^3 \cdot 38\% = 176 \text{ kW}$$

Onde,

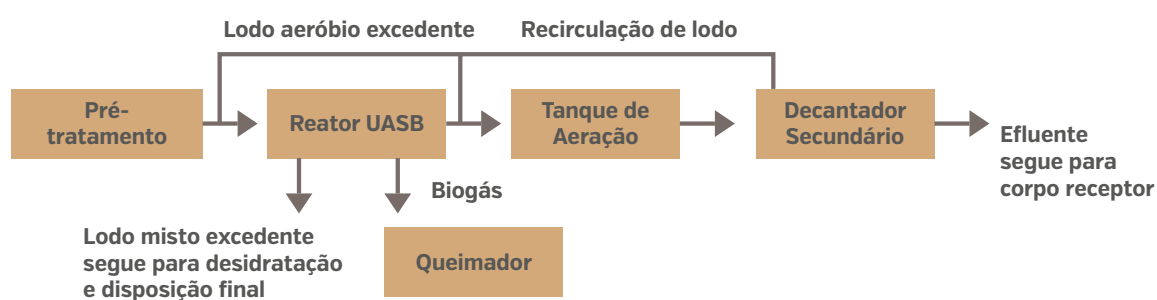
- >> $Q_{\text{biogás, disponível}}$ = Vazão de biogás disponível em m³/d, conforme ANEXO 1.3
- >> $P_{\text{elétrica}}$ = Potência elétrica em kW
- >> $\eta_{\text{elétrico}}$ = Rendimento elétrico em %
- >> PCI = Poder calorífico inferior em kWh/Nm³_{biogás}

Adotando uma disponibilidade técnica do motor-gerador de 8.000 horas por ano, que representa 91% do tempo anual, calcula-se o potencial de geração de energia elétrica em 1.409.916 kWh/a, energia considerada como custo evitado no Fluxo de Caixa desta alternativa.

Figura 15: Arranjo de lodos ativados convencional com digestor de lodo e aproveitamento energético do biogás.

3.4 Alternativa 4: Reator UASB e lodo ativado convencional [UASB-LAC]

Este arranjo é composto por um reator UASB (*upflow anaerobic sludge blanket*), seguido de lodo ativado convencional, sendo esta alternativa já difundida no cenário atual de saneamento no Brasil. Nesta configuração, ao invés do decantador primário, faz-se uso do reator UASB, cuja eficiência de remoção de DQO é de 90%. O lodo aeróbio excedente ainda não estabilizado retorna ao reator UASB para estabilização anaeróbia, juntamente com o lodo anaeróbio já presente no reator. Neste caso, o biogás gerado no UASB não será aproveitado, sendo somente encaminhado a um queimador.

Figura 16: Arranjo de UASB com lodo ativado convencional.

3.5 Alternativa 5: Reator UASB e tanque de aeração tipo lodo ativado convencional com sistema de aproveitamento energético de biogás [UASB- LAC - GAS]

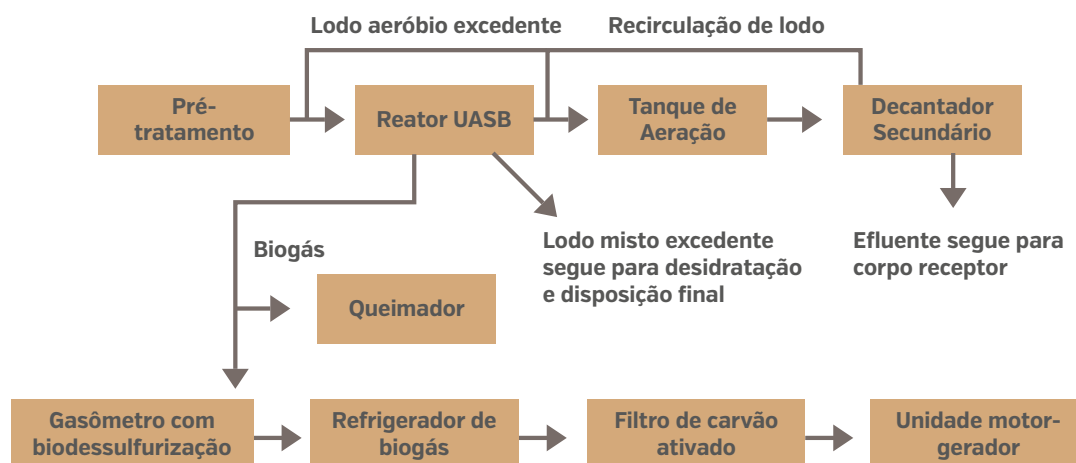
Esta alternativa baseia-se na alternativa 4, mas com a utilização do biogás gerado no reator UASB. Acrescenta-se, portanto, o sistema de aproveitamento energético de biogás por meio de um motor-gerador, proporcionando a geração de energia elétrica na ETE, para autoconsumo (Figura 17).

No caso do aproveitamento do biogás gerado em reatores UASB, deve ser considerada a perda causada pela saída de metano de forma dissolvida com o efluente líquido. Segundo Brasil (2015a), os valores de perda de metano observados na prática variam entre 14 e 50%, sofrendo influência da carga hidráulica aplicada, temperatura e pressão parcial do gás no interior do reator. Vale salientar que este fenômeno não ocorre em digestores anaeróbios de lodos.

Em analogia ao cálculo da potência instalada, apresentada na seção 3.3, utiliza-se a Equação 4. Como apresentam Cabral *et al.* (2015), os reatores UASB geram biogás com teores de metano mais elevados, quando comparados aos digestores anaeróbios de lodo, apresentando valores entre 60 e 85% (BRASIL, 2015a). Adotando um teor de metano de 78% e, conseqüentemente, um PCI de 7,80 kWh/Nm³_{biogás}, chegou-se ao valor de 176 kW.

Partindo da disponibilidade técnica do motor-gerador de 8.000 horas por ano, medida que representa 91% do tempo anual e aplicando a vazão de biogás gerado no reator UASB de 1.427 m³/d (ver ANEXO 1.4), calcula-se que a geração de energia elétrica seja de 1.409.506 kWh/a, considerada como custo evitado no Fluxo de Caixa desta alternativa.

Figura 17: Arranjo de UASB com lodo ativado convencional e aproveitamento energético do biogás.



3.6 Sistema de aproveitamento de energia elétrica a partir do biogás

A seguir, são apresentados os componentes da linha de aproveitamento de biogás considerados neste estudo.

3.6.1 Coleta e Transporte de biogás

O sistema de coleta e transporte de biogás é, basicamente, composto por tubos condutores que podem ser fabricados em aço inoxidável ou em plástico apropriado (BRASIL, 2015a). Para este estudo, adotaram-se tubulações

em polietileno de alta densidade (PEAD). Além dos tubos condutores, o sistema apresenta válvulas de bloqueio, removedores de água condensada e manômetros para a indicação da sobrepressão.

Figura 18: Manômetro de sobrepressão.



Figura 19: Coletor de água condensada.

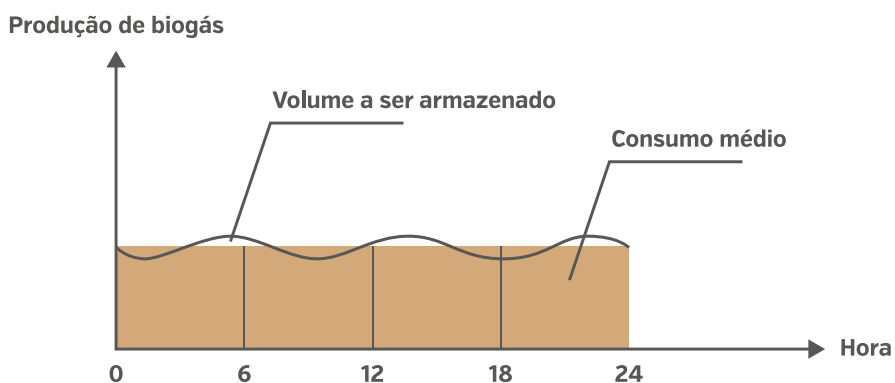


Fontes: Rotária do Brasil.

3.6.2 Armazenamento de biogás

O armazenamento de biogás é indispensável para uma planta em que o biogás é aproveitado (BRASIL, 2015a). Tal necessidade de armazenamento origina-se da diferença entre a produção de biogás nos reatores anaeróbios e o consumo de biogás no motor-gerador, como é possível ver na Figura 20. Para a realização da operação contínua do motor-gerador, devem ser consideradas as variações de produção.

Figura 20: Produção de biogás com alimentação semicontínua.



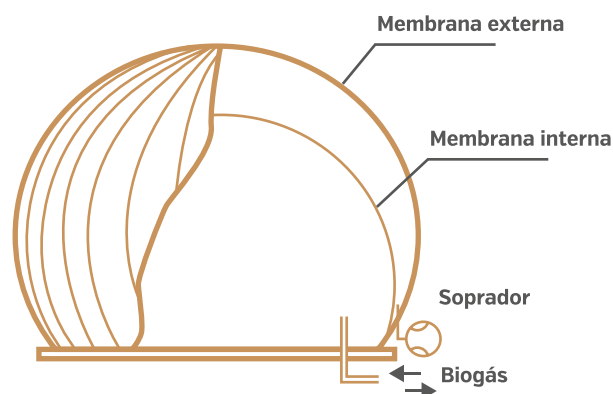
Fonte: Brasil [2015a].

Neste estudo, adotou-se a instalação de um gasômetro de membrana dupla que trabalha com baixa pressão (Figura 21 e Figura 22). Vale salientar que, quando o moto-gerador é utilizado para suprir a demanda no horário de ponta, o volume do gasômetro é significativamente maior.

Figura 21: Gasômetro de membrana dupla na ETE Jacuípe II.



Figura 22: Esquema de gasômetro de membrana dupla.



Fonte: Rotária do Brasil.

Fonte: Brasil [2015a].

3.6.3 Tratamento de biogás

O biogás apresenta uma série de compostos contaminantes, os quais, conforme a tecnologia de aproveitamento energético, precisam ser removidos.

No caso de utilização em motores de combustão interna, devem ser reduzidas as concentrações de H_2S , vapor d'água e siloxanos. Adotou-se, aqui, a instalação de um sistema de remoção biológica de H_2S (biodessulfurização), por meio de injeção controlada de ar no interior do gasômetro (Figura 23), e um tratamento secundário, no qual a combinação de um refrigerador com um filtro de carvão ativado (Figura 24) remove o H_2S residual, a umidade e os siloxanos.

Figura 23: Tratamento de biogás preliminar – biodessulfurização (esquerda).

Figura 24: Tratamento de biogás complementar – refrigerador e filtro de carvão ativado (direita).

Fontes: Rotária do Brasil.



3.6.4 Unidade de aproveitamento energético

Neste estudo de viabilidade, adota-se um motor ciclo Otto com gerador acoplado que está abrigado em um contêiner marítimo (Figura 25). O motor é alimentado por uma mistura de biogás e ar, por meio da linha do controle e regulação de gás (Figura 26).

Figura 25: Motor-gerador instalado na ETE Jacuípe II [esquerda].

Figura 26: Linha de regulação de biogás com válvula corta-chama [direita].

Fontes: Rotária do Brasil.



3.6.5 Queimador de biogás

Os queimadores de biogás são indispensáveis em ETEs com etapa anaeróbia, mesmo quando o biogás não está sendo aproveitado, visando à redução de impacto ambiental e de odores (BRASIL, 2015a). Quando a ETE possui instalações de aproveitamento, o queimador é necessário para o caso de ocorrência de excesso de produção de biogás, por exemplo, em função de falhas operacionais ou trabalhos de manutenção (BRASIL, 2015a).

Figura 27: Queimador de segurança [esquerda].

Figura 27: Válvula corta-chama [direita].

Fonte: Rotária do Brasil.

Fonte: Protego.



3.6.6 Monitoramento

Em um sistema de aproveitamento de biogás, devem ser monitoradas a vazão e a qualidade do biogás produzido, além da pressão operacional (BRASIL, 2015a). Para atender às exigências mínimas, optou-se, neste estudo, por um medidor de vazão tipo *vortex* (Figura 29). Com relação ao monitoramento de qualidade, considerou-se um analisador (Figura 30) para a determinação do teor de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e oxigênio (O_2).

Figura 29: Medidor de vazão de biogás [esquerda].

Figura 30: Analisador de qualidade de biogás [direita].

Fonte: Union Instruments [2015].

Fonte: Höntzsch [2015].



4

CUSTOS DE INVESTIMENTO [CAPEX]

Os custos de investimento considerados neste estudo compreendem a construção civil das unidades de tratamento de esgotos e os equipamentos necessários para sua devida operação.

Os custos com construção civil abrangeram os materiais e a mão de obra para construção de todas as unidades de tratamento, com exceção do digestor de lodo, que consiste em um tanque de aço vitrificado montado em cima de uma base de concreto estrutural. Deve-se ressaltar, ainda, que este estudo parte da premissa de que as unidades auxiliares, como a casa de operação, o edifício de administração, a estação elevatória de lodo, o esgotamento pluvial, são as mesmas em todas alternativas, não sendo, portanto, incluídas na avaliação econômica.

4.1 Base de cálculo

4.1.1 Quantitativos

Para a quantificação do consumo de concreto para os serviços de obras civis, foram adotados os seguintes critérios:

- >> Espessura de parede igual a 0,40m;
- >> Espessura da base igual a 0,25m;
- >> Espessura da laje de fundação igual a 0,20m.

Estabelecidas as dimensões, foram calculados a quantidade de concreto necessária para cada unidade e, em seguida, o somatório para cada arranjo estudado. Para a quantificação da armadura, foi considerado o uso de 120 kg de aço por metro cúbico de concreto. A quantidade de formas foi estimada a partir da relação de 2 m² de formas por metro cúbico de concreto, relações baseadas nas experiências empíricas com obras semelhantes (RKS, 2015). O quantitativo referente ao cimbramento e à impermeabilização foi elaborado adotando as dimensões de cada unidade. Tais quantitativos são apresentados na Tabela 36.

4.1.2 Custos Unitários

Para a determinação dos custos unitários de serviços e materiais de construção, foi consultado o banco de dados do *sistema nacional de preços e índices para a construção civil* (SINAPI). Os resultados estão apresentados na Tabela 35, encontrada no ANEXO 2.

Para os custos dos equipamentos, foram utilizadas cotações de preços de fornecedores estrangeiros, acrescidas as taxas e os impostos incidentes (Tabela 4).

A composição de todos os custos de investimento dos equipamentos considerados na avaliação de viabilidade é apresentada na Tabela 37, encontrada no ANEXO 2.

Tabela 4: Custos unitários de equipamentos do sistema de aproveitamento de biogás.

EQUIPAMENTO	CUSTO UNITÁRIO SEM BDI EM R\$	CUSTO UNITÁRIO COM BDI EM R\$	REFERÊNCIA
Unidade Motor-Gerador – 176 kW	1.065.221,50	1.214.565,55	Dreyer & Bosse
Unidade Motor-Gerador – 151 kW**	970.181,82	1.106.201,31	Dreyer & Bosse
Sistema de Tratamento de Biogás	145.078,59	165.418,60	Dreyer & Bosse
Sistema de Tratamento de Biogás	138.349,39	157.745,97	Dreyer & Bosse
Gasômetro – 400 m ³	279.349,19	318.513,95	BAUR
Sistema de captação de biogás	120.964,00	137.923,15	Rotária do Brasil
Sistema de transporte de biogás	59.876,00	68.270,62	Rotária do Brasil
Instalações Elétricas*	117.570,84	134.054,27	Rotária do Brasil
Medição de vazão de biogás	29.988,00	34.192,32	Höntzsch
Medição de composição de biogás	86.357,38	98.464,68	Union Instruments
Sistema de queima c/ queimador aberto	80.568,17	91.863,83	Rotária do Brasil
* Instalações elétricas específicas para motor-gerador			
** Para análise de sensibilidade com perda de biogás no reator UASB			

4.1.3 Benefícios e Despesas Indiretas

O BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) é o elemento de um orçamento que tem por finalidade mensurar as parcelas do preço da obra que incidem indiretamente na execução do objeto.

O BDI é composto por: custos de administração central; custos das despesas financeiras da obra; custos de risco sistemático (não diversificável) aplicado ao empreendimento; tributos municipais, estaduais e federais (exceto IR e CSLL); seguros e garantias; e a margem de lucro. Agregado ao custo direto de uma obra ou um serviço, o BDI define o gasto total do empreendimento. Neste estudo, foram adotados BDI de 24,18% para obras e serviços e 14,02% para equipamentos, de acordo com o Acórdão 2622/2013, do Tribunal de Contas da União.

4.2 Cálculo dos investimentos dos 5 sistemas

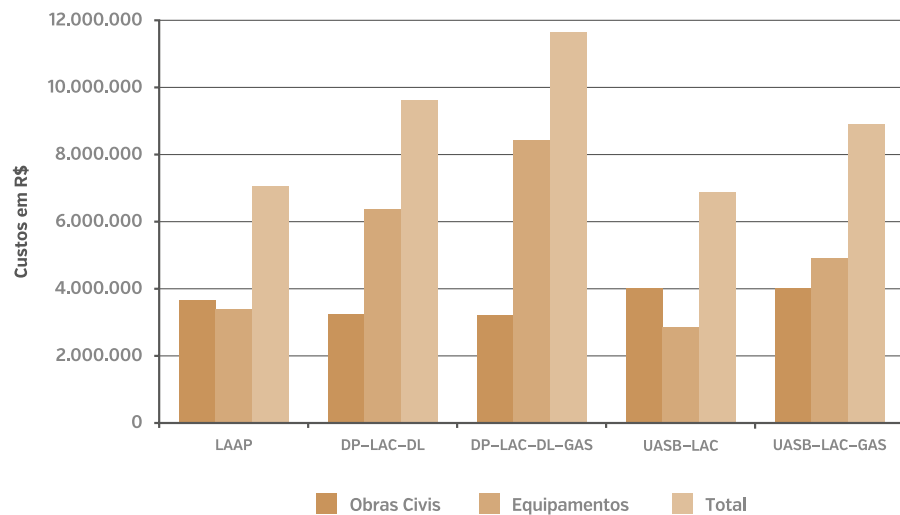
A Tabela 5 e a Figura 31, a seguir, demonstram os resultados referentes aos custos gerais de investimento dos 5 arranjos, sendo que seus memoriais de cálculo constam no ANEXO 2. Ressalta-se que, conforme indicado anteriormente, calcularam-se somente os aspectos que diferem uma solução da outra.

Os menores custos de investimento foram apresentados pela Alternativa 4 (UASB-LAC) e pela Alternativa 1 (LAAP). As alternativas usando o digestor de lodo apresentam custos de investimento mais elevados.

Tabela 5: CAPEX em R\$.

DESCRIÇÃO	ALTERNATIVAS				
	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
	Custos CAPEX em R\$				
Obras Civas	3.645.835	3.229.594	3.229.594	4.013.198	4.013.198
Equipamentos	3.376.883	6.399.243	8.432.723	2.869.123	4.902.603
Total	7.022.718	9.628.837	11.662.317	6.882.322	8.915.802
LAAP	Lodos ativados com aeração prolongada				
DP-LAC-DL	Decantação primária + lodo ativado convencional + digestor de lodo				
DP-LAC-DL-GAS	Decantação primária + lodo ativado convencional + digestor de lodo + sistema de aproveitamento de biogás				
UASB-LAC	Reator UASB + lodo ativado convencional				
UASB-LAC-GAS	Reator UASB + lodo ativado convencional + sistema de aproveitamento de biogás				
Observação	Os custos referentes às obras civis da implementação do sistema de aproveitamento de biogás foram contabilizados na categoria "Equipamentos"				

Figura 31: Custos de investimento.



Fonte: CAPEX.

5

CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (OPEX)

Neste capítulo, é apresentada a base de cálculo dos custos de operação e manutenção dos 5 sistemas a serem comparados. Foram considerados os custos referentes ao consumo de energia elétrica; a disposição final de lodo gerado durante o processo de tratamento de esgoto; e os custos de manutenção do sistema de aproveitamento energético de biogás. Por falta de experiências brasileiras, em relação aos custos do sistema de aproveitamento energético de biogás, foram determinados os custos operacionais com base em experiências alemãs. Consideraram-se custos de operação, manutenção e reparação das unidades instaladas, bem como insumos, por exemplo, energia elétrica de autoconsumo da unidade motor-gerador, consumo de óleo lubrificante, análises laboratoriais do biogás e do óleo lubrificante.

5.1 Base de cálculo

5.1.1 Consumo Energético

O custo referente ao consumo energético por ano foi determinado a partir do consumo específico de cada arranjo de tratamento de esgoto, proveniente do dimensionamento destes. Considerou-se somente o consumo referente à aeração, sabendo que os consumos de outras unidades na ETE não diferem significativamente entre as alternativas.

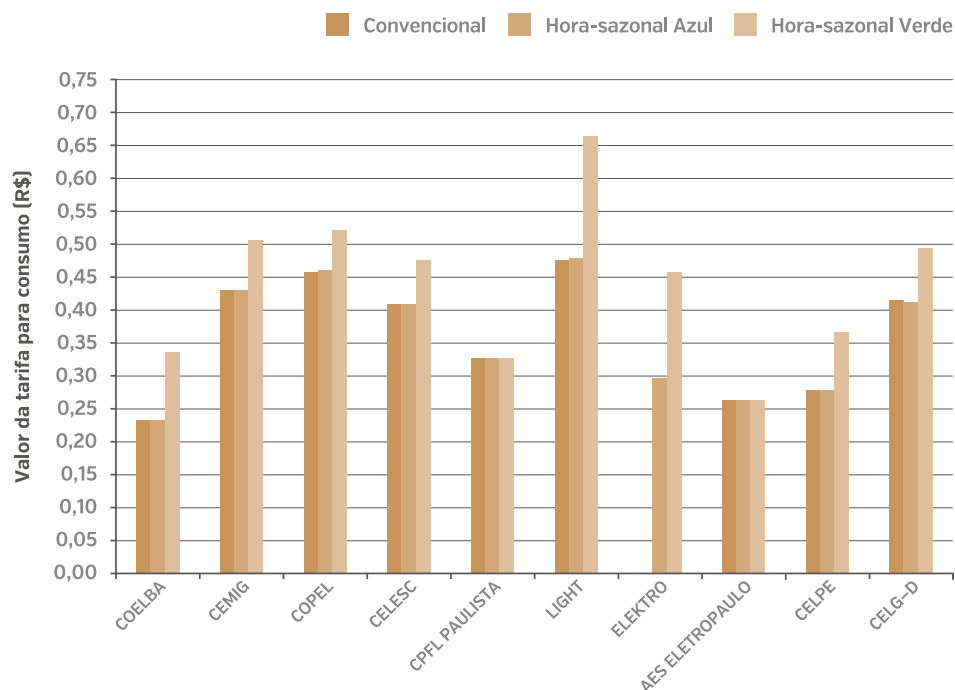
Para a determinação do custo unitário de energia elétrica, levou-se em consideração o sistema tarifário da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), por esta apresentar uma das tarifas mais baixas do Brasil. Assim, o estudo de viabilidade torna-se mais conservador e proporciona resultados mais seguros, já que, para cenários com tarifas de energia mais caras, a vantagem de uma geração própria é ainda maior.

A Figura 32, a seguir, traz a comparação das tarifas médias de energia elétrica das 10 maiores companhias do setor. Observa-se que seis companhias apresentam tarifas de 36 a 97% superiores à da COELBA. Vale salientar que, em função da variação das tarifas efetivas, conforme a companhia de energia elétrica, deve ser considerada a tarifa incidente para cada projeto conforme o local de implantação.

A tarifa adotada neste estudo é a horo-sazonal – verde A4, para a faixa de tensão de 2,3 a 25 kV de julho de 2015 (COELBA, 2015), considerando ainda a tributação com as alíquotas de ICMS (18,36%) e PIS/COFINS (3,84%). Importante destacar que, conforme a Portaria nº 25 de 1985, do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, as companhias de saneamento recebem um desconto de 15%. Não foram considerados os acréscimos na tarifa em função do sistema de bandeiras tarifárias, contribuindo, assim, para a elaboração de um estudo mais conservador.

Portanto, considerando a política tarifária da COELBA para o estudo, ou seja, cerca de 780 horas de ponta por ano (das 19h às 22h, nos dias úteis), o valor de R\$ 1,50445629 para consumo na ponta e R\$ 0,22355655 fora da ponta, e adotando-se um consumo de energia elétrica constante, tem-se uma média ponderada da tarifa de energia por hora (Equação 5), resultando no valor do quilowatt-hora gerado, a partir do biogás, de R\$ 0,33760927.

Figura 32: Tarifas médias de energia elétrica no ano de 2015.



Fontes: Probiogas (2015).

Equação 5

$$T = \frac{7.980 \text{ h } T_{fp} + 780 \text{ h } T_p}{8.760 \text{ h}}$$

Onde,

- >> T = Tarifa média ponderada
- >> T_{fp} = Tarifa fora da ponta em R\$
- >> T_p = Tarifa da ponta em R\$

Vale ressaltar que as tarifas referentes à demanda de energia elétrica não foram consideradas, uma vez que a existência de um sistema de aproveitamento de biogás não influencia na determinação e na demanda contratada, pois, para a segurança do sistema de tratamento de efluentes, é necessário que haja a garantia de uma fonte constante de energia elétrica.

O consumo de energia de cada alternativa foi calculado a partir de memoriais de cálculo constantes no ANEXO 1.

A Tabela 6, a seguir, apresenta o resumo do consumo energético anual de cada alternativa, assim como seus custos correspondentes. Destaca-se que os custos apresentados na tabela, para as alternativas 3 e 5, ainda não consideram o custo evitado com a geração de energia a partir do biogás, que será considerado como receita em seus fluxos de caixa, cujo resultado será apresentado por meio do VPL, no capítulo 7.

Tabela 6: Resumo do consumo anual de energia elétrica e custos anuais correspondentes.

DESCRIÇÃO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Consumo Energético por ano	kWh/ano	2.828.272	2.139.982	2.139.982	1.430.422	1.430.422
Custo operacional anual com energia elétrica	R\$/ano	954.851	722.478	722.478	482.924	482.924

5.1.2 Disposição do lodo

Neste estudo, foi adotada a disposição final do lodo em aterro sanitário após o desaguamento com uma concentração de sólidos de 25%. Vale salientar que existem alternativas à disposição final em aterro sanitário, por exemplo, a reciclagem agrícola, porém, a análise da tecnologia mais indicada para o tratamento do lodo residual não faz parte deste estudo. No capítulo 8, serão discutidas algumas tecnologias que elevam a concentração de sólidos do lodo residual.

O custo de disposição de lodo contempla o custo de coleta, transporte e disposição final em aterro sanitário, e pode variar significativamente de projeto para projeto, dependendo principalmente da distância entre a ETE e o aterro sanitário, bem como da umidade do lodo produzido e da tarifa aplicada. O valor adotado neste estudo para coleta, transporte e disposição de lodo em aterro sanitário é de R\$ 150,00 por $m^3_{\text{lodo}, 25\%}$, o que corresponde a R\$ 139 por tonelada, baseando-se no trabalho de Valente (2015), que levantou custos totais na faixa de R\$ 70 a R\$ 184 por tonelada.

A quantidade de lodo gerada foi calculada para cada alternativa, sendo que os memoriais podem ser consultados no ANEXO 1. O resumo do volume de lodo produzido por ano, assim como o custo para sua disposição, está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Resumo da produção anual de lodo e custo para transporte e disposição final.

DESCRIÇÃO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Quantidade de lodo gerado por ano	m ³ /ano	6.885	5.556	5.556	4.260	4.260
Custo anual para transporte e disposição final	R\$/ano	1.032.804	833.391	833.391	639.029	639.029

5.1.3 Manutenção e reparação do motor-gerador

A manutenção e reparação do motor-gerador é de fundamental importância, porque impacta significativamente na sua disponibilidade técnica, adotada aqui, como dito anteriormente, em 8.000 horas de operação por ano. Entende-se que a manutenção preventiva pode evitar paradas prolongadas por avarias e contribuir, assim, para alcançar a disponibilidade objetivada. Neste contexto, vale salientar que a operação assistida pode ser uma ferramenta eficaz e eficiente, reduzindo o tempo de resposta, garantindo a viabilidade econômica da planta de aproveitamento energético de biogás. Um exemplo é a terceirização da operação, como é feito na ETE Ribeirão Preto/SP.

A manutenção e o reparo do motor-gerador consiste, principalmente, em controle da sequência de arranque, controle de estanqueidade, troca de óleo lubrificante e fluido refrigerante, medição da contrapressão e qualidade do gás de escape, verificação e troca das velas de ignição, ajuste da folga da válvula, aperto das cabeças de cilindro, análise endoscópica das câmaras de combustão, troca de peças de reposição, tais como camisas de cilindros, bielas, pistões, mancal da cambota, comando das válvulas etc. (DREYER & BOSSE, 2015).

Os custos específicos de manutenção e de reparação para o motor-gerador foram adotados em conformidade com Döhler *et al.* (2013), sendo R\$ 0,0210 e R\$ 0,0315 por quilowatt-hora gerada por ano, respectivamente. Vale salientar que um dos objetivos do projeto P&D da ANEEL na ETE Jacuípe II (consultar capítulo 1) é o levantamento destes custos no Brasil.

5.1.4 Manutenção dos demais sistemas

A manutenção do sistema de tratamento de biogás consiste, principalmente, na reposição de material de consumo (carvão ativado), bem como na manutenção preventiva e corretiva da biodessulfurização e do refrigerador de biogás. O custo específico referente ao tratamento de biogás é de R\$ 0,035 por $\text{m}^3_{\text{biogás}}$, referindo-se à quantidade de biogás tratado (DÖHLER *et al.*, 2013).

Para a estimativa dos custos anuais de manutenção preventiva e corretiva das demais unidades do sistema de biogás, foram adotados 2% do custo de investimento de cada unidade (DÖHLER *et al.*, 2013).

5.1.5 Autoconsumo de energia elétrica e consumo de óleo lubrificante do CHP

O autoconsumo de energia elétrica foi estimado em 2% da quantidade gerada (DÖHLER *et al.*, 2013), aplicando a tarifa de R\$ 0,33760927 (ver seção 5.1).

O custo referente ao consumo de óleo foi estimado a partir da quantidade específica de $0,7g_{\text{óleo}}/\text{kWh}$, informado no manual de um motor-gerador do fabricante Dreyer & Bosse, o que corresponde a $0,714 \text{ l}_{\text{óleo}}/\text{kWh}$. Foi adotado um custo de R\$ 7,28 por litro de óleo lubrificante.

5.1.6 Análises Laboratoriais

A análise regular do óleo lubrificante é necessária para a verificação da eventual necessidade de troca, que pode ser constatada a partir da interpretação dos seguintes parâmetros: viscosidade cinemática a 100 °C, teores de fuligem e metais, grau de oxidação, nitração e sulfatação, índice de basicidade total (TBN), entre outros (BERTINATTO, 2014).

A análise de biogás visa à averiguação de sua composição, considerando o teor dos principais compostos, metano, dióxido de carbono, oxigênio e ácido sulfídrico (BRASIL, 2015a).

Adotou-se uma análise laboratorial mensal do óleo lubrificante e uma semestral da qualidade do biogás a um custo unitário estimado com base de tomadas de preço de R\$ 435,00 e R\$ 1.800,00, respectivamente.

5.1.7 Mão de obra do Operador

A quantidade de horas de trabalho de um operador dedicado ao sistema de aproveitamento de biogás foi estimado a partir das experiências feitas por Döhler *et al.* (2013), chegando a $4,11 \text{ h}/\text{kW}_{\text{instalado}}$, considerando-se um custo de R\$ 25,43 por hora.

5.1.8 Custos Gerais

Adotou-se um custo unitário de R\$ 24,50 por quilowatt instalado, baseado nas recomendações de Döhler *et al.* (2013) para custos gerais.

5.2 Cálculo das despesas de operação e manutenção

Assim como no levantamento dos custos de investimento, foram consideradas somente as despesas de operação e manutenção (OPEX) que diferem entre as alternativas. Na Tabela 8, é apresentado o resumo do custo unitário dos itens considerados na determinação do OPEX, bem como seus quantitativos para cada alternativa.

Tabela 8: Quantitativo dos itens considerados para determinação de OPEX e custos unitários.

DESCRIÇÃO	Un.	CUSTO UNITÁRIO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Consumo Energético por ano	kWh/a	0,337609	2.828.272	2.139.982	2.139.982	1.430.422	1.430.422
Disposição do lodo	m³/a	150,00	6.885	5.556	5.556	4.260	4.260
Manutenção de geração	kW/a	0,0210			1.409.916		1.409.506
Reparação de geração	kW/a	0,0315			1.409.916		1.409.506
Manutenção do sistema de tratamento de gás	m³/a	0,0350			625.044		743.884
Manutenção do Gasômetro	un	6.370,28			1		1
Manutenção do Sistema de captação de biogás	un	2.758,46		1	1	1	1
Manutenção do Sistema de transporte de biogás	un	1.365,41			1		1
Manutenção das Instalações Elétricas	un	2.681,09			1		1
Manutenção da Medição de vazão de biogás	un	683,85			1		1
Manutenção da Medição de composição de biogás	un	1.969,29			1		1
Manutenção do Sistema de queima	un	1.837,28		1	1	1	1
Autoconsumo de energia elétrica do CHP	kWh/a	0,192188			28.198		28.190
Consumo de Óleo Lubrificante	l/a	7,28			1.007		1.007

DESCRIÇÃO	Un.	CUSTO UNITÁRIO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Análises Laboratoriais –Óleo Lubrificante	un	435,00			12		12
Análises Laboratoriais –Biogás	un	1.800,00			2		2
Mão de Obra de Operador	h/a	25,43			724		724
Custos Gerais	kW	24,50			176		176

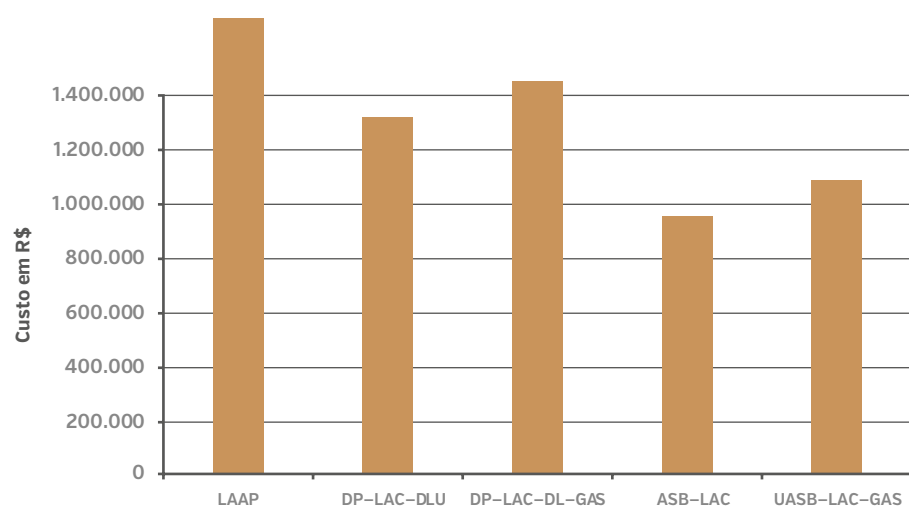
Os custos totais são apresentados na Tabela 40, constante do ANEXO 3.

A Tabela 9 e a Figura 33, a seguir, demonstram os resultados referentes aos custos anuais de operação e manutenção dos 5 arranjos, considerando também o consumo de energia elétrica da etapa aeróbia e da disposição final do lodo excedente. Os menores custos tipo OPEX foram apresentados pelas Alternativa 4 (UASB-LAC) e 5 (UASB-LAC-GAS), seguidos das alternativas 2 (DP-LAC-DL) e 3 (DP-LAC-DL-GAS). Conforme esperado, a alternativa 1 (LAAP) apresentou os maiores custos em função do alto consumo de energia elétrica no tanque de aeração.

Tabela 9: OPEX.

DESCRIÇÃO	ALTERNATIVAS				
	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
OPEX em R\$/a	1.987.654,96	1.560.464,95	1.713.741,76	1.126.548,19	1.283.952,63

Figura 33: Custos de operação.



Fontes: OPEX.

RECEITAS

Como já descrito anteriormente, as alternativas 3 (DP-LAC-DL-GAS) e 5 (UASB-LAC-GAS) proporcionam a produção de energia elétrica por meio do aproveitamento do biogás gerado. O valor referente a esta energia gerada entra no fluxo de caixa destas alternativas como receita, pois deixa-se de consumir energia elétrica da rede, sendo considerado, então, como custo evitado.

Para o cálculo das receitas, foram considerados os resultados das seções 3.3 e 3.5, nas quais a geração de energia elétrica estimada para o arranjo com o digestor de lodo e UASB foi de 1.409.916 e 1.409.506 kWh/a, respectivamente.

Considerando a geração contínua (seção 2), a tarifa aplicada é a mesma da seção 5.1, ou seja, R\$ 0,33760927 por kWh. Portanto, a receita anual gerada é de R\$ 476.000 para o arranjo com o digestor de lodo e R\$ 475.862 no caso do reator UASB.

7

CUSTO TOTAL E VIABILIDADE ECONÔMICA

Neste capítulo, é apresentada a comparação dos Valores Presentes Líquidos das 5 alternativas e a TIR das instalações de aproveitamento energético, no caso das alternativas com digestor anaeróbio de lodo e reator UASB, bem como o estudo de sensibilidade.

7.1 Cálculo do Valor Presente Líquido das 5 alternativas

Os Valores Presentes Líquidos das 5 alternativas são apresentados na Tabela 10 e na Figura 34. A alternativa 1 (LAAP) apresentou o menor Valor Presente Líquido, seguida pelas alternativas 2 (DP-LAC-DL) e 3 (DP-LAC-DL-GAS) que apresentam a utilização de digestor de lodo. As alternativas com o reator UASB apresentaram os menores custos, o que significa que apresentam maior viabilidade econômica relativa. Tanto no caso das alternativas com digestor de lodo quanto com os reatores UASB, os arranjos com sistema de aproveitamento energético de biogás proporcionaram um aumento significativo referente aos VPL. No caso do digestor de lodo, a redução pela implementação do sistema de aproveitamento de biogás é de 6,9% e, para o reator UASB, foi calculada um aumento de 9,1%.

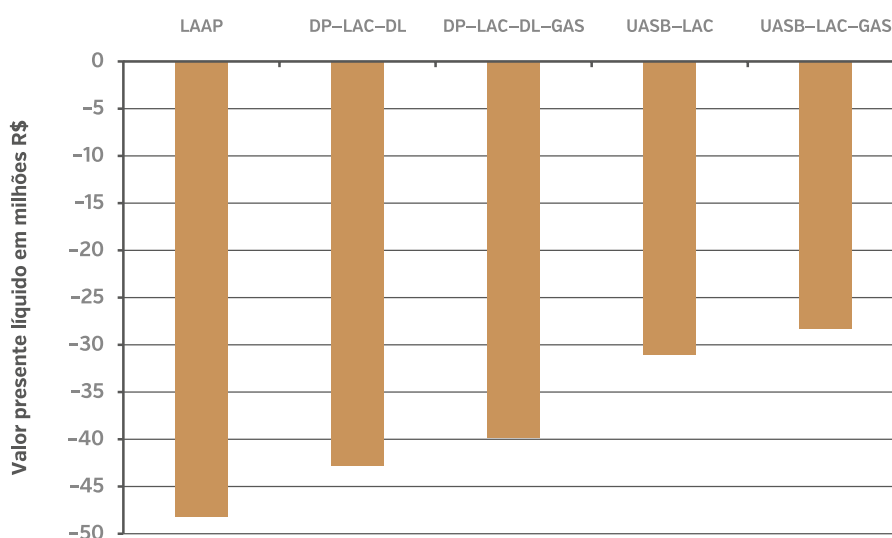
A Tabela 10, a seguir, apresenta o Valor Presente Líquido para cada alternativa e a relação entre os valores da alternativa em questão, com a alternativa mais barata (alternativa 5 – UASB-LAC-GAS).

Tabela 10: Valor Presente Líquido do cenário base.

DESCRIÇÃO	ALTERNATIVAS				
	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
VPL em R\$	-48.375.106	-42.996.783	-40.042.999	-31.375.410	-28.504.246
Tarifa em R\$/m³_{esgoto}	0,82	0,73	0,68	0,53	0,48
Relação alternativa mais econômica (UASB-LAC-GAS)	170%	151%	140%	110%	100%

A Figura 39 apresenta, por meio de representação gráfica, os VPL de cada alternativa. Vale ressaltar que, como já explicado na metodologia, os valores negativos se devem à ausência de receitas provenientes das tarifas de esgotamento sanitário, que devem subsidiar a sustentabilidade ao sistema.

Figura 34: Valor Presente Líquido do cenário base.



7.2 Taxa interna de retorno das instalações de aproveitamento de biogás

Para a instalação do sistema de aproveitamento de biogás, no caso do digestor de lodo (alternativa 3) e do reator UASB (alternativa 5), calculou-se, ainda, a TIR. Foram considerados somente os custos e receitas diretamente vinculados às instalações de aproveitamento de biogás, composto pelo sistema de coleta, transporte, tratamento e armazenamento do biogás, e o motor-gerador. Não foi levado em conta o sistema de coleta e queima de biogás, uma vez que também fazem parte das alternativas 2 (DP-LAC-DL) e 4 (UASB-LAC).

Os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Taxa interna de retorno.

ITEM	INSTALAÇÕES DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS POR MEIO DE MOTOR-GERADOR	
	DIGESTOR DE LODO	UASB
Taxa Interna de Retorno	20,37 %	19,21 %

Em ambos os casos, a instalação apresenta viabilidade econômica, calculando TIRs superiores à taxa mínima de atratividade de 8,7%, que é a taxa de empréstimos pelo BNDES (conforme apresentado no capítulo 1).

7.3 Análise de sensibilidade

7.3.1 Produção de biogás

A produção de biogás em reatores UASB sofre influências de uma série de fatores, que estão sendo objeto de várias pesquisas.

Possetti *et al.* (2013) mostraram que a produção de biogás segue um comportamento temporal variável, periódico e não-estacionário e que a quantidade depende das variações na vazão e da concentração do esgoto durante o dia, sofrendo influências dos eventos de chuva.

Segundo Cabral (2016), a produção de biogás em reatores UASB depende da carga orgânica afluyente e das eficiências que podem variar em função do projeto do reator, da qualidade da operação do sistema e do estado de conservação do reator.

O *guia técnico de aproveitamento energético de biogás em ETES* (BRASIL, 2015a) correlaciona, ainda, a temperatura, o pH, a concentração da matéria orgânica e de nutrientes do substrato, os efeitos de inibição e de toxicidade e a eficiência dos processos anaeróbios, à produção de biogás.

Além dos fatores apresentados acima, tem sido observada a supersaturação do metano na fase líquida, em reatores UASB tratando esgoto doméstico, o que pode levar a perdas de metano entre 14 e 50% (BRASIL, 2015a). Conforme o *guia técnico de aproveitamento energético de biogás em ETES* (BRASIL, 2015a), esta perda depende da carga hidráulica aplicada, temperatura e pressão parcial do gás no interior do reator, bem como do tamanho da superfície líquida do reator. Levando-se em consideração as incertezas com relação à perda de biogás, e com isto a quantidade de biogás aproveitável, variou-se este parâmetro, inicialmente considerado em 30%. Tal fenômeno não ocorre em casos de digestores anaeróbicos.

Ao adotar uma perda de biogás de 40%, em vez de 30%, tem-se uma redução de energia disponível de 14,3%, conforme Equação 6.

Equação 6

$$\Delta Q_{\text{biogás, disponível}} = 1 - \frac{(1 - \text{Perda}_{\text{biogás, 1}})}{(1 - \text{Perda}_{\text{biogás, 0}})} = 1 - \frac{1 - 40\%}{1 - 30\%} = 14,35\%$$

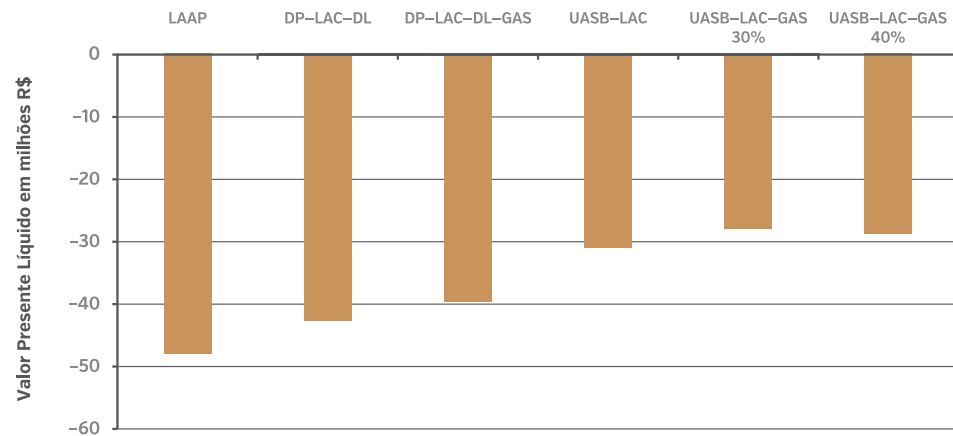
Onde,

- >> $\Delta Q_{\text{biogás, disponível}}$ = Vazão de biogás disponível em m³/d
- >> $\text{Perda}_{\text{biogás, 0}}$ = Perda de biogás inicialmente adotada
- >> $\text{Perda}_{\text{biogás, 1}}$ = Perda de biogás adotada para a análise de sensibilidade

Portanto, a energia a ser produzida, neste caso, é de 1.208.148 kWh/a e a potência do motor-gerador de 151 kW, cujo custo foi ajustado para fins de cálculo. Com isto, as receitas são menores e o Valor Presente Líquido é cerca de 2% inferior (Tabela 12), se comparado à premissa inicial de 30% de perda de biogás. Contudo, a alternativa com reator UASB e sistema de aproveitamento energético apresenta, mesmo com uma perda de biogás de 40%, o maior VPL, atestando viabilidade econômica relativa em comparação às demais alternativas. Os resultados são apresentados na Tabela 12 e na Figura 35.

Tabela 12: Valor Presente Líquido com aumento de perda de biogás no reator UASB.

DESCRIÇÃO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
					Perda 30 %	Perda 40 %
VPL em R\$	-48.375.106	-42.996.783	-40.042.999	-31.375.410	-28.504.246	-29.172.528
Tarifa em R\$/ m³_{esgoto}	0,82	0,73	0,68	0,53	0,48	0,50
Relação com alternativa mais econômica	170%	151,00%	140%	110%	100%	102%

Figura 35: Valor Presente Líquido com aumento de perda de biogás no reator UASB.

A TIR referente à instalação das unidades de aproveitamento energético de biogás, no caso de perda de biogás de 40%, é de 16,95%, valor ainda superior à TMA. Mesmo apresentando viabilidade econômica absoluta, o aumento da perda de biogás reduz a TIR, o que ressalta a importância da estanqueidade do reator.

7.3.2 Tarifa de energia elétrica

Um parâmetro importante a ser estudado é a tarifa de energia elétrica. Inicialmente, foi levantada a tarifa média de fornecimento para o setor de saneamento e a inflação (IPCA), que foi posteriormente descontada para a determinação da variação real da tarifa, conforme a Tabela 13.

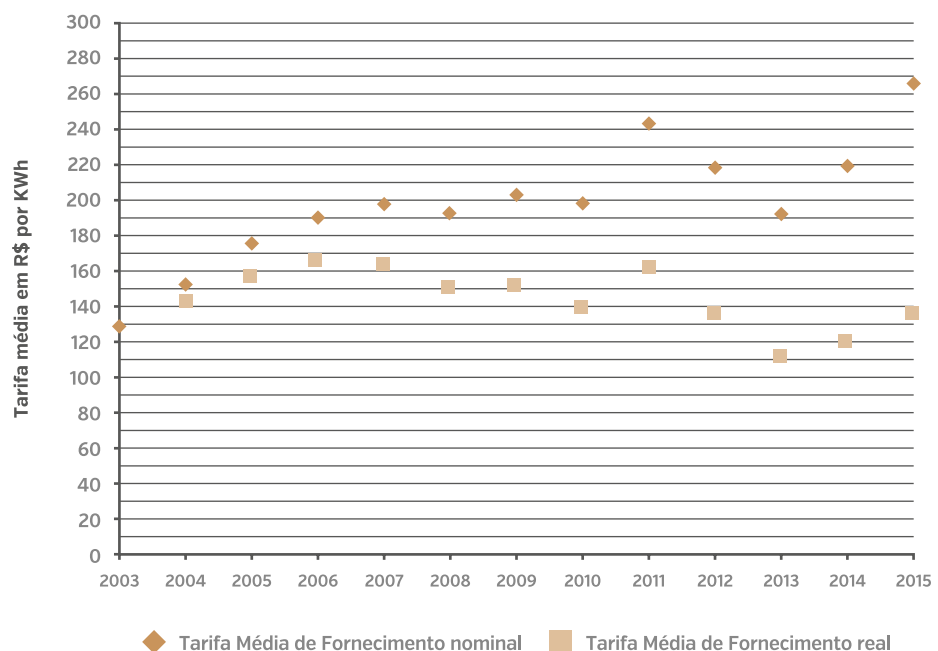
Tabela 13: Tarifa média de fornecimento (com e sem inflação).

ANO	Tarifa Média nominal em R\$/kWh*	Inflação (IPCA)	Tarifa Média real em R\$/kWh	ANO	Tarifa Média nominal em R\$/kWh*	Inflação (IPCA)	Tarifa Média real em R\$/kWh
2003	129,46			2010	198,69	5,91	139,018
2004	152,69	7,6	142,851	2011	243,84	6,5	161,572
2005	175,7	5,69	156,250	2012	219,2	5,84	135,809
2006	191,23	3,14	165,155	2013	192,99	5,91	111,544
2007	198,29	4,46	163,886	2014	219,84	6,14	120,214
2008	193,57	5,9	150,316	2015**	266,77	8,79	135,309
2009	202,96	4,31	151,129				
* Conforme ANEEL [2015], sem imposto							
** Dados ref. a 05/2015. Para fins de cálculo, foi adotado que sofre alteração até final do ano							

Na Figura 36, observa-se que a tarifa aumentou entre 2003 e 2015 em 106,06%, fato que representa um aumento anual de 6,21%. Descontando a inflação acumulada de 97,60% (5,84% a.a.), o aumento real da tarifa é de 4,52% entre 2003 e 2015, ou seja, 0,37% a.a.

Para o estudo da sensibilidade, são adotados dois cenários adicionais, cujos VPLs são comparados ao cenário inicial. Um primeiro cenário que representa, em aproximação, a evolução histórica da tarifa de energia elétrica, com um aumento real adotado de 0,50% ao ano. O segundo cenário considera a atual e recente tendência de aumentos mais significativos, em que é adotado um aumento real de 2,00%.

Figura 36: Evolução da tarifa média de fornecimento (com e sem inflação).



Fonte: ANEEL [2015].

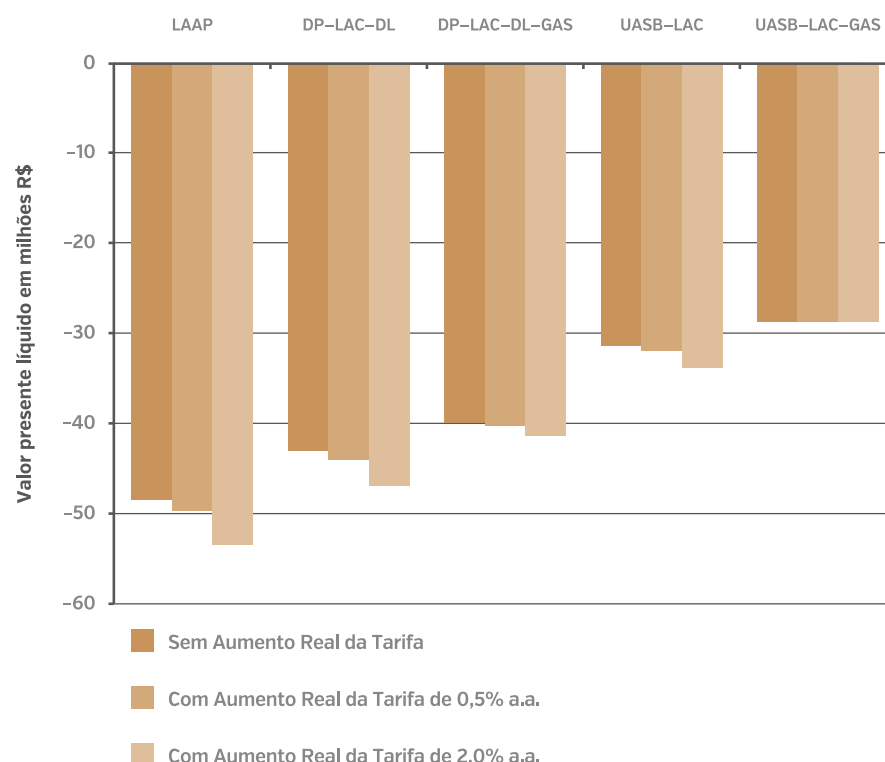
Observa-se, na Tabela 14, que um aumento real de 0,5% a.a. e 2,0% não resulta em variações significativas do VPL da alternativa 5 (UASB-LAC-GAS). Isto pode ser explicado pelo balanço entre consumo e geração de energia elétrica, uma vez que se consome ligeiramente mais energia do que é gerada. Como as demais alternativas consomem mais energia do que produzem, o aumento real da tarifa de energia elétrica resulta em um aumento do custo e, conseqüentemente, na redução da VPL. Fica evidente, então, que o aumento real da tarifa de energia elétrica aumenta a viabilidade econômica relativa do reator UASB com aproveitamento energético de biogás (alternativa 5), comparando-a às demais alternativas.

Tabela 14: Valor Presente Líquido conforme aumento real da tarifa de energia elétrica.

AUMENTO REAL ANUAL DA TARIFA	PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
0,00%	VPL em R\$	-48.375.106	-42.996.783	-40.042.999	-31.375.410	-28.504.246
	Tarifa em Tarifa em R\$/m³ _{esgoto}	0,82	0,73	0,68	0,53	0,48
	Relação*	170%	151%	140%	110%	100%
0,5%	VPL em R\$	-49.522.902	-43.865.250	-40.350.725	-31.955.917	-28.524.175
	Tarifa em Tarifa em R\$/m³ _{esgoto}	0,84	0,75	0,69	0,54	0,49
	Relação*	174%	154%	141%	112%	100%
2,0%	VPL em R\$	-53.548.621	-46.911.268	-41.430.028	-33.991.959	-28.594.072
	Tarifa em Tarifa em R\$/m³ _{esgoto}	0,91	0,80	0,70	0,58	0,49
	Relação*	187%	164%	145%	119%	100,00%
* Relação com a alternativa mais econômica [UASB-LAC-GAS]						

Os resultados são apresentados graficamente na Figura 37, a seguir.

Figura 37: Valor Presente Líquido com e sem aumento real da tarifa de energia elétrica.



Na Tabela 15, são apresentadas as TIRs para o cenário inicial e os dois cenários com aumento real da tarifa de energia elétrica. A TIR considera somente os custos referentes ao sistema de aproveitamento energético de biogás e a receita proveniente da geração de energia elétrica. Uma vez que tanto no caso do digestor anaeróbico de lodo quanto no caso do reator UASB aumentam-se as receitas, aumenta também a TIR. Fica evidente que aumentos de energia elétrica elevam a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento energético.

Tabela 15: Taxa interna de retorno com e sem aumento real da tarifa de energia elétrica.

AUMENTO REAL ANUAL DA TARIFA	TIR	
	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC-GAS
0,0%	20,37%	19,21%
0,5%	21,49%	20,42%
2,0%	24,59%	23,71%

7.3.3 Variação cambial

Outro parâmetro que é analisado com relação à sua influência na viabilidade econômica é a variação cambial. Inicialmente, foi considerado um câmbio

de R\$ 3,50 por Euro, simulando, para o estudo de sensibilidade, uma variação cambial de R\$ 4,00 e R\$ 4,50 por Euro. Foram recalculados os custos CAPEX para todas as alternativas. Conforme a relação entre os custos de equipamentos nacionais e importados de cada alternativa, variam os impactos, mais ou menos, significativos.

Vale salientar que os custos OPEX também sofreram ajustes nas alternativas com sistema de aproveitamento de biogás, uma vez que os custos de manutenção dos equipamentos considerados são de 2% do valor de investimento (seção 5.1.4). Como pode ser observado na Tabela 17, a variação cambial não influencia no custo das alternativas 1 (LAAP) e 4 (UASB-LAC), uma vez que as tecnologias empregadas nestes arranjos já são, em sua totalidade, nacionalizadas. Embora o aumento da taxa cambial tenha reduzido o VPL da alternativa 5 (UASB-LAC-GAS), devido aos equipamentos importados para a instalação do sistema de aproveitamento energético, esta alternativa continua apresentando viabilidade relativa em comparação às demais alternativas. A influência da variação cambial na alternativa 3 (DP-LAC-DL-GAS) é maior, comparando-se à alternativa 5 (UASB-LAC-GAS), devido à necessidade da importação de materiais e equipamentos para a construção do digestor anaeróbio de lodo, adotado em função do método construtivo escolhido, como visto no capítulo 2.

Na Tabela 16, é apresentada a composição de cada alternativa, considerando os custos referentes a equipamentos nacionais e obras civis, e a parcela referente aos equipamentos importados.

Tabela 16: Composição do CAPEX.

PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Parcela de CAPEX referente a equipamentos nacionais e obras civis	100%	68%	58%	100%	79%
Parcela de CAPEX referente a equipamentos importados	0%	32%	42%	0%	21%

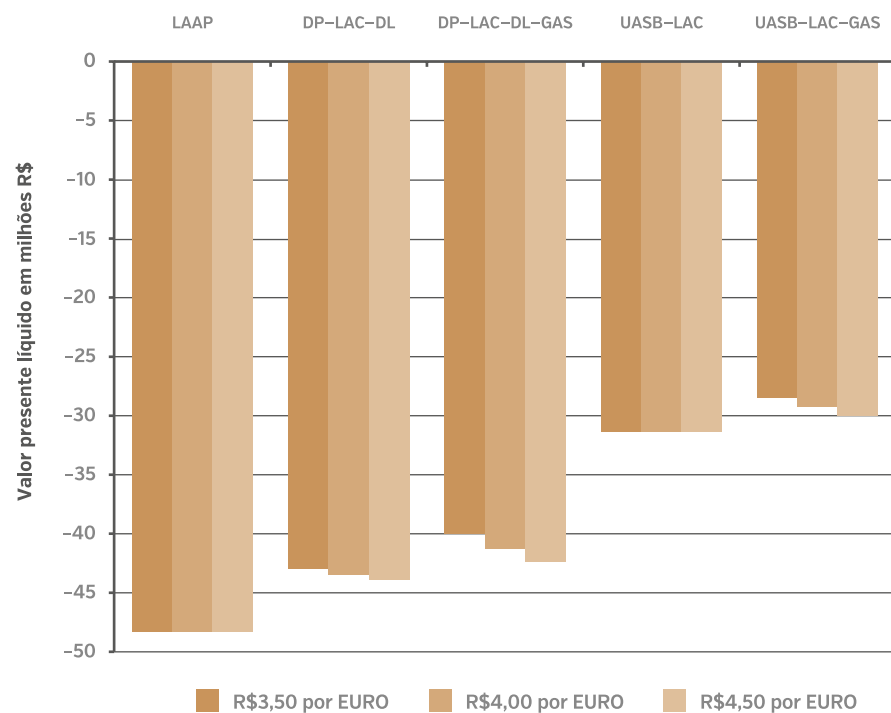
Os resultados são apresentados na Tabela 17 e na Figura 38.

Tabela 17: Valor Presente Líquido conforme a variação cambial.

TAXA CAMBIAL EM R\$/EUR	PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
3,50	VPL em R\$	-48.375.106	-42.996.783	-40.042.999	-31.375.410	-28.504.246
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,73	0,68	0,53	0,48
	Relação*	170%	151%	140%	110%	100%

TAXA CAMBIAL EM R\$/EUR	PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC- DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
4,00	VPL em R\$	-48.375.106	-43.468.312	-41.254.603	-31.375.410	-29.255.764
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,74	0,70	0,53	0,50
	Relação*	165%	149%	141%	107%	100%
4,50	VPL em R\$	-48.375.106	-43.939.841	-42.466.206	-31.375.410	-30.007.282
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,75	0,72	0,53	0,51
	Relação*	161%	146%	142%	105%	100%
* Relação com a alternativa mais econômica [UASB-LAC-GAS]						

Figura 38: Valor
Presente Líquido com
variação cambial.



Na Tabela 18, são apresentadas as TIRs para o cenário inicial e os dois cenários com aumento da taxa cambial. Uma vez que, tanto no caso do digestor anaeróbico de lodo quanto no caso do reator UASB, o CAPEX e o OPEX aumentam, a TIR sofre redução. Fica evidente que aumentos da variação cambial reduzem a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento energético. Contudo, as TIRs calculadas são maiores se comparadas à TMA, o que atesta, em todos os casos, ainda uma viabilidade econômica absoluta.

Tabela 18: Taxa interna de retorno com variação cambial.

TAXA CAMBIAL EM R\$/EUR	TIR	
	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC-GAS
3,50	20,37%	19,21%
4,00	16,82%	15,66%
4,50	13,85%	12,71%

Vale salientar que, conforme o estabelecimento de um mercado de biogás no Brasil, e um suposto aumento da oferta de equipamentos nacionais, a influência da variação cambial com relação à viabilidade econômica tende a cair, aumentando assim a segurança de planejamento.

7.3.4 Custos de manutenção

O último parâmetro analisado é o custo de manutenção do sistema de aproveitamento de biogás, levando-se em consideração que foram utilizadas informações de uma referência bibliográfica internacional, fato que acaba por trazer incertezas, uma vez que não há informações nacionais. Os custos foram variados aplicando um aumento de 25 e 50%.

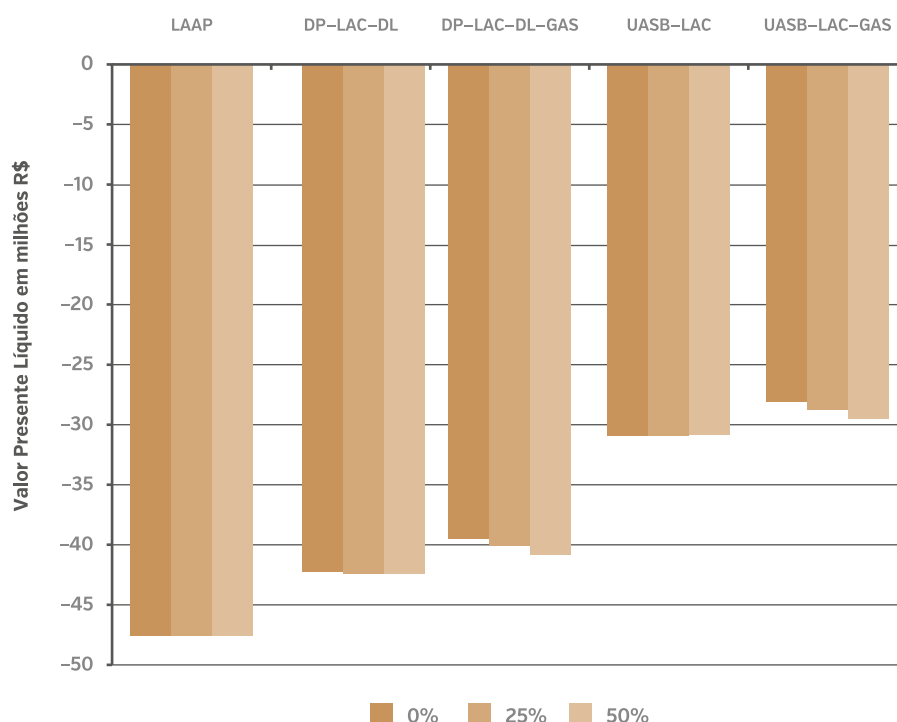
Tabela 19: Valor Presente Líquido conforme a variação do custo de manutenção.

Na Tabela 19 e na Figura 39, são apresentados os custos anuais totais para os 3 cenários referentes ao custo de manutenção.

AUMENTO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO	PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
0%	VPL em R\$	-48.375.106	-42.996.783	-40.042.999	-31.375.410	-28.504.246
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,73	0,68	0,53	0,48
	Relação*	170%	151%	140%	110%	100%
25%	VPL em R\$	-48.375.106	-43.005.682	-40.759.133	-31.397.669	-29.262.639
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,73	0,69	0,53	0,50
	Relação*	165%	147%	139%	107%	100%
50%	VPL em R\$	-48.375.106	-43.014.580	-41.475.268	-31.419.928	-30.021.032
	Tarifa em Tarifa em R\$/m ³ _{esgoto}	0,82	0,73	0,71	0,53	0,51
	Relação*	161%	143%	138%	105%	100%

* Relação com a alternativa mais econômica (UASB-LAC-GAS)

Figura 39: Valor Presente Líquido com variação do custo de manutenção.



Na Tabela 20, a seguir, são apresentadas as TIRs para o cenário inicial e os dois cenários com aumento do custo de manutenção. Uma vez que, tanto no caso do digestor anaeróbico de lodo quanto no caso do reator UASB, o OPEX aumenta, a TIR sofre redução. Fica evidente, então, que o aumento dos custos de manutenção reduz a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento energético. Contudo, as TIRs calculadas são maiores se comparadas à TMA, o que atesta em todos os casos viabilidade econômica absoluta.

Tabela 20: Taxa interna de retorno com variação do custo de manutenção

AUMENTO DO CUSTO DE MANUTENÇÃO	TIR	
	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC-GAS
0%	20,37%	19,21%
25%	17,88%	16,57%
50%	15,29%	13,83%

Vale salientar que, conforme o estabelecimento de um mercado de biogás no Brasil e um suposto aumento da oferta, com relação a prestadores de serviço para a manutenção do sistema de aproveitamento energético, os custos tendem a sofrer redução, contribuindo assim para uma viabilidade econômica maior.

8

POTENCIAL ECONÔMICO ADICIONAL PELO USO DA ENERGIA TÉRMICA PARA SECAGEM DO LODO

O foco deste estudo foi a viabilidade técnica-econômica da geração de energia elétrica por meio de um motor gerador. Neste capítulo, pretende-se mostrar uma possibilidade adicional para ETes, utilizando também a parcela de energia térmica que está sendo gerada no motor-gerador.

A energia térmica pode ser utilizada para secagem do lodo, em que o teor de sólidos pode ser aumentado, por exemplo, de 25 a 90%, diminuindo significativamente o volume do lodo a ser depositado em aterros sanitários e, portanto, reduzindo um dos maiores custos operacionais em ETes. Além disso, há vantagens ambientais, uma vez que se reduz a demanda por aterros sanitários e, conseqüentemente, aumenta sua vida útil.

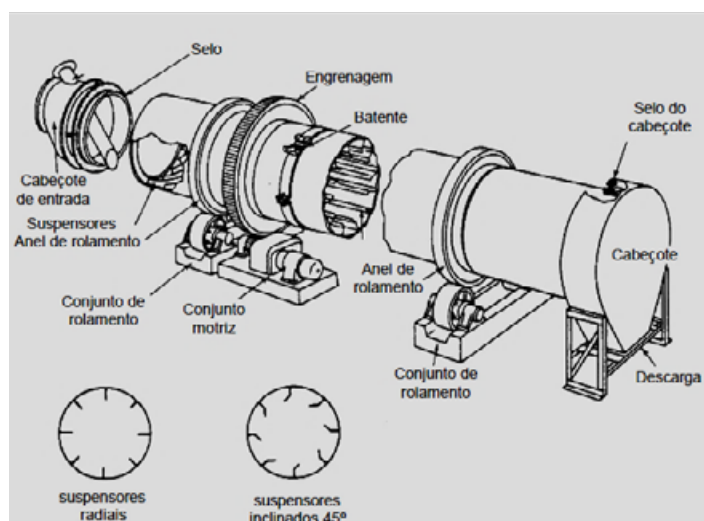
A seguir, apresenta-se uma breve descrição das tecnologias mais comuns e o cálculo da demanda de energia térmica para secagem de lodo das 5 alternativas estudadas. Será apresentado, ainda, o potencial monetário referente ao aumento da receita, sem o objetivo de avaliar a viabilidade econômica, que não faz parte do escopo deste trabalho.

8.1 Descrição das tecnologias

Aqui, são brevemente apresentadas as principais tecnologias para secagem de lodo em ETes. Entre elas, destacam-se as tecnologias de secadores rotativos (diretos e indiretos), de esteira (túnel), de múltiplas bandejas e plantas de secagem solar.

8.1.1 Secadores Rotativos

Figura 40: Exemplo de Secadores Rotativos.



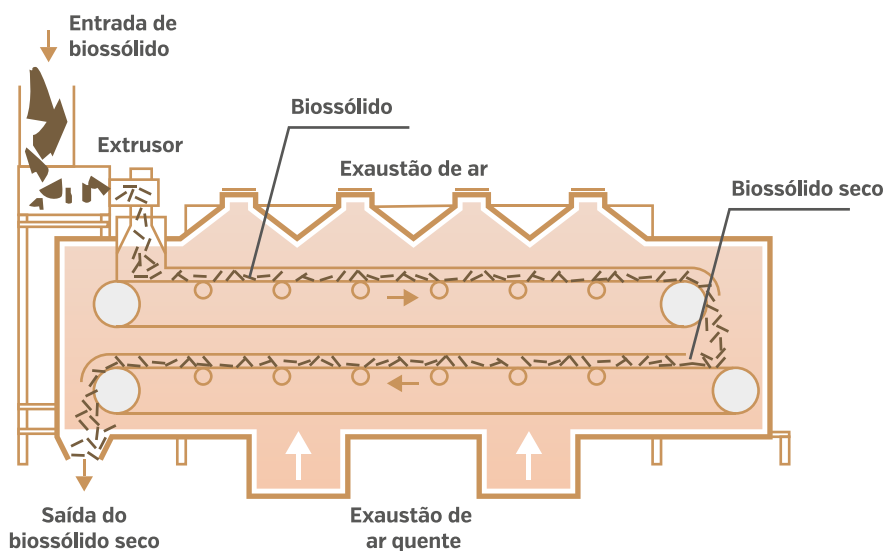
Fonte: Andreoli et al., (2006 apud WEF, 1992).

Os secadores rotativos, como os encontrados na Figura 40, são aqueles em que o processo de secagem ocorre em cilindros horizontais levemente inclinados. Neles, o material a ser secado é introduzido na parte superior, progredindo até a outra extremidade, seja pela ação da gravidade, seja por pás direcionadoras que são dispostas ao longo das paredes internas do cilindro rotativo.

Os secadores rotativos podem ser divididos em diretos e indiretos, sendo a classificação baseada na forma como ocorre a transferência de calor. O secador é classificado como direto quando o calor é trocado diretamente entre o meio de aquecimento e os sólidos, e é classificado como indireto quando o meio de aquecimento não tem contato direto com o material, devido à presença de um material de transferência.

8.1.2 Secadores tipo esteira (Túnel)

Figura 41: Secador
Transportador de esteira.

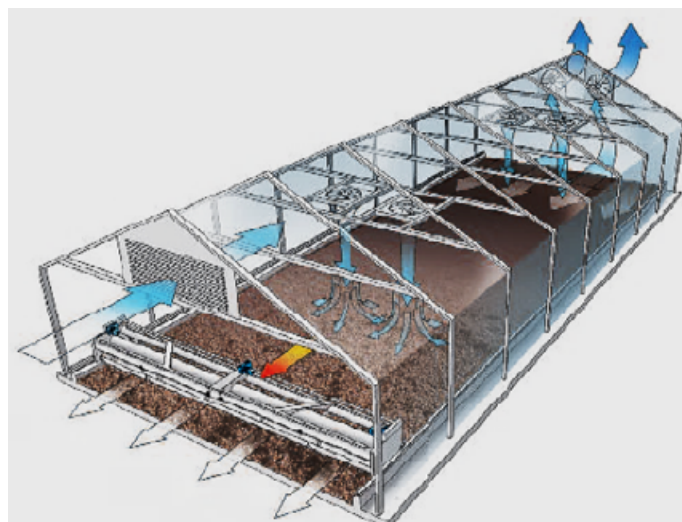


Fonte: Catálogo NETZSCH.

Nos secadores do tipo esteira (Figura 41), o material passa por um processo de secagem sucessivo por meio da circulação constante de ar. Nesse processo, o lodo úmido introduzido é transportado lentamente por meio de correias pelo túnel aquecido por uma série de ventiladores.

8.1.3 Plantas de Secagem Solar

Figura 42: Esquema geral
de uma planta de secagem
solar.



Fonte: Catálogo HUBER.

As plantas de secagem solar utilizam a radiação solar e o potencial do ar ambiente para realizar a secagem do lodo. Esse tipo de tecnologia não utiliza obrigatoriamente outra forma de combustível. Entretanto, quando utilizada apenas a energia solar, esse processo é suscetível às variações das condições climáticas, podendo influenciar a eficiência do processo ao longo das estações. Além disso, sem aquecimento auxiliar, são necessárias maiores áreas para implantação, quando comparadas às outras tecnologias.

Entre as vantagens da utilização dessa tecnologia, destaca-se o reduzido consumo de energia elétrica, se comparado aos processos tradicionais de secagem. Além disso, há um reduzido custo operacional associado e a obtenção de um produto final com alto teor de sólidos, que pode ser aplicado para fins diversos.

Outra vantagem é a existência da possibilidade de associar a planta de secagem solar a outras fontes de calor, como a utilização do calor residual originado de processos de geração de energia elétrica.

8.2 Demanda de energia térmica para secagem de lodo

Tabela 21: Demanda de energia térmica para secagem térmica de lodo.

Segundo Andreoli (2007), são necessários 2.744 kJ de energia, ou seja, 0,76 kWh para evaporação de 1 kg de água presente no lodo. Em condições reais, dependendo da eficiência do sistema de secagem e das características do lodo a ser processado, a demanda pode até dobrar. Lobato (2011) apresenta que o teor de sólidos que pode ser alcançado por meio da secagem térmica tem capacidade de chegar a 90%, dependendo da tecnologia a ser utilizada. Ainda segundo Lobato (2011), até 80% do valor calorífico do metano pode ser recuperado como energia aproveitável, utilizando-se a combustão direta. Portanto, adotou-se uma eficiência da secagem de lodo de 70%.

As demandas de energia térmica para secagem de lodo para os 5 arranjos são apresentadas na Tabela 21, a seguir.

PARÂMETRO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Volume de lodo (TS 25%)	m ³ /d	18,86	15,22	15,22	11,67	11,67
Volume de lodo (TS 90%)	m ³ /d	5,24	4,23	4,23	3,24	3,24
Volume de água a ser evaporada	m ³ /d	13,62	10,99	10,99	8,43	8,43
Eficiência do secador de lodo	-	70%	70%	70%	70%	70%
Energia necessária	kWh/d	14.835	11.971	11.971	9.179	9.179
Demanda de gás natural (GN)	m ³ /d	1.537	1.240	1.240	951	951

Além da geração de energia elétrica, a unidade de motor-gerador ainda produz energia térmica. A eficiência térmica desses motores de combustão interna encontra-se entre 33 e 60% (BRASIL, 2015d). Adotando uma eficiência de 42% e utilizando a Equação 7, chegou-se à potência térmica de 194,8 kW_{térmica}, no caso do digestor de lodo anaeróbio com sistema de aproveitamento (alternativa 3) e para o reator UASB (alternativa 5) em 194,7 kW_{térmica}.

$$P_{\text{térmica}} = Q_{\text{biogás, disponível}} \cdot \text{PCI} \cdot \eta_{\text{térmico}}$$

- >> $Q_{\text{biogás, disponível}}$ = Vazão de biogás disponível em Nm^3/d
- >> $P_{\text{térmica}}$ = Potência térmica em kW
- >> $\eta_{\text{térmico}}$ = Rendimento térmico em %
- >> PCI = Poder calorífico inferior em $\text{kWh}/\text{Nm}^3_{\text{biogás}}$

Assim, o arranjo 5 (UASB-LAC-GAS) pode gerar 46% da energia térmica necessária para a secagem de lodo, o que proporciona um custo evitado de R\$ 235.118,00 por ano. No caso do arranjo 3 (DP-LAC-DL-GAS), a economia é significativamente menor, devido à necessidade de aquecimento do digestor anaeróbio de lodo, resultando em um custo evitado de R\$ 108.536,00 por ano.

PARÂMETRO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Energia térmica do CHP	kWh/d	0	0	4.269	0	4.268
Consumo de energia térmica na ETE**	kWh/d	0	0	2.299	0	0
Energia térmica disponível para secagem de lodo	kWh/d	0	0	1.970	0	4.268
Consumo de energia térmica necessária para secagem de lodo (ver Tabela 21)	kWh/d	14.835	11.971	11.971	9.179	9.179
Cobertura da demanda de energia térmica para secagem de lodo	-	0%	0%	16%	0%	46%
Custo diário do GN*	R\$/d	2.239	1.807	1.509	1.385	741
Custo anual do GN	R\$/a	817.211	659.425	550.890	505.635	270.517

** Considerando o aquecimento do digestor somente na alternativa com aproveitamento de biogás

8.4 Potencial de redução de custos de disposição final de lodo pela secagem térmica

O aumento do teor de sólidos no lodo de 25 a 90%, pela secagem de lodo, demonstra uma redução significativa de 72% do volume de lodo a ser encaminhado à disposição final em aterro sanitário. A economia em termos de custo evitado, adotando um custo específico de R\$ 150,00 por m³lodo (seção 5.1.2), pode-se observar na Tabela 23.

Tabela 23: Redução de lodo e custo de disposição final pela secagem de lodo.

PARÂMETRO	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Redução de volume de lodo a ser depositado (m ³ /d)	13,62	10,99		8,43	
Custo evitado de disposição (R\$/d)	2.044	1.649		1.264	
Custo evitado de disposição (R\$/a)	745.914	601.894		461.521	

Na tecnologia de LAAP, considerou-se que o lodo também seria seco até atingir um percentual de 90% de teor de sólidos, e foi calculado o custo evitado de disposição final deste lodo. Naturalmente, esta tecnologia não dispõe de biogás, e deveria ser usado uma outra fonte de combustível, como o gás natural, o que elevaria bastante o custo para o tratamento de lodo. Logo este cálculo foi feito apenas para comparar entre os arranjos a redução do volume de lodo e seu custo evitado de disposição final, caso todos os arranjos realizassem a secagem térmica do lodo.

9

RESUMO ENERGÉTICO

A geração de energia elétrica reduz consideravelmente o consumo de energia da rede, como apresentado na Tabela 24 e na Figura 43. No caso do arranjo com o digestor de lodo, podem ser gerados até 66% do consumo demandado pelo sistema de aeração do lodo ativado. Já no arranjo com o reator UASB, esse número sobe para 99%.

No caso de aproveitamento de energia térmica proveniente da unidade de cogeração, o arranjo com o digestor de lodo proporciona uma cobertura de 30% da demanda total de energia térmica, suprimindo 100% da demanda para aquecimento do digestor e 16% (ver Tabela 22 na seção 8.3) da energia térmica necessária para a secagem de lodo. O arranjo com reator UASB e aproveitamento do biogás consegue suprir 46% da energia térmica necessária para a secagem do lodo.

Vale salientar que a demanda e, consequentemente, o grau de autossuficiência podem variar conforme a solução tecnológica para a secagem de lodo, sabendo que, nos cálculos, foi adotada uma eficiência do secador de 70%.

Tabela 24: Comparação entre os balanços de energia elétrica e térmica.

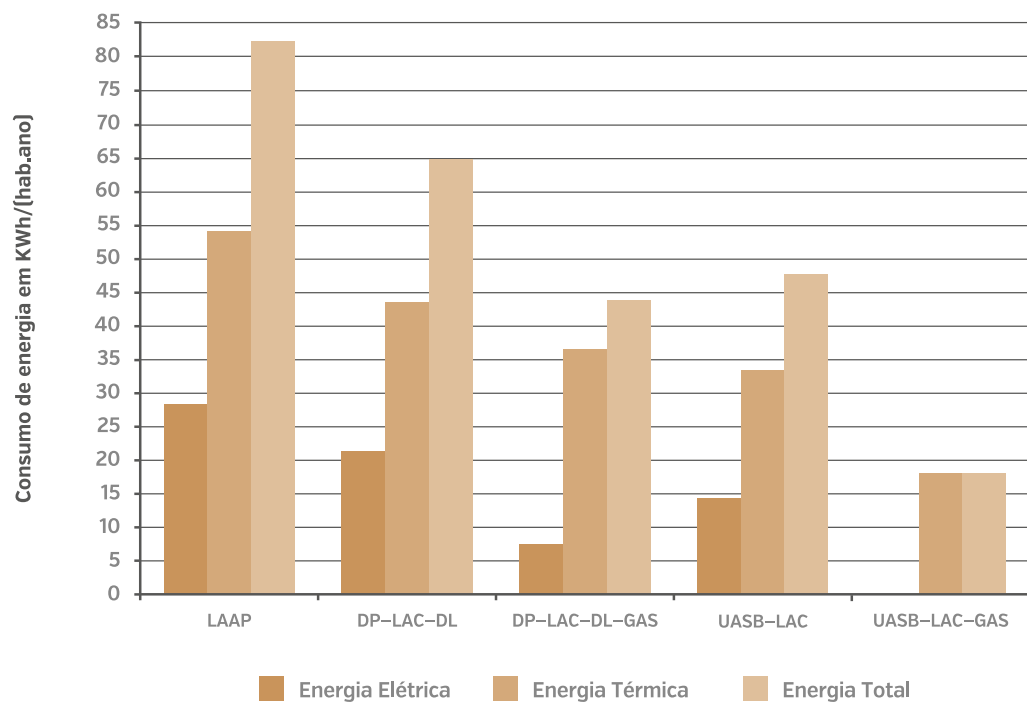
PARÂMETRO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Demanda de energia elétrica do sistema de aeração do lodo ativado	kWh/hab.a	28,28	21,40	21,40	14,30	14,30
Geração de energia elétrica	kWh/hab.a			14,10		14,10
Saldo de consumo de energia elétrica (a ser fornecido pela rede)	kWh/hab.a	28,28	21,40	7,30	14,30	0,21
Cobertura da demanda de energia elétrica do sistema de aeração do lodo ativado	-	0%	0%	66%	0%	99%
Demanda de energia térmica referente a secagem de lodo a 90%	kWh/hab.a	54,15	43,69	43,69	33,50	33,50
Demanda de energia térmica referente à calefação do biodigestor	kWh/hab.a	0	0	8,39	0	0
Demanda total de energia térmica	kWh/hab.a	54,15	43,69	52,08	33,50	33,50
Geração de energia térmica	kWh/hab.a	0	0	15,58	0	15,58
Saldo de consumo de energia térmica de fonte externa	kWh/hab.a	54,15	43,69	36,50	33,50	17,92

PARÂMETRO	Un.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Cobertura da demanda de energia térmica (considerando calefação e secagem de lodo)	-	0%	0%	30%	0%	46%
Soma do saldo de consumo de energia elétrica e térmica	kWh/hab.a	82,43	65,09	43,80	47,81	18,13

O somatório do saldo de energia elétrica e térmica que, após o aproveitamento de energia do biogás, ainda é necessário, é de 18,13 kWh/hab.a, no caso do arranjo com o reator UASB, e de 43,80 kWh/hab.a no arranjo com o digestor de lodo.

A Figura 43 mostra graficamente os saldos do consumo de energia elétrica e térmica, adotando que, em todos os arranjos, o lodo gerado seja seco, e considerando os saldos entre demanda e produção de energia por meio do sistema de aproveitamento de biogás.

Figura 43: Consumo de energia elétrica e térmica.



CONCLUSÕES

Por meio da análise e comparação de custos das 5 alternativas em questão, chegou-se às seguintes conclusões sobre a avaliação da viabilidade econômica de aproveitamento energético de biogás em ETEs.

Aspectos econômicos:

- >> A configuração que se mostrou mais vantajosa foi o sistema de UASB combinado com lodo ativado convencional e com uso do biogás para a produção de energia elétrica.
- >> Soluções com o uso energético do biogás gerado se mostraram vantajosas em ambos os exemplos, quando comparadas a uma situação sem uso energético do biogás da mesma tecnologia.
- >> Mesmo tendo um valor de investimento mais baixo que algumas outras tecnologias, soluções com aeração prolongada que não contemplam o uso de tecnologias anaeróbias, são mais caras quando somados seus custos de operação no universo temporal de estudo. Especialmente para áreas em que o investimento é dado como fundo perdido, já que se consideram áreas carentes, recomenda-se ter uma análise atenta e valorizar o custo de operação do sistema. Os cálculos mostraram que as soluções que consideram o tratamento anaeróbio são recomendáveis economicamente, reduzindo significativamente o consumo de energia elétrica e os custos referentes à disposição final de lodo.
- >> Em ambos os casos com o aproveitamento energético do biogás, será possível gerar energia elétrica e secar o lodo a um teor de 90% de sólidos, demonstrando que os usos não são conflitivos e podem ser utilizados de forma complementar, reforçando ainda mais a viabilidade do sistema.
- >> Visto que o uso do biogás se mostrou viável para a aplicação com lodos ativados – grande unidade consumidora de energia na ETE –, o uso em combinação com tecnologias que demandam menor consumo de energia também será viável. A diferença é que, neste caso, as ETEs deverão estudar a possibilidade de injeção de energia elétrica excedente na rede pública de distribuição, ou ainda, modelos diferentes dos considerados neste estudo.

Aspectos energéticos:

- >> A geração de energia elétrica a partir do biogás reduzirá o consumo de energia da rede significativamente, suprimindo até 66% da demanda do sistema de aeração no caso do arranjo com o digestor de lodo e até 99% no arranjo com o reator UASB.
- >> No caso de aproveitamento de energia térmica proveniente da unidade motor-gerador, o arranjo com o digestor de lodo proporciona uma cobertura da demanda de energia térmica para secagem de lodo de 16%, enquanto o arranjo com reator UASB alcança 46%.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil é carente de tecnologia e conhecimento nacional no tema, apesar do enorme potencial que apresenta, em função das quantidades e escalas de produção de efluentes e resíduos e da necessidade de implantação de novas instalações de tratamento em muitos municípios brasileiros.

O PROBIOGÁS tem um importante papel como indutor do desenvolvimento de tecnologias nacionais e vislumbra um retorno positivo para o setor de saneamento no Brasil, em função da possibilidade de aumentar a viabilidade técnica e econômica das instalações de tratamento de esgotos e de resíduos, a partir da geração de energia.

Em relação às instituições do setor de saneamento, destacam-se o interesse e a participação de prestadores municipais, estaduais e privados de serviços públicos de saneamento nas ações e atividades promovidas pelo PROBIOGÁS. Estes prestadores se integraram às ações conduzidas pelo projeto, por meio da disponibilização de instalações e do envolvimento de seus profissionais nas mais diversas atividades.

As parcerias com os prestadores promovem a apropriação de benefícios ambientais pelo setor, em função de ser o biogás uma fonte de energia renovável e seu aproveitamento possibilitar a redução na emissão de gases de efeito estufa. Além disso, espera-se também a apropriação de ganhos gerenciais, como resultado de ações de capacitação, treinamento e da internalização das novas tecnologias pertinentes.

Existe a expectativa da promoção de um impacto positivo nas ETEs, sendo este relacionado à melhoria operacional das plantas de tratamento, em função do aporte de uma nova tecnologia, que carrega consigo a necessidade de capacitação, investimento e maior esmero técnico por parte dos operadores dos sistemas.

11.1 Panorama das ETEs com Aproveitamento de Biogás no Brasil

O país ainda se encontra em uma situação incipiente do ponto de vista do número de plantas em operação, que é relativamente pequeno, em especial quando observa-se o potencial que o Brasil apresenta, tanto em relação à produção do biogás quanto em relação à sua utilização energética. Além disso, as poucas instalações que existem em escala real/comercial estão concentradas geograficamente nas regiões Sul e Sudeste.

Contribui fortemente para esse quadro o alto custo de investimento para a compra dos equipamentos, em parte importados, somado à insegurança dos empreendedores, que ainda têm dúvidas quanto à viabilidade econômica e o respectivo retorno financeiro vinculado aos modelos de negócios.

A discussão sobre o biogás continua tão relevante quanto atual, por se tratar de uma fonte renovável de energia pouco aproveitada no Brasil, ainda mais com as questões atuais que se impõem à sociedade como um todo, como as crises hídrica e energética atreladas. Neste quadro, a redução dos custos operacionais das ETEs pela autoprodução de energia tem um papel importante.

Além do mais, a discussão sobre os impactos sociais e ambientais negativos advindos da parcela não tratada de esgotos sanitários que continua sendo lançada no meio ambiente e do gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos urbanos ainda é premente, tendo em vista o elevado déficit de adequado atendimento à população.

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2014, disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>, o atendimento por tratamento dos esgotos no país chega a 40,8% para a estimativa dos esgotos gerados e de 70,9% para os esgotos que são coletados. Portanto, muito investimento em novas ETES terá que ser feito, na busca pela universalização desse serviço.

11.2 Conclusões da Análise de Viabilidade Técnico- Econômica

O presente trabalho consistiu em analisar, do ponto de vista técnico-econômico, a viabilidade do aproveitamento energético do biogás, obtido a partir de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), para fins de produção de energia elétrica. Para tanto, foram analisados cinco arranjos diferentes de tratamento de efluentes, dois compostos por etapas aeróbia e anaeróbia (produtora de biogás), no caso, dois com reatores UASB e dois com digestores de lodo, sendo que um de cada tipo contemplou o aproveitamento energético do biogás. Além desses quatro arranjos, foi considerada a tecnologia de lodo ativado por aeração prolongada, em que não há a produção de biogás, apenas como base de comparação.

Para o desenvolvimento do estudo, as vazões das ETES foram consideradas como sendo provenientes de uma população de 100.000 habitantes, universo que se mostrou viável para instalações já existentes no Brasil. Utilizou-se como base para esta definição o estudo de Valente (2010), que, mediante análise de viabilidade econômica, definiu escalas mínimas para diferentes arranjos de uso do biogás oriundo de Reatores Anaeróbios em ETES no Brasil, chegando à escala mínima populacional com viabilidade para a geração de energia elétrica em 138.000 habitantes por meio de cogeração, e para outros arranjos a partir de 162.000 habitantes, podendo estas escalas variarem conforme os parâmetros utilizados, para mais ou para menos.

Para as alternativas analisadas no presente estudo, considerou-se a produção contínua de energia elétrica, sem considerar o armazenamento para a geração no horário de ponta. O estudo não considerou a receita oriunda do serviço de esgotamento sanitário, gerada a partir das tarifas cobradas pelo prestador. Sendo um estudo comparativo, teve como base somente os custos de investimento e operação ao longo do universo temporal de referência, e, como custo evitado, a geração de energia elétrica a partir do biogás. A ausência de receitas oriundas das tarifas de esgoto explica os Valores Presentes Líquidos negativos resultantes do trabalho.

A análise realizada somente sobre a linha de aproveitamento de biogás, considerando seus custos de implantação (sistema de coleta, transporte, tratamento e armazenamento do biogás, e motor-gerador) e operação, e as receitas oriundas da geração de energia elétrica, demonstra que a implantação da linha de biogás proveniente de Digestores de Lodo e de Reatores UASB apresenta viabilidade econômica para o universo estudado, com Taxas Internas de Retorno de 20,37% e 19,21%, respectivamente, considerando a Taxa Mínima de Atratividade de 8,7%. Para uma escala de 100.000 habitantes, o custo de implantação da linha de aproveitamento de biogás foi estimado em R\$ 2.329.149,11, já considerando o BDI.

Entre os cinco arranjos estudados, a configuração que se mostrou mais vantajosa foi o sistema de UASB seguido de Lodos Ativados Convencionais, com uso do biogás para a produção de energia elétrica, devido aos

menores custos de implantação e operação da tecnologia UASB, somada aos custos evitados com energia elétrica por meio da utilização do biogás gerado nesta unidade.

Destaca-se que as soluções com o uso energético do biogás gerado se mostraram mais vantajosas quando comparadas à mesma tecnologia de tratamento de efluentes, mas sem o uso energético do biogás. O aproveitamento energético do biogás tornou a alternativa 5 (Reator UASB seguido de Lodos Ativados) 9,1% mais barata e a alternativa 3 (Lodos Ativados seguido de Digestor de Lodo) 6,9% mais barata no universo temporal estudado.

Sabe-se que a escolha por determinada tecnologia de tratamento de efluentes dá-se em função de muitas variáveis, como a eficiência requerida para o alcance da qualidade do efluente final, área disponível para sua implantação, experiência consolidada da prestadora de serviço de saneamento, mas dá-se também com o objetivo de viabilizar um sistema técnico e economicamente, visando a adequada operação e manutenção durante a vida útil do empreendimento, e, assim, o aproveitamento energético do biogás gerado nas estações é um fator que deve ser considerado, viabilizando plantas mais eficientes ambiental e energeticamente.

O estudo demonstrou ainda que, nos casos analisados, além do aproveitamento para fins de geração de energia elétrica, pode-se utilizar a energia térmica para a secagem de lodo, demonstrando que os usos não são conflitivos e podem ser complementares, reforçando a viabilidade dos sistemas. Ressalta-se que estudos aprofundados do aproveitamento térmico devem ser feitos caso a caso, considerando a escolha de tecnologia adequada dentre as muitas alternativas existentes.

As análises de sensibilidade ressaltam o entendimento de que a viabilidade de cada projeto varia de forma significativa conforme os parâmetros considerados, que variam temporal e localmente.

O estudo demonstrou, ainda, a fragilidade com relação à dependência atual da importação dos equipamentos. Com uma variação cambial desfavorável, a implantação do aproveitamento energético para fins de energia elétrica pode ser prejudicada ou até mesmo inviabilizada. Destaca-se, portanto, a necessidade do amadurecimento da tecnologia no país, a importância e a oportunidade do desenvolvimento de tecnologias nacionais competitivas com os equipamentos atualmente importados, reduzindo a vulnerabilidade dos projetos com relação ao câmbio.

Em se tratando do aproveitamento energético do biogás para fins de produção de energia elétrica, sua viabilidade é condicionada ao cenário energético do país. Atualmente, são constantes os aumentos no preço da energia elétrica e sabe-se que, em geral, ela é o primeiro ou segundo maior custo de operação dos serviços de saneamento, seguido por custos com pessoal. Com um cenário de aumento no preço da energia elétrica no país, a viabilidade de uma geração local é reforçada.

O trabalho fez ressalvas importantes quanto às interferências dos aspectos construtivos e de operação das ETEs na produção de biogás. Principalmente no caso dos UASBs, apontou-se a possibilidade de ocorrer a perda de biogás em quantidade tal que inviabilize os investimentos para sua captação e aproveitamento, por isso é muito importante que as ETEs a serem construídas tenham projetos que considerem estes aspectos, e, para o aproveitamento de biogás em ETEs existentes, sejam também diagnosti-

cadastros e contabilizadas as ações necessárias à adequação do Reator de modo a captar o máximo do biogás produzido.

Atualmente, está sendo desenvolvido pela Agência Nacional de Águas, em parceria com o Ministério das Cidades, o *Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas: Tratamento de Esgotos Urbanos*. No âmbito deste trabalho, foram cadastradas 2.562 ETes existentes no país. Segundo este levantamento, para as 2.334 ETes cuja tecnologia de tratamento foi informada, os processos predominantes no país são Reator UASB seguido de Filtro (13%), Lagoa anaeróbia seguida de Lagoa facultativa (12%), e Reator anaeróbio seguido de tratamento terciário (12%).

Considerando-se os reatores Anaeróbios e Digestores de Lodo como unidades potenciais de geração de biogás, e ETes que atendam a vazões superiores a 250 l/s (população equivalente de 150.000 habitantes), foram identificadas, no levantamento desse trabalho, 49 estações com Lodos Ativados, que podem ser seguidas de Digestores de Lodo, e 51 estações com reatores Anaeróbios, resultando em 90 ETes existentes no país que apresentam potencial de aproveitamento energético de biogás com consequente viabilidade econômica. Como este levantamento ainda não está plenamente concluído, estas informações ainda podem ser ajustadas.

É sabido o grande déficit de tratamento de esgotos existente no país. Segundo as informações levantadas pelo *Atlas Brasil de Despoluição de Bacias Hidrográficas*, cerca de 70% dos 5.570 municípios, e aproximadamente 60% da população urbana brasileira, não dispõe de nenhum tipo de tratamento de esgoto. Considerando-se o universo estudado no presente trabalho, do total de municípios brasileiros, 264 possuem uma população urbana maior que 100.000 habitantes, sendo que, destes, 204 possuem cobertura de coleta de esgoto abaixo de 80%. Este fato revela um universo potencial para a implantação de novas ETes que tragam em suas concepções alternativas que considerem a eficiência energética por meio do aproveitamento do biogás produzido em suas unidades.

Com o objetivo de se atingir a universalização da coleta e tratamento de esgotos no país, torna-se indispensável avaliar a eficiência deste serviço prestado em todo seu horizonte de vida útil: uma estação com vida útil de 20 a 25 anos, precisa considerar todas as receitas possíveis além de atuar em medidas de redução de custos, a fim de garantir a eficiência e a sustentabilidade do sistema.

Os projetos existentes e passíveis de ampliação, bem como os novos projetos, necessitam avaliar detalhadamente o potencial deste inicial subproduto, levando em conta a utilização desse combustível com grande poder calorífico, o biogás, como forma de tornar mais eficiente a prestação de serviço.

Vale ressaltar que o Ministério das Cidades, por meio da Instrução Normativa número 39, de 24 de outubro de 2012, recentemente alterada pela Instrução Normativa número 3, de 17 de março de 2016, regulamenta as disposições e procedimentos relativos às operações de crédito no âmbito do Programa Saneamento para Todos, e integra o biogás como item financiável para ETes com vazão média afluente superior a 250 l/s.

Por fim, reforça-se que o grande déficit de saneamento existente no país precisa ser transformado em oportunidade, colocando o setor em outro patamar de prestação de serviços, pautado na sustentabilidade, e garantindo a saúde pública, ambiental e econômica deste serviço.

REFERÊNCIAS

ANDREOLI, Cleverson V.; VON SPERLING, Marcos; FERNANDES, Fernando. **Lodos de esgoto: tratamento e disposição final**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007. [Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6].

BAHIAGAS. **Tabela Tarifária**. 2015. Disponível em: <<http://www.bahiagas.com.br/gas-natural/tabela-tarifaria/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

BERTINATTO, Rovian. **Análise da contaminação e degradação do óleo lubrificante e desgaste de um motor otolizado alimentado por biogás**. 2014. 75 f. Dissertação [Mestrado] - Curso de Pós-graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014. Disponível em: <http://200.201.88.199/portalpos/media/File/energia_agricultura/Dissertacao_Rovian_Bertinato.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto/ Probiogás**; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]; Autores, Bruno Silveira ... [et al.]. - Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015a.

BRASIL. BNDES. [Ed.]. BNDES Finem - **Financiamento a Empreendimentos - Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos**. 2015b. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/saneamento.html>. Acesso em: 02 ago. 2015b.

BRASIL. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico de Metas para a Inflação no Brasil**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/metas/TabelaMetaseResultados.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2015c.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para Brasil/Probiogás**; Organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]; Autores: Carolina Cabral ... [et al.]. - Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2015d.

CABRAL, B. G. C.; PLATZER, C. J.; ROSENFELDT, S.; HOFFMANN, H.; CHERNICHARO C.A.L. **Caracterização do biogás gerado no tratamento de efluentes domésticos em reatores UASB no Brasil**. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

CABRAL, B. G. C.. **Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário**. Dissertação [mestrado]. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental - UFSC. Florianópolis. 2016.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 2007. 379 p.

CHERNICHARO, C.A.L. *et al.* **Anaerobic Sewage Treatment: State of the Art, Constraints and Challenges.** Viña del Mar. 2015

COELBA. **Tabela de tarifa e preço final de energia elétrica julho/2015.** Disponível em: <[http://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Documents/alta-tensao/Tarifas/Julho_2015/HOROSAZONAL - VERDE A4 \[2,3 a 25kV\].pdf](http://servicos.coelba.com.br/residencial-rural/Documents/alta-tensao/Tarifas/Julho_2015/HOROSAZONAL - VERDE A4 [2,3 a 25kV].pdf)>. Acesso em: 03 jul. 2015

COPASA (Minas Gerais). ETE Arrudas: **TRATAMENTO DE ESGOTOS. A NOVA PRIORIDADE DA COPASA.** Disponível em: <[http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/2012/maio/ete-arrudas-20050310-ie470!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzddDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/>](http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/imprensa/noticias/releases/2012/maio/ete-arrudas-20050310-ie470!ut/p/a0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfGjzOJ9DLwdPby9Dbz8gzddDBY9g_zd_T2dgvx8zfULsh0VAfwq3lw!/)>. Acesso em: 15 dez. 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Portaria nº 025, de 05 de fevereiro de 1985. Brasília: Diário Oficial, 6 fev. 1985. Seção 1, p. 48-49.

DÖHLER, H. *et al.* **Faustzahlen Biogas.** 3. ed. Darmstadt: Kuratorium Für Technik Und Bauwesen In Der Landwirtschaft e.V. (KTBL), 2013. 360p.

DREYER & BOSSE. **Plano de manutenção Vita Pico/Grandis.** 2015

DWA - DEUTSCHE VEREINIGUNG FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABWASSER UND ABFALL E. V.. DWA-M 361: Aufbereitung von Biogas. Hennef., 42 p. 2011

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Opportunities for Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities: Market Analysis and Lessons from the Field.** 57p. 2011.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2015.** Rio de Janeiro. 2015.

GUASCOR. **Ano novo, geração noval: Guascor implanta primeira usina do país com aproveitamento de biogás de uma Estação de Tratamento de Esgoto.** Disponível em: <<http://www.guascor.com.br/conexaoguascor/tag/biogas/>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

HÖNTZSCH GmbH – Foto cedida pela Hontzsch. 2015.

GONÇALVES, Armando et al. **Engenharia econômica e finanças.** Florianópolis: Elsevier Brasil, 2009. 312p.

UNION INSTRUMENTS GmbH – Foto cedida pela Union Instruments. 2015.
Orth, H. Zur Berücksichtigung von Restwerten in Kostenvergleichsrechnungen. Korrespondenz Abwasser 02/1988, pag. 139. 1988

PROBIOGAS. **Biogás em ETEs.** Material de Capacitação. 2015

RKS Engenharia LTDA. **Projeto Estrutural de uma ETE para 150.000 habitantes.** Florianópolis, 2015.

ROSENFELDT, S.; CABRAL, C. B. G.; PLATZER, C. J.; HOFFMANN, H.; ARAUJO, R.A. **Avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do biogás por meio de motor-gerador em uma ETE.** 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

SANDER, T. **Ökonomie der Abwasserbeseitigung: Wirtschaftlicher Betrieb von kommunalen Kläranlagen.** Berlin Heidelberg: Springer-verlag, p. 320, 2003.

STATISTISCHES BUNDESAMT e DWA-ARBEITSGRUPPE KEK-1.2 "Statistik". Abwasser und Klärschlamm in Deutschland – statistische Betrachtungen. Teil 2: Klärschlamm, Klärgas, Rechen und Sandfanggut. Korrespondenz Abwasser 01/2015, pag. 46. 2015

TRINDADE, Thiago Bordin. **Estudo de viabilidade econômica de placas de aço vitrificado na execução de reservatórios de distribuição.** 2011. 90p. TCC [Graduação] – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2011.

VALENTE, Victor Bustani. **Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil.** 2015. 198p. Dissertação [Mestrado] - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. 2. ed. Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**, UFMG, 2005. [Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.4].

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 2009. [Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. V.1].

13

ANEXOS

13.1 ANEXO 1:
DIMENSIONA-
MENTO DOS
ARRANJOS*Anexo 1.1 Parâmetros de projeto dos processos aeróbios*

Na Tabela 25, são apresentados os parâmetros adotados com relação ao processo de lodo ativado, sendo que eles são iguais para as 5 alternativas.

Tabela 25: Parâmetros de projeto – Lodo ativado geral.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR	FONTE
Taxa de transferência de oxigênio específica p/ demanda carbonácea t_{to_c}	kg_{O_2}/kg_{DBO_5}	0,80	[1]
Taxa de transferência de oxigênio específica p/ demanda nitrogenada t_{to_n}	kg_{O_2}/kg_{NTK}	4,30	[1]
Coefficiente estequiométrico para desnitrificação t_{to_d}	kg_{O_2}/kg_{NTK}	2,86	[1]

[1] von Sperling [2005]

Anexo 1.2 Dimensionamento lodo ativado aeração prolongada

Apresentação do dimensionamento do sistema de aeração prolongada.

Tabela 26: Parâmetros de projeto – Lodo ativado com aeração prolongada.

Parâmetro	Unidade	Valor	Fonte
Coefficiente de produção celular Y	$g_{SSV}/g_{DBO_5removida}$	0,60	[1]
Idade de Lodo θ_c	d	20	[1]
Concentração de sólidos suspensos voláteis X_v	mg/l	3.250	[1]
Coefficiente de respiração endógena K_d	d^{-1}	0,08	[1]
Fração biodegradável f_b	mg_{SSvb}/mg_{SSV}	0,60	[1]
Produção de lodo secundário $p_{x,ex}$	$kg_{SS}/kg_{DBO_5removida}$	0,90	[1]

[1] von Sperling [2005]

A carga da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de $5.240 kg_{DBO_5}/d$ a ser removida é dada pela diferença da concentração na entrada e na saída do tanque de aeração e a vazão média de esgoto, calculado pela Equação 8.

Equação 8

$$CA_{\text{DBO}_5\text{remov}} = Q \cdot (S_o - S)$$

Onde:

- >> $CA_{\text{DBO}_5\text{remov}}$ = Carga de DBO_5 removida em kg/d
- >> Q = Vazão média
- >> S_o = Concentração de DBO no afluente ao TA
- >> S = Concentração de DBO no efluente do TA
- >> TA = Tanque de aeração

O volume do tanque de aeração (TA) pode ser calculado por meio da Equação 9.

Equação 9

$$V = \frac{Y \cdot \theta_c \cdot Q \cdot (S_o - S)}{X_v (1 + K_d \cdot f_b \cdot \theta_c)}$$

Onde:

- >> Y = Coeficiente de produção celular
- >> θ_c = Idade de Lodo
- >> Q = Vazão média
- >> S_o = Concentração de DBO no afluente ao TA
- >> S = Concentração de DBO no efluente do TA
- >> X_v = Concentração de sólidos suspensos voláteis
- >> K_d = Coeficiente de respiração endógena
- >> f_b = Fração biodegradável

Com os parâmetros apresentados da Tabela 26, determinou-se o volume de 9.871 m³. Acrescentando-se o volume de 1.667 m³ da zona anóxica, destinada à desnitrificação com base de tempo de detenção hidráulica anóxica de 2,5 horas, o volume total é de 11.538 m³.

Adotando uma profundidade de 3,50m e uma borda livre de 0,50m, determinou-se a área do tanque de aeração em 1.648 m².

A quantidade de lodo excedente pode ser calculada pela Equação 10.

Equação 10

$$P_{x,ex} = CA_{\text{DBO}_5\text{remov}} \cdot P_{x,ex}$$

Onde:

- >> $P_{x,ex}$ = Produção de lodo excedente em kg_{SS}/d
- >> $CA_{\text{DBO}_5\text{remov}}$ = Carga de DBO_5 removida em kg/d
- >> $p_{x,ex}$ = Produção específica de lodo excedente em kg_{SS}/kg_{DBOremov}

A taxa de transferência de oxigênio é composta pela parcela da demanda carbonácea, nitrificação e recuperação pela desnitrificação e pode ser calculada pela Equação 11.

Equação 11

$$TTO = CA_{\text{DBO}_5, \text{afl}} \cdot \text{tto}_c + CA_{\text{NTK}, \text{afl}} \cdot (\eta_n \cdot \text{tto}_n - \eta_d \cdot \text{tto}_d)$$

Onde:

- >> TTO = Taxa de transferência de oxigênio em $\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{d}$
- >> $CA_{\text{DBO}_5, \text{afl}}$ = Carga de DBO_5 afluente do lodo ativado em kg/d
- >> $CA_{\text{NTK}, \text{afl}}$ = Carga de nitrogênio afluente do lodo ativado em kg/d
- >> tto_c = Taxa de transferência de oxigênio específica p/ demanda carbonácea em $\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{DBO}_5}$
- >> tto_n = Taxa de transferência de oxigênio específica p/ demanda nitrogenada em $\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{NTK}}$
- >> tto_d = Coeficiente estequiométrico para desnitrificação em $\text{kg}_{\text{O}_2}/\text{kg}_{\text{NTK}}$
- >> η_n = Eficiência da nitrificação
- >> η_d = Eficiência da desnitrificação

Esta taxa ainda deve ser corrigida considerando a relação entre consumo máximo e médio de oxigênio e a diferença entre as condições padrão e do campo, chegando, assim, a $10.848 \text{ kg}_{\text{O}_2}/\text{d}$.

A potência instalada dos aeradores para suprir a demanda de oxigênio pode ser determinada com a eficiência de oxigenação EO de $1,4 \text{ kg}_{\text{O}_2}/\text{kW}$. Para o lodo ativado de aeração prolongada, calculou-se uma potência de $322,86 \text{ kW}$ e um consumo de energia elétrica de $2.828.272 \text{ kWh/a}$.

Para o cálculo do decantador secundário, precisavam ser consideradas as taxas de aplicação hidráulica (TAH) e superficial (TAS), conforme as Equações 12 e 13. A maior área será utilizada para determinação do diâmetro.

Equação 12

$$A_{\text{min}, \text{TAH}} = \text{TAH} \cdot Q_{\text{méd}} = 15 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \cdot 667 \text{ m}^3/\text{d} = 1.066 \text{ m}^2$$

Onde:

- >> $A_{\text{min}, \text{TAH}}$ – Área mínima conforme TAH em m^2
- >> TAH – Taxa de aplicação hidráulica em $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
- >> $Q_{\text{méd}}$ – Carga de nitrogênio afluente do lodo ativado em kg/d

Equação 13

$$A_{\text{min}, \text{TAS}} = \text{TAS} \cdot CA_{\text{SS}, \text{efl}} = 120 \text{ kg}_{\text{SS}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d}) \cdot 6.666 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d}$$

$$A_{\text{min}, \text{TAS}} = 1.333 \text{ m}^2$$

Onde:

- >> $A_{\text{min}, \text{TAS}}$ – Área mínima conforme TAS em m^2
- >> TAS – Taxa de aplicação de sólidos em $\text{kg}_{\text{SS}}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
- >> $Q_{\text{méd}}$ – Carga de nitrogênio afluente do lodo ativado em kg/d

Optando por dois decantadores secundários, chegou-se ao diâmetro mínimo de 29,13m cada, medida que foi arredondada para 29,50m. A profundidade da parte cilíndrica do decantador é de 3,50 metros. Considerando, ainda, a declividade do fundo de 8% e profundidade da parte cônica, o volume de cada decantador é de 2.672,27 m³.

Anexo 1.3 Dimensionamento lodo ativado com digestor anaeróbio de lodo

A primeira unidade do arranjo de lodo ativado convencional com digestor anaeróbio de lodo é o decantador primário, que é dimensionado de forma semelhante da metodologia do dimensionamento do decantador secundário. No caso do decantador primário, determina-se a área mínima somente em função da taxa de aplicação hidráulica máxima de 90 m³/(m².d) (ABNT, 2011), utilizando a Equação 12.

Na Tabela 27, são apresentados os parâmetros para o projeto do decantador primário. Chegou-se a dois decantadores primários com diâmetro de 11,00 metros.

Tabela 27: Parâmetros do decantador primário.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Taxa de aplicação hidráulica TAH para Q_{med}	m ³ /m ² .d	90
Produção específica de lodo primário	kg _{SS} /kg _{DQOaplicada}	0,30
Eficiência de remoção de DBO ₅	%	30
Eficiência de remoção de sólidos suspensos	%	55
Eficiência de remoção de NTK	%	10

Conforme as eficiências de remoção referente à carga orgânica, sólidos e nutrientes, podem ser calculadas as cargas no efluente do decantador primário, que são a base para o dimensionamento do lodo ativado convencional, conforme a Equação 14.

Equação 14

$$CA_{x,efluente} = CA_{x,afluente} \cdot (1 - \eta_x)$$

Onde:

- >> $CA_{x,efluente}$ – Carga no efluente do decantador primário em kg/d
- >> $CA_{x,afluente}$ – Carga no afluente ao decantador primário em kg/d
- >> η_x – Rendimento de remoção em %

Para determinação de produção de sólidos no decantador primário, utilizou-se a taxa de 0,30 kg_{SS}/kg_{DQOaplicada} na Equação 15.

Equação 15

$$P_{x,DP} = CA_{DQOaplicada} \cdot P_{x,ex}$$

Onde:

- >> $P_{x,DP}$ = Produção de lodo no decantador primário em kg_{SS}/d
- >> $CA_{DQOaplicada}$ = Carga de DQO_{aplicada} em kg/d
- >> $p_{x,ex}$ = Produção específica de lodo excedente em $kg_{SS}/kg_{DQOaplicada}$

Tabela 28: Resultados do decantador primário.

Os resultados referentes ao dimensionamento do decantador primário são apresentados na Tabela 28.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Unidades	-	2
Diâmetro mínimo	m	10,64
Área mínima	m ²	177,78
Altura útil	m	3,50
Altura livre	m	0,50
Altura total	m	4,00
Volume parcial	m ³	661,73
Volume total	m ³	1.323,46
Produção mássica de lodo primário	kg_{SS}/d	3.300,00
Carga DBO ₅ efluente do decantador primário	kg_{DBO_5}/d	3.780,00
Carga de sólidos suspensos efluente do decantador primário	kg_{SS}/d	2.700,00
Carga NTK efluente do decantador primário	kg_{NTK}/d	990,00

O tanque de aeração convencional, que segue ao reator decantador primário, é dimensionado em analogia com a metodologia apresentada no item ANEXO 1.2. Alguns dos parâmetros diferem dos apresentados para o dimensionamento de lodo ativado com aeração prolongada. Outra diferença são as cargas de DBO₅, sólidos suspensos e nitrogênio, reduzidas em função do tratamento anterior no decantador primário.

Tabela 29: Parâmetros de projeto – Tanque de aeração após decantador primário.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR	FONTE
Carga DBO	Kg/d	3.780	-
Carga Sólidos Suspensos	Kg/d	2.700	-
Carga NTK	Kg/d	990	-
Coefficiente de produção celular Y	$g_{SSV}/g_{DBO5removida}$	0,60	[1]
Idade de Lodo θ_c	d	10	[1]
Concentração de sólidos suspensos voláteis X_v	mg/l	2.250	[1]
Coefficiente de respiração endógena K_d	d^{-1}	0,08	[1]
Fração biodegradável f_b	mg_{SSVb}/mg_{SSV}	0,70	[1]
Produção de lodo secundário $p_{x,ex}$	$kg_{SS}/kg_{DBO5removida}$	0,70	[1]
[1] vonSperling [2005]			

Tabela 30: Resultados Tanque de Aeração após decantador primário.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Volume para nitrificação	m^3	6.188
Volume para desnitrificação	m^3	1.667
Volume total	m^3	7.855
Altura útil	m	3,50
Altura total	m	4,00
Área do tanque de aeração total	m^2	2.244
Unidades dos tanques de aeração	-	2
Volume do tanque de aeração parcial	m^3	3.927
Área do tanque de aeração parcial	m^2	1.122
Produção de lodo aeróbio excedente	kg_{SS}/d	2.646
Taxa de transferência de oxigênio teórica	kg_{O_2}/d	4.560
Taxa de transferência de oxigênio prática	kg_{O_2}/d	8.208
Potência instalada para aeração	kW	244,29
Consumo de energia elétrica para aeração	kWh/a	2.139.982

Os decantadores secundários deste arranjo são calculados com a mesma metodologia apresentada no ANEXO 1.2.

Tabela 31: Parâmetros e resultados para os decantadores secundários – Tanque de Aeração após UASB.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
TAH	m ³ /[m ² .d]	30
TAS	kg _{SS} /[m ² .d]	120
A _{min,TAS}	m ²	533
A _{min,TAH}	m ²	720
Número de decantadores secundários	-	2
Diâmetro mínimo	m	21,41
Diâmetro adotado	m	21,50
Altura parte cilíndrica	m	3,50
Declividade do fundo	%	8
Volume total	m ³	2.758,17
Volume parcial	m ³	1.379,09

A soma dos lodos formados pelo lodo primário e pelo lodo aeróbio excedente é de 5.946kg_{SS}/d, quantidade encaminhada para a unidade de digestão anaeróbia de lodo.

O digestor de lodo pode ser calculado por meio do tempo de detenção hidráulica e a vazão de esgoto. A vazão de lodo pode ser determinada pela Equação 16.

Equação 16

$$Q_{\text{lodo,misto}} = \frac{(P_{x,DP} + P_{x,LA})}{C_{SS,\text{adensado}}} = \frac{(3.300 \text{ kg}_{SS}/\text{d} + 2.646 \text{ kg}_{SS}/\text{d})}{60 \text{ kg}_{SS}/\text{m}^3}$$

$$Q_{\text{lodo,misto}} = \frac{5.946 \text{ kg}_{SS}/\text{d}}{60 \text{ kg}_{SS}/\text{m}^3} = 99,10 \text{ m}^3/\text{d}$$

Onde:

- Q_{lodo,misto} = Vazão de lodo misto afluente ao digestor de lodo em m³/d
- P_{x,DP} = Produção de lodo no decantador primário em kg_{SS}/d
- P_{x,LA} = Produção de lodo no aeróbio excedente em kg_{SS}/d
- C_{SS,adensado} = Teor de sólidos em kg_{SS}/m³

Conforme Andreoli (2001), o tempo de detenção hidráulica deve ser entre 18 e 25 dias no caso de lodos provenientes de decantação primária com condições mesofílicas nos digestores. Para garantir um bom funcionamento, optou-se por um tempo de detenção hidráulica de 22 dias.

O volume dos digestores anaeróbios de lodo é calculado empregando a Equação 17.

Equação 17

$$V_{\text{digestor}} = \text{TDH} \cdot Q_{\text{lodo,misto}} = 22\text{d} \cdot 99,10 \text{ m}^3/\text{d} = 2.600 \text{ m}^3$$

Onde:

V_{digestor} = Volume útil dos digestores anaeróbios de lodo em m^3

TDH = Tempo de detenção hidráulica em h

$Q_{\text{lodo,misto}}$ = Vazão de lodo misto afluente ao digestor de lodo em m^3/d

Foram adotados dois digestores com volume útil parcial de 1.300 m^3 .

Considerando a relação entre os sólidos suspensos voláteis (Equação 18) e os sólidos suspensos totais (Equação 19) igual a 0,72, teremos a seguinte distribuição no afluente aos biodigestores.

Equação 18

$$\text{Sólidos Voláteis} \quad P_{\text{xv,afl}} = (P_{\text{x,DP}} + P_{\text{x,LA}}) \cdot \text{SSV/SS}$$

$$P_{\text{xv,afl}} = 5.946 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d} \cdot 0,72 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{kg}_{\text{SSV}} = 4.281 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{C}$$

Equação 19

$$\text{Sólidos Fixos} \quad P_{\text{xf}} = (P_{\text{x,DP}} + P_{\text{x,LA}}) - P_{\text{xv}}$$

$$P_{\text{xf}} = 5.946 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d} - 4.281 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{d} = 1.665 \text{ kg}_{\text{SF}}/\text{d}$$

Para este volume, é verificada a taxa de aplicação de sólidos pela Equação 20:

Equação 20

$$\text{TAS}_{\text{digestor}} = \frac{P_{\text{xv,afl}}}{V} = \frac{4.281 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{d}}{2.600 \text{ m}^3} = 1,65 \text{ kg}_{\text{SSV}}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

Onde:

>> $\text{TAS}_{\text{digestor}}$ = Taxa de aplicação de sólidos voláteis para o digestor [$\text{kg}_{\text{SSV}}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$]

>> $P_{\text{xv,afl}}$ = Carga de sólidos voláteis no afluente ao digestor em $\text{kg}_{\text{SSV}}/\text{d}$

>> V_{digestor} = Volume útil dos digestores anaeróbios de lodo em m^3

Considerando uma eficiência de remoção dos sólidos voláteis de 50% (Andreoli, 2007), na digestão, e sabendo que os sólidos fixos permanecem inalterados, a distribuição da carga de sólidos efluente do digestor será:

Equação 21

$$\begin{aligned}\text{Sólidos Voláteis} \quad P_{xv,efl} &= (1 - 50\%) \cdot P_{xv,afl} = (1 - 50\%) \cdot 4.281 \text{ kg}_{SSV}/d \\ P_{xv,efl} &= 2.140,6 \text{ kg}_{SSV}/d\end{aligned}$$

Equação 22

$$\text{Sólidos Fixos} \quad P_{xf,efl} = P_{xf,afl} = 1.665 \text{ kg}_{SF}/d$$

Equação 23

$$\text{Sólidos Totais} \quad P_{x,LA} = P_{xf,efl} + P_{xv,efl} = 3.805 \text{ kg}_{SS}/d$$

A produção de biogás pode ser estimada a partir dos sólidos voláteis digeridos e uma taxa específica adotada de $0,80 \text{ m}^3/\text{kg}_{SV, digerido}$ por:

Equação 24

$$\begin{aligned}Q_{\text{biogás}} &= q_{\text{biogás}} \cdot (P_{xv,afl} - P_{xv,efl}) \\ Q_{\text{biogás}} &= 0,8 \text{ m}^3/\text{kg}_{SV\text{destruído}} \cdot (4.281 - 2.140) \text{ kg}_{SSV}/d = 1.712 \text{ m}^3/d\end{aligned}$$

Onde:

- >> $Q_{\text{biogás}}$ = Vazão de biogás gerado em m^3/d
- >> $q_{\text{biogás}}$ = Taxa específica de geração de biogás em $\text{m}^3/\text{kg}_{SV\text{destruído}}$

Anexo 1.4 Dimensionamento UASB – Lodo ativado

O volume dos reatores UASB podem ser calculados por meio da Equação 25, considerando o tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 horas, referente à vazão média.

Equação 25

$$V_{UASB} = TDH \cdot Q_{\text{méd}} = 10h \cdot 666,67 \text{ m}^3/h = 6.667 \text{ m}^3$$

Onde:

- >> V_{UASB} = Volume útil dos reatores UASB em m^3
- >> TDH = Tempo de detenção hidráulica em h
- >> $Q_{\text{méd}}$ = Vazão média em m^3/h

Optou-se pela construção de 2 reatores com altura útil de 5,50m e borda livre de 0,50m. Dessa forma, a área parcial é de $606,06 \text{ m}^2$.

A eficiência relativa à remoção de carga orgânica pode ser calculada por:

Equação 26

$$\eta_{\text{UASB, DBO}} = 1 - 0,70 \cdot \text{TDH}^{-0,50} = 1 - 0,70 \cdot 10h^{-0,50} = 77,86\%$$

Onde:

- >> $\eta_{\text{UASB, DBO}}$ = Eficiência do reator UASB referente remoção da DBO₅ em %
- >> TDH = Tempo de detenção hidráulica em h

Conforme as recomendações de Chernicharo (2007), adota-se uma eficiência de 65%, resultando assim em uma concentração de DBO₅ na saída do reator UASB e, conseqüentemente, no afluente ao reator de lodo ativado de 275,00 mg/l, que representa uma carga de 1.890 kgDBO₅/d.

A produção de lodo anaeróbio excedente pode ser calculada por:

Equação 27

$$P_{\text{lodo, anaeróbio}} = Y_{\text{anaerob}} \cdot CA_{\text{DBO}_5, \text{afl}}$$

$$P_{\text{lodo, anaeróbio}} = 0,36 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{kg}_{\text{DBO}_5} \cdot 1.890 \text{ kg}_{\text{DBO}_5}/\text{d}$$

$$P_{\text{lodo, anaeróbio}} = 1.944 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d}$$

Onde:

- >> $P_{\text{lodo, anaeróbio}}$ = Produção de lodo anaeróbio excedente em kg_{SS}/d
- >> Y_{anaerob} = Produção de lodo anaeróbio excedente específica em kg_{SS}/kg_{DBO₅}

A parcela de DQO convertida em gás metano (DQO_{CH₄}) é determinada por:

Equação 28

$$\text{DQO}_{\text{CH}_4} = Q_{\text{méd}} \cdot [(S_{\text{DQO, UASB, afluente}} \cdot S_{\text{DQO, UASB, efluente}}) - Y_{\text{obs}} \cdot S_{\text{DQO, UASB, afluente}}]$$

$$\text{DQO}_{\text{CH}_4} = 16.000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot [(0,69 \cdot 0,28) \text{ kg}/\text{m}^3 - 0,21 \cdot 0,69 \text{ kg}/\text{m}^3] = 4.290 \text{ kg}_{\text{DQO}}/\text{d}$$

Sendo:

- >> DQO_{CH_4} = parcela de DQO convertida em metano em kg_{DQO}/d
- >> $S_{\text{DQO, UASB, afluente}}$ = DQO afluente em kg/m³
- >> $S_{\text{DQO, UASB, efluente}}$ = DQO efluente em kg/m³
- >> $Q_{\text{méd}}$ = Contribuição média de esgoto em m³/d
- >> Y_{obs} = Coef. de produção de sólidos em termos de DQO (adotado 0,21)

A produção volumétrica de metano é calculada por:

Equação 29

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{\text{DQO}_{\text{CH}_4}}{K_{(T)}}$$

sendo o fator de correção para a temperatura operacional do reator determinado por:

Equação 30

$$K_{(T)} = \frac{p \cdot K}{R \cdot (273 + T)} = 2,70 \text{ kg}_{\text{DQO}}/\text{m}^3$$

Sendo:

- >> $K_{(T)}$ = Fator de correção para a temperatura operacional do reator $\text{kg}_{\text{DQO}}/\text{m}^3$
- >> p = Pressão atmosférica em atm
- >> K = COD correspondente a um mol de $\text{CH}_4 = 64 \text{ g}_{\text{DQO}}/\text{mol}$
- >> R = Constante universal dos gases
- >> T = Temperatura operacional do reator – adotado 16°C

Equação 31

$$Q_{\text{CH}_4} = \frac{4.290 \text{ kg}_{\text{DQO}}/\text{d}^3}{2,70 \text{ kg}_{\text{DQO}}/\text{m}^3} = 1.589,67 \text{ m}^3/\text{d}$$

Considerando que 78% do volume do biogás é metano, tem-se que a vazão de biogás é igual a $2.038 \text{ m}^3/\text{d}$.

Para determinação da quantidade de biogás tecnicamente disponível para o aproveitamento energético, deve ser descontada ainda a parcela referente às perdas de biogás que foi adotada em 30%. Dessa maneira, há $1.426,63 \text{ m}^3/\text{d}$ tecnicamente disponíveis para o aproveitamento energético.

O tanque de aeração convencional que se segue ao reator UASB é dimensionado em analogia com a metodologia apresentada no ANEXO 1.2. Alguns dos parâmetros diferem dos parâmetros para o dimensionamento de lodo ativado com aeração prolongada. Outra diferença são as cargas de DBO_5 , sólidos suspensos e nitrogênio, reduzidas em função do tratamento anterior no reator UASB.

Tabela 32: Parâmetros de projeto – Tanque de aeração após UASB.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR	FONTE
Carga DBO	Kg/d	1.890	-
Carga Sólidos Suspensos	Kg/d	939	-
Carga NTK	Kg/d	990	-
Coefficiente de produção celular Y	$\text{g}_{\text{SSV}}/\text{g}_{\text{DBO5removida}}$	0,60	[1]
Idade de Lodo θ_c	d	10	[1]
Concentração de sólidos suspensos voláteis X_v	mg/l	1.500	[1]
Coefficiente de respiração endógena K_d	d^{-1}	0,08	[1]
Fracção biodegradável f_b	$\text{mg}_{\text{SSVb}}/\text{mg}_{\text{SSV}}$	0,70	[1]
Produção de lodo secundário $p_{x,\text{ex}}$	$\text{kg}_{\text{SS}}/\text{kg}_{\text{DBO5removida}}$	0,70	[1]

[1] vonSperling [2005]

Tabela 33: Resultados Tanque de Aeração após UASB.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
Volume para nitrificação	m ³	4.436
Volume para desnitrificação	m ³	1.667
Volume total	m ³	6.103
Altura útil	m	3,50
Altura total	m	4,00
Área do tanque de aeração total	m ²	872
Unidades dos tanques de aeração	-	2
Volume do tanque de aeração parcial	m ³	3.051
Área do tanque de aeração parcial	m ²	436
Produção de lodo aeróbio excedente	kg _{SS} /d	1.323
Taxa de transferência de oxigênio teórica	kgO ₂ /d	3.048
Taxa de transferência de oxigênio prática	kgO ₂ /d	5.487
Potência instalada para aeração	kW	163,29
Consumo de energia elétrica para aeração	kWh/a	1.430.422

Os decantadores secundários deste arranjo são calculados com a mesma metodologia apresentada no item ANEXO 1.2.

Tabela 34: Parâmetros e resultados para os decantadores secundários - Tanque de Aeração após UASB.

PARÂMETRO	UNIDADE	VALOR
TAH	m ³ /[m ² .d]	30
TAS	kg _{SS} /[m ² .d]	120
A _{min,TAS}	m ²	533
A _{min,TAH}	m ²	480
Número de decantadores secundários	-	2
Diâmetro mínimo	m	18,43
Diâmetro adotado	m	18,50
Altura parte cilíndrica	m	3,50
Declividade do fundo	%	8
Volume total	m ³	2.019,75
Volume parcial	m ³	1.009,88

Para a determinação da quantidade de lodo gerado neste arranjo, é importante entender suas particularidades. O lodo aeróbio excedente é bombeado para o reator UASB, onde foi adotada a redução de 35% dos sólidos voláteis desta fração.

Sabendo-se que a carga de sólidos fixos permanece inalterada, tem-se a seguinte carga de lodo aeróbio, retirado do reator UASB:

Equação 31

$$\text{Sólidos Voláteis} \quad P_{xv} = 997 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{d} \cdot (1 - 0,35) = 648 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{d}$$

Equação 32

$$\text{Sólidos Fixos} \quad P_{xf} = 326 \text{ kg}_{\text{SSF}}/\text{d}$$

Equação 33

$$\text{Sólidos Totais} \quad P_{x,LA} = 648 \text{ kg}_{\text{SSV}}/\text{d} + 326 \text{ kg}_{\text{SSF}}/\text{d} = 974 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d}$$

A quantidade total de lodo excedente forma um lodo misto, composto por esta parcela, acrescentada da parcela referente ao lodo excedente anaeróbio.

Equação 34

$$P_{x,\text{total}} = P_{x,LA} + P_{x,UASB} = 974 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d} + 1.944 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d} = 2.918 \text{ kg}_{\text{SS}}/\text{d}$$

Adotando um desaguamento a um teor de 25%, determina-se um volume de lodo igual a 11,67 m³/d.

13.2 ANEXO 2 – CÁLCULO CAPEX

Tabela 35: Custos unitários de obras civis.

ITEM	DESCRIÇÃO	UN.	CUSTO UNITÁRIO		SINAPI
			SEM BDI	COM BDI	
Concreto	Concreto usinado bombeado fck = 30 MPA, inclusive lançamento e adensamento	m³	R\$ 375,37	R\$ 466,13	74138/004
Armadura (aço)	Aço CA-60, considerando fornecimento, corte [c/ perda de 10%], dobra e colocação	kg	R\$ 6,97	R\$ 8,66	73942/001
Formas	Forma para estruturas de concreto (pilar, viga e laje) em chapa de madeira compensada resinada, de 1,10 x 2,20, espessura = 12 mm, 02 utilizações. (fabricação, montagem e desmontagem)	m²	R\$ 44,56	R\$ 55,33	84214
Cimbramento	Execução de cimbramento para escoramento de formas elevadas de madeira (lajes e vigas), acima de 3,30 m de pé direito, com pontaletes (8x8 cm) de madeira de lei 1ª qualidade e peças de madeira de 2,5x10 cm de 2ª qualidade, não aparelhada	m³	R\$ 29,90	R\$ 37,13	73685
Impermeabilização	Impermeabilização de superfície, com impermeabilizante flexível a base acrílica.	m²	R\$ 62,87	R\$ 78,07	73872/002

Tabela 36: Quantitativo dos serviços de obras civis.

DESCRIÇÃO	UN.	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Concreto	m³	1.995	1.780	1.780	2.225	2.225
Aço CA-60	kg	239.393	213.580	213.580	267.031	267.031
Forma para estruturas de concreto (pilar, viga e laje) em chapa de madeira compensada resinada, 2 x	m²	1.995	1.780	1.780	2.225	2.225
Cimbramento	m³	0	0	0	6.667	6.667
Impermeabilização de superfície, com impermeabilizante flexível a base acrílica	m²	6.833	5.800	5.800	3.766	3.766

Tabela 37: Quantidades e custos unitários de equipamentos.

EQUIPAMENTOS		QUANTIDADE					CUSTO UNITÁRIO SEM BDI EM R\$	CUSTO UNITÁRIO COM BDI EM R\$	REFERÊNCIA
		LAAP	DP-LA-C-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS			
Removedor de lodo	Decantador primário		2	2			165.565,00	188.777,21	SIGMA
	Decantador secundário – 18,50 m				2	2	236.947,00	270.166,97	SIGMA
	Decantador secundário – 21,50 m		2	2			257.555,00	293.664,21	SIGMA
	Decantador secundário – 29,50 m	2					407.283,00	464.384,08	SIGMA
	Adensador		2	2			184.379,20	210.229,17	SIGMA
LA	Aerador mecânico – 60 cv	8	6	6	4	4	123.785,80	141.140,57	Ecosan
UASB	Sistema de Remoção de Escuma				1	1	-	129.349,74	Rotária do Brasil
	Sistema de Separação Trifásica				1	1	-	738.000,00	Rotária do Brasil
Biodigestor	Tanque de aço ***		2	2			951.878,95	1.085.332,38	FARMATIC
	Misturador ***		2	2			273.566,16	311.920,14	FARMATIC
	Calefação ***		2	2			106.759,80	121.727,52	FARMATIC
	Isolamento		2	2			17.205,01	19.617,15	Rotária do Brasil
Geral	Instalações elétricas gerais LAC		1	1			-	998.000,00	Rotária do Brasil
	Instalações elétricas gerais UASB				1	1	-	667.090,31	Rotária do Brasil
	Instalações elétricas gerais LAAP	1					-	1.318.990,28	Rotária do Brasil

EQUIPAMENTOS		QUANTIDADE					CUSTO UNITÁRIO SEM BDI EM R\$	CUSTO UNITÁRIO COM BDI EM R\$	REFERÊNCIA
		LAAP	DP-LA-C-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS			
Sistema de aproveitamento de Biogás	Unidade Motor-Gerador – 176 kW ***			1		1	1.065.221,50	1.214.565,55	Dreyer & Bosse
	Unidade Motor-Gerador –151 kW ***					** [1]	970.181,82	1.106.201,31	Dreyer & Bosse
	Sistema de Tratamento de Biogás ***			1		1	145.078,59	165.418,60	Dreyer & Bosse
	Sistema de Tratamento de Biogás ***					** [1]	138.349,39	157.745,97	Dreyer & Bosse
	Gasômetro – 400 m³ ***			1		1	279.349,19	318.513,95	BAUR
	Sistema de captação de biogás				1	1	120.964,00	137.923,15	Rotária do Brasil
	Sistema de transporte de biogás			1		1	59.876,00	68.270,62	Rotária do Brasil
	Instalações Elétricas *			1		1	117.570,84	134.054,27	Rotária do Brasil
	Medição de vazão de biogás ***			1		1	29.988,00	34.192,32	Höntzsch
	Medição de composição de biogás ***			1		1	86.357,38	98.464,68	Union Instruments
	Sistema de queima		1	1	1	1	80.568,17	91.863,83	Rotária do Brasil
* Instalações elétricas específicas para motor-gerador									
** Para análise de sensibilidade com perda de biogás no reator UASB									
*** Considerado importado									

Tabela 38: Custos CAPEX – Equipamentos.

DESCRIÇÃO		CUSTOS EM R\$				
EQUIPAMENTOS		LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Removedor de lodo	Decantador primário		377.554,43	377.554,43		
	Decantador secundário - 18,50 m				540.333,94	540.333,94
	Decantador secundário - 21,50 m		587.328,42	587.328,42		
	Decantador secundário - 29,50 m	928.768,15	0,00	0,00		
	Adensador	0,00	420.458,34	420.458,34		
Lodo ativado	Aerador mecânico - 60 cv	1.129.124,55	846.843,41	846.843,41	564.562,28	564.562,28
UASB	Sistema de Remoção de Escuma				129.349,74	129.349,74
	Sistema de Separação Trifásico				738.000,00	738.000,00
Biodigestor	Tanque de aço		2.170.664,75	2.170.664,75		
	Misturador		623.840,27	623.840,27		
	Calefação		243.455,05	243.455,05		
	Isolamento		39.234,30	39.234,30		
Geral	Instalações elétricas gerais	1.318.990,28	998.000,00	998.000,00	667.090,31	667.090,31

DESCRIÇÃO		CUSTOS EM R\$				
EQUIPAMENTOS		LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Sistema de aproveitamento de Biogás	Unidade Motor-Gerador – 176 kW			1.214.565,55		1.214.565,55
	Sistema de Tratamento de Biogás			165.418,60		165.418,60
	Gasômetro – 400 m ³			318.513,95		318.513,95
	Sistema de captação de biogás				137.923,15	137.923,15
	Sistema de transporte de biogás			68.270,62		68.270,62
	Instalações Elétricas*			134.054,27		134.054,27
	Medição de vazão de biogás			34.192,32		34.192,32
	Medição de composição de biogás			98.464,68		98.464,68
	Sistema de queima		91.863,83	91.863,83	91.863,83	91.863,83
	Subtotal	3.376.882,99	6.399.242,80	8.432.722,79	2.869.123,25	4.902.603,24
Subtotal Per Capita		33,77	63,99	84,33	28,69	49,03
Total		7.022.754,42	9.628.869,41	11.662.349,40	6.882.361,70	8.915.841,69
Per Capita		70,23	96,29	116,62	68,82	89,16
* Instalações elétricas específicas para motor-gerador						

Tabela 39: Custos CAPEX – Obras Cíveis.

DESCRIÇÃO	CUSTOS EM R\$				
OBRAS CÍVIS	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GÁS	UASB-LAC	UASB-LAC-GÁS
Concreto	929.911,65	829.643,58	829.643,58	1.037.270,42	1.037.270,42
Aço CA-60	2.072.030,53	1.848.613,08	1.848.613,08	2.311.247,51	2.311.247,51
Forma para estruturas de concreto (pilar, viga e laje) em chapa de madeira compensada resinada, 2 x	110.389,38	98.486,61	98.486,61	123.133,89	123.133,89
Cimbramento	0,00	0,00	0,00	247.532,13	247.532,13
Impermeabilização de superfície, com impermeabilizante flexível a base acrílica	533.503,41	452.851,05	452.851,05	294.014,36	294.014,36
SUBTOTAL	3.645.834,98	3.229.594,32	3.229.594,32	4.013.198,32	4.013.198,32
SUBTOTAL PER CAPITA	36,46	32,30	32,30	40,13	40,13

13.3 ANEXO 3 – CÁLCULO OPEX

Tabela 40: Custos OPEX anuais.

DESCRIÇÃO	CUSTOS ANUAIS EM R\$				
	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Consumo energético por ano	954.850,96	722.477,85	722.477,85	482.923,82	482.923,82
Disposição do lodo	1.032.804,00	833.391,36	833.391,36	639.028,64	639.028,64
Manutenção de geração			29.608,23		29.599,63
Reparação de geração			44.412,34		44.399,45
Manutenção do sistema de tratamento de gás			21.876,52		26.035,92
Manutenção do gasômetro			6.370,28		6.370,28
Manutenção do sistema de captação de biogás				2.758,46	2.758,46
Manutenção do sistema de transporte de biogás			1.365,41		1.365,41
Manutenção das instalações elétricas			2.681,09		2.681,09

DESCRIÇÃO	CUSTOS ANUAIS EM R\$				
	LAAP	DP-LAC-DL	DP-LAC-DL-GAS	UASB-LAC	UASB-LAC-GAS
Manutenção da medição de vazão de biogás			683,85		683,85
Manutenção da medição de composição de biogás			1.969,29		1.969,29
Manutenção do sistema de queima		1.837,28	1.837,28	1.837,28	1.837,28
Autoconsumo de energia elétrica do CHP			9.520,01		9.517,25
Consumo de óleo lubrificante			7.331,56		7.329,43
Análises laboratoriais - óleo lubrificante			5.220,00		5.220,00
Análises laboratoriais - biogás			3.600,00		3.600,00
Mão de obra do operador			18.420,99		18.415,65
Custos gerais			4.317,87		4.316,61

13.4 ANEXO 4 – FLUXOS DE CAIXA

Tabela 41: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário base.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-7.022.718	0	0	-7.022.718	-7.022.718
1	0	-2.116.853	0	-2.116.853	-1.947.426
2	0	-2.254.448	0	-2.254.448	-1.908.012
3	0	-2.400.987	0	-2.400.987	-1.869.395
4	0	-2.557.051	0	-2.557.051	-1.831.560
5	0	-2.723.260	0	-2.723.260	-1.794.491
6	0	-2.900.271	0	-2.900.271	-1.758.172
7	0	-3.088.789	0	-3.088.789	-1.722.588
8	0	-3.289.560	0	-3.289.560	-1.687.724
9	0	-3.503.382	0	-3.503.382	-1.653.566
10	-3.862.947	-3.731.102	0	-7.594.049	-3.297.448
11	0	-3.973.623	0	-3.973.623	-1.587.310
12	0	-4.231.909	0	-4.231.909	-1.555.184
13	0	-4.506.983	0	-4.506.983	-1.523.708
14	0	-4.799.937	0	-4.799.937	-1.492.870
15	0	-5.111.933	0	-5.111.933	-1.462.655
16	0	-5.444.208	0	-5.444.208	-1.433.052
17	0	-5.798.082	0	-5.798.082	-1.404.048
18	0	-6.174.957	0	-6.174.957	-1.375.632
19	0	-6.576.329	0	-6.576.329	-1.347.790
20	-11.898.937	-7.003.791	0	-18.902.728	-3.563.966
21	0	-7.459.037	0	-7.459.037	-1.293.786
22	0	-7.943.874	0	-7.943.874	-1.267.600
23	0	-8.460.226	0	-8.460.226	-1.241.945
24	0	-9.010.141	0	-9.010.141	-1.216.809
25	8.664.958	-9.595.800	0	-930.842	-115.648
				VPL em R\$	-48.375.106

Tabela 42: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5 % a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-7.022.718	0	0	-7.022.718	-7.022.718
1	0	-2.121.937	0	-2.121.937	-1.952.104
2	0	-2.265.305	0	-2.265.305	-1.917.201
3	0	-2.418.375	0	-2.418.375	-1.882.934
4	0	-2.581.804	0	-2.581.804	-1.849.290
5	0	-2.756.294	0	-2.756.294	-1.816.259
6	0	-2.942.595	0	-2.942.595	-1.783.829
7	0	-3.141.508	0	-3.141.508	-1.751.989
8	0	-3.353.889	0	-3.353.889	-1.720.728
9	0	-3.580.649	0	-3.580.649	-1.690.036
10	-3.862.947	-3.822.764	0	-7.685.712	-3.337.249
11	0	-4.081.277	0	-4.081.277	-1.630.313
12	0	-4.357.298	0	-4.357.298	-1.601.263
13	0	-4.652.015	0	-4.652.015	-1.572.741
14	0	-4.966.698	0	-4.966.698	-1.544.736
15	0	-5.302.700	0	-5.302.700	-1.517.239
16	0	-5.661.468	0	-5.661.468	-1.490.240
17	0	-6.044.547	0	-6.044.547	-1.463.732
18	0	-6.453.587	0	-6.453.587	-1.437.704
19	0	-6.890.350	0	-6.890.350	-1.412.147
20	-11.898.937	-7.356.718	0	-19.255.655	-3.630.508
21	0	-7.854.700	0	-7.854.700	-1.362.414
22	0	-8.386.443	0	-8.386.443	-1.338.221
23	0	-8.954.240	0	-8.954.240	-1.314.466
24	0	-9.560.538	0	-9.560.538	-1.291.140
25	8.664.958	-10.207.952	0	-1.542.994	-191.702
				VPL em R\$	-49.522.902

Tabela 43: Fluxo de caixa para a alternativa LAAP no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0 % a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-7.022.718	0	0	-7.022.718	-7.022.718
1	0	-2.137.191	0	-2.137.191	-1.966.137
2	0	-2.298.202	0	-2.298.202	-1.945.042
3	0	-2.471.585	0	-2.471.585	-1.924.363
4	0	-2.658.310	0	-2.658.310	-1.904.090
5	0	-2.859.421	0	-2.859.421	-1.884.215
6	0	-3.076.049	0	-3.076.049	-1.864.730
7	0	-3.309.413	0	-3.309.413	-1.845.628
8	0	-3.560.829	0	-3.560.829	-1.826.900
9	0	-3.831.721	0	-3.831.721	-1.808.539
10	-3.862.947	-4.123.624	0	-7.986.572	-3.467.887
11	0	-4.438.198	0	-4.438.198	-1.772.890
12	0	-4.777.236	0	-4.777.236	-1.755.586
13	0	-5.142.674	0	-5.142.674	-1.738.621
14	0	-5.536.605	0	-5.536.605	-1.721.987
15	0	-5.961.290	0	-5.961.290	-1.705.678
16	0	-6.419.172	0	-6.419.172	-1.689.687
17	0	-6.912.892	0	-6.912.892	-1.674.008
18	0	-7.445.303	0	-7.445.303	-1.658.634
19	0	-8.019.490	0	-8.019.490	-1.643.560
20	-11.898.937	-8.638.788	0	-20.537.725	-3.872.233
21	0	-9.306.799	0	-9.306.799	-1.614.284
22	0	-10.027.422	0	-10.027.422	-1.600.071
23	0	-10.804.868	0	-10.804.868	-1.586.134
24	0	-11.643.693	0	-11.643.693	-1.572.468
25	8.664.958	-12.548.823	0	-3.883.865	-482.531
				VPL em R\$	-53.548.621

Tabela 44: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário base.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.628.837	0	0	-9.628.837	-9.628.837
1	0	-1.658.957	0	-1.658.957	-1.526.180
2	0	-1.766.790	0	-1.766.790	-1.495.291
3	0	-1.881.631	0	-1.881.631	-1.465.028
4	0	-2.003.937	0	-2.003.937	-1.435.377
5	0	-2.134.193	0	-2.134.193	-1.406.326
6	0	-2.272.915	0	-2.272.915	-1.377.863
7	0	-2.420.655	0	-2.420.655	-1.349.976
8	-152.034	-2.577.997	0	-2.730.032	-1.400.656
9	0	-2.745.567	0	-2.745.567	-1.295.884
10	-4.190.117	-2.924.029	0	-7.114.147	-3.089.067
11	0	-3.114.091	0	-3.114.091	-1.243.960
12	0	-3.316.507	0	-3.316.507	-1.218.783
13	0	-3.532.080	0	-3.532.080	-1.194.116
14	0	-3.761.665	0	-3.761.665	-1.169.948
15	-2.331.450	-4.006.173	0	-6.337.623	-1.813.357
16	-251.616	-4.266.575	0	-4.518.191	-1.189.301
17	0	-4.543.902	0	-4.543.902	-1.100.340
18	0	-4.839.256	0	-4.839.256	-1.078.070
19	0	-5.153.807	0	-5.153.807	-1.056.250
20	-11.382.024	-5.488.805	0	-16.870.829	-3.180.867
21	0	-5.845.577	0	-5.845.577	-1.013.928
22	0	-6.225.540	0	-6.225.540	-993.407
23	0	-6.630.200	0	-6.630.200	-973.301
24	-416.423	-7.061.163	0	-7.477.586	-1.009.840
25	13.228.177	-7.520.138	0	5.708.039	709.167
				VPL em R\$	-42.996.783

Tabela 45: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5 % a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.628.837	0	0	-9.628.837	-9.628.837
1	0	-1.662.805	0	-1.662.805	-1.529.719
2	0	-1.775.005	0	-1.775.005	-1.502.244
3	0	-1.894.787	0	-1.894.787	-1.475.271
4	0	-2.022.666	0	-2.022.666	-1.448.792
5	0	-2.159.188	0	-2.159.188	-1.422.796
6	0	-2.304.939	0	-2.304.939	-1.397.276
7	0	-2.460.545	0	-2.460.545	-1.372.222
8	-152.034	-2.626.671	0	-2.778.705	-1.425.628
9	0	-2.804.031	0	-2.804.031	-1.323.478
10	-4.190.117	-2.993.385	0	-7.183.502	-3.119.183
11	0	-3.195.546	0	-3.195.546	-1.276.498
12	0	-3.411.381	0	-3.411.381	-1.253.648
13	0	-3.641.817	0	-3.641.817	-1.231.216
14	0	-3.887.843	0	-3.887.843	-1.209.192
15	-2.331.450	-4.150.516	0	-6.481.966	-1.854.657
16	-251.616	-4.430.962	0	-4.682.578	-1.232.572
17	0	-4.730.387	0	-4.730.387	-1.145.498
18	0	-5.050.078	0	-5.050.078	-1.125.036
19	0	-5.391.408	0	-5.391.408	-1.104.945
20	-11.382.024	-5.755.843	0	-17.137.867	-3.231.215
21	0	-6.144.951	0	-6.144.951	-1.065.855
22	0	-6.560.404	0	-6.560.404	-1.046.841
23	0	-7.003.990	0	-7.003.990	-1.028.172
24	-416.423	-7.477.615	0	-7.894.038	-1.066.081
25	13.228.177	-7.983.317	0	5.244.860	651.621
				VPL em R\$	-43.865.250

Tabela 46: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0 % a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.628.837	0	0	-9.628.837	-9.628.837
1	0	-1.674.346	0	-1.674.346	-1.540.337
2	0	-1.799.896	0	-1.799.896	-1.523.310
3	0	-1.935.048	0	-1.935.048	-1.506.618
4	0	-2.080.553	0	-2.080.553	-1.490.255
5	0	-2.237.218	0	-2.237.218	-1.474.214
6	0	-2.405.916	0	-2.405.916	-1.458.489
7	0	-2.587.587	0	-2.587.587	-1.443.073
8	-152.034	-2.783.250	0	-2.935.284	-1.505.961
9	0	-2.994.002	0	-2.994.002	-1.413.143
10	-4.190.117	-3.221.027	0	-7.411.145	-3.218.028
11	0	-3.465.607	0	-3.465.607	-1.384.377
12	0	-3.729.123	0	-3.729.123	-1.370.415
13	0	-4.013.069	0	-4.013.069	-1.356.727
14	0	-4.319.058	0	-4.319.058	-1.343.307
15	-2.331.450	-4.648.831	0	-6.980.281	-1.997.238
16	-251.616	-5.004.271	0	-5.255.887	-1.383.481
17	0	-5.387.411	0	-5.387.411	-1.304.602
18	0	-5.800.450	0	-5.800.450	-1.292.200
19	0	-6.245.760	0	-6.245.760	-1.280.041
20	-11.382.024	-6.725.908	0	-18.107.932	-3.414.114
21	0	-7.243.667	0	-7.243.667	-1.256.429
22	0	-7.802.034	0	-7.802.034	-1.244.967
23	0	-8.404.248	0	-8.404.248	-1.233.728
24	-416.423	-9.053.812	0	-9.470.236	-1.278.945
25	13.228.177	-9.754.511	0	3.473.665	431.568
				VPL em R\$	-46.911.268

Tabela 47: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-10.044.695	0	0	-10.044.695	-10.044.695
1	0	-1.658.957	0	-1.658.957	-1.526.180
2	0	-1.766.790	0	-1.766.790	-1.495.291
3	0	-1.881.631	0	-1.881.631	-1.465.028
4	0	-2.003.937	0	-2.003.937	-1.435.377
5	0	-2.134.193	0	-2.134.193	-1.406.326
6	0	-2.272.915	0	-2.272.915	-1.377.863
7	0	-2.420.655	0	-2.420.655	-1.349.976
8	-152.034	-2.577.997	0	-2.730.032	-1.400.656
9	0	-2.745.567	0	-2.745.567	-1.295.884
10	-4.190.117	-2.924.029	0	-7.114.147	-3.089.067
11	0	-3.114.091	0	-3.114.091	-1.243.960
12	0	-3.316.507	0	-3.316.507	-1.218.783
13	0	-3.532.080	0	-3.532.080	-1.194.116
14	0	-3.761.665	0	-3.761.665	-1.169.948
15	-2.650.099	-4.006.173	0	-6.656.273	-1.904.531
16	-251.616	-4.266.575	0	-4.518.191	-1.189.301
17	0	-4.543.902	0	-4.543.902	-1.100.340
18	0	-4.839.256	0	-4.839.256	-1.078.070
19	0	-5.153.807	0	-5.153.807	-1.056.250
20	-11.382.024	-5.488.805	0	-16.870.829	-3.180.867
21	0	-5.845.577	0	-5.845.577	-1.013.928
22	0	-6.225.540	0	-6.225.540	-993.407
23	0	-6.630.200	0	-6.630.200	-973.301
24	-416.423	-7.061.163	0	-7.477.586	-1.009.840
25	13.513.940	-7.520.138	0	5.993.801	744.670
				VPL em R\$	-43.468.312

Tabela 48: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-10.460.553	0	0	-10.460.553	-10.460.553
1	0	-1.658.957	0	-1.658.957	-1.526.180
2	0	-1.766.790	0	-1.766.790	-1.495.291
3	0	-1.881.631	0	-1.881.631	-1.465.028
4	0	-2.003.937	0	-2.003.937	-1.435.377
5	0	-2.134.193	0	-2.134.193	-1.406.326
6	0	-2.272.915	0	-2.272.915	-1.377.863
7	0	-2.420.655	0	-2.420.655	-1.349.976
8	-152.034	-2.577.997	0	-2.730.032	-1.400.656
9	0	-2.745.567	0	-2.745.567	-1.295.884
10	-4.190.117	-2.924.029	0	-7.114.147	-3.089.067
11	0	-3.114.091	0	-3.114.091	-1.243.960
12	0	-3.316.507	0	-3.316.507	-1.218.783
13	0	-3.532.080	0	-3.532.080	-1.194.116
14	0	-3.761.665	0	-3.761.665	-1.169.948
15	-2.968.749	-4.006.173	0	-6.974.922	-1.995.704
16	-251.616	-4.266.575	0	-4.518.191	-1.189.301
17	0	-4.543.902	0	-4.543.902	-1.100.340
18	0	-4.839.256	0	-4.839.256	-1.078.070
19	0	-5.153.807	0	-5.153.807	-1.056.250
20	-11.382.024	-5.488.805	0	-16.870.829	-3.180.867
21	0	-5.845.577	0	-5.845.577	-1.013.928
22	0	-6.225.540	0	-6.225.540	-993.407
23	0	-6.630.200	0	-6.630.200	-973.301
24	-416.423	-7.061.163	0	-7.477.586	-1.009.840
25	13.799.702	-7.520.138	0	6.279.564	780.173
				VPL em R\$	-43.939.841

Tabela 49: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.628.837	0	0	-9.628.837	-9.628.837
1	0	-1.659.447	0	-1.659.447	-1.526.630
2	0	-1.767.311	0	-1.767.311	-1.495.732
3	0	-1.882.186	0	-1.882.186	-1.465.460
4	0	-2.004.528	0	-2.004.528	-1.435.800
5	0	-2.134.822	0	-2.134.822	-1.406.740
6	0	-2.273.586	0	-2.273.586	-1.378.269
7	0	-2.421.369	0	-2.421.369	-1.350.374
8	-152.034	-2.578.758	0	-2.730.792	-1.401.046
9	0	-2.746.377	0	-2.746.377	-1.296.266
10	-4.190.117	-2.924.891	0	-7.115.009	-3.089.442
11	0	-3.115.009	0	-3.115.009	-1.244.327
12	0	-3.317.485	0	-3.317.485	-1.219.142
13	0	-3.533.121	0	-3.533.121	-1.194.468
14	0	-3.762.774	0	-3.762.774	-1.170.293
15	-2.331.450	-4.007.355	0	-6.338.805	-1.813.695
16	-251.616	-4.267.833	0	-4.519.449	-1.189.632
17	0	-4.545.242	0	-4.545.242	-1.100.664
18	0	-4.840.683	0	-4.840.683	-1.078.387
19	0	-5.155.327	0	-5.155.327	-1.056.562
20	-11.382.024	-5.490.423	0	-16.872.447	-3.181.172
21	0	-5.847.301	0	-5.847.301	-1.014.227
22	0	-6.227.375	0	-6.227.375	-993.699
23	0	-6.632.155	0	-6.632.155	-973.588
24	-416.423	-7.063.245	0	-7.479.668	-1.010.121
25	13.228.177	-7.522.356	0	5.705.821	708.891
				VPL em R\$	-43.005.682

Tabela 50: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.628.837	0	0	-9.628.837	-9.628.837
1	0	-1.659.936	0	-1.659.936	-1.527.080
2	0	-1.767.832	0	-1.767.832	-1.496.173
3	0	-1.882.741	0	-1.882.741	-1.465.892
4	0	-2.005.119	0	-2.005.119	-1.436.223
5	0	-2.135.451	0	-2.135.451	-1.407.155
6	0	-2.274.256	0	-2.274.256	-1.378.675
7	0	-2.422.082	0	-2.422.082	-1.350.772
8	-152.034	-2.579.518	0	-2.731.552	-1.401.436
9	0	-2.747.186	0	-2.747.186	-1.296.648
10	-4.190.117	-2.925.754	0	-7.115.871	-3.089.816
11	0	-3.115.928	0	-3.115.928	-1.244.693
12	0	-3.318.463	0	-3.318.463	-1.219.502
13	0	-3.534.163	0	-3.534.163	-1.194.820
14	0	-3.763.884	0	-3.763.884	-1.170.638
15	-2.331.450	-4.008.536	0	-6.339.986	-1.814.033
16	-251.616	-4.269.091	0	-4.520.707	-1.189.963
17	0	-4.546.582	0	-4.546.582	-1.100.988
18	0	-4.842.110	0	-4.842.110	-1.078.705
19	0	-5.156.847	0	-5.156.847	-1.056.873
20	-11.382.024	-5.492.042	0	-16.874.066	-3.181.477
21	0	-5.849.024	0	-5.849.024	-1.014.526
22	0	-6.229.211	0	-6.229.211	-993.992
23	0	-6.634.110	0	-6.634.110	-973.875
24	-416.423	-7.065.327	0	-7.481.750	-1.010.402
25	13.228.177	-7.524.573	0	5.703.604	708.616
				VPL em R\$	-43.014.580

Tabela 51: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário base.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-11.662.317	0	0	-11.662.317	-11.662.317
1	0	-1.826.564	506.941	-1.319.624	-1.214.005
2	0	-1.945.291	539.892	-1.405.399	-1.189.435
3	0	-2.071.735	574.985	-1.496.750	-1.165.362
4	0	-2.206.398	612.359	-1.594.039	-1.141.776
5	0	-2.349.814	652.162	-1.697.652	-1.118.667
6	0	-2.502.551	694.553	-1.807.999	-1.096.026
7	0	-2.665.217	739.698	-1.925.519	-1.073.843
8	-371.581	-2.838.456	787.779	-2.422.259	-1.242.751
9	0	-3.022.956	838.984	-2.183.972	-1.030.816
10	-4.628.784	-3.219.448	893.518	-6.954.714	-3.019.839
11	0	-3.428.712	951.597	-2.477.115	-989.512
12	0	-3.651.579	1.013.451	-2.638.128	-969.485
13	0	-3.888.931	1.079.325	-2.809.606	-949.864
14	0	-4.141.712	1.149.481	-2.992.230	-930.639
15	-6.274.287	-4.410.923	1.224.198	-9.461.012	-2.707.039
16	-614.965	-4.697.633	1.303.771	-4.008.828	-1.055.224
17	0	-5.002.979	1.388.516	-3.614.464	-875.269
18	0	-5.328.173	1.478.769	-3.849.404	-857.554
19	0	-5.674.504	1.574.889	-4.099.615	-840.198
20	-12.677.822	-6.043.347	1.677.257	-17.043.912	-3.213.501
21	0	-6.436.165	1.786.279	-4.649.886	-806.532
22	0	-6.854.515	1.902.387	-4.952.128	-790.209
23	0	-7.300.059	2.026.042	-5.274.017	-774.216
24	-1.017.764	-7.774.563	2.157.735	-6.634.592	-895.994
25	18.595.217	-8.279.909	2.297.987	12.613.295	1.567.076
				VPL em R\$	-40.042.999

Tabela 52: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-11.662.317	0	0	-11.662.317	-11.662.317
1	0	-1.830.462	509.475	-1.320.987	-1.215.259
2	0	-1.953.614	545.304	-1.408.310	-1.191.898
3	0	-2.085.065	583.653	-1.501.412	-1.168.991
4	0	-2.225.373	624.698	-1.600.675	-1.146.529
5	0	-2.375.138	668.630	-1.706.508	-1.124.503
6	0	-2.534.997	715.651	-1.819.346	-1.102.905
7	0	-2.705.633	765.979	-1.939.653	-1.081.726
8	-371.581	-2.887.771	819.847	-2.439.505	-1.251.600
9	0	-3.082.190	877.503	-2.204.687	-1.040.593
10	-4.628.784	-3.289.718	939.213	-6.979.289	-3.030.510
11	0	-3.511.241	1.005.263	-2.505.977	-1.001.042
12	0	-3.747.703	1.075.958	-2.671.745	-981.839
13	0	-4.000.115	1.151.625	-2.848.490	-963.009
14	0	-4.269.553	1.232.613	-3.036.939	-944.545
15	-6.274.287	-4.557.167	1.319.297	-9.512.157	-2.721.672
16	-614.965	-4.864.187	1.412.076	-4.067.075	-1.070.556
17	0	-5.191.922	1.511.381	-3.680.541	-891.270
18	0	-5.541.773	1.617.668	-3.924.105	-874.196
19	0	-5.915.236	1.731.431	-4.183.805	-857.452
20	-12.677.822	-6.313.904	1.853.194	-17.138.532	-3.231.341
21	0	-6.739.483	1.983.520	-4.755.964	-824.932
22	0	-7.193.793	2.123.011	-5.070.782	-809.142
23	0	-7.678.774	2.272.311	-5.406.463	-793.659
24	-1.017.764	-8.196.502	2.432.112	-6.782.155	-915.922
25	18.595.217	-8.749.191	2.603.150	12.449.176	1.546.685
				VPL em R\$	-40.350.725

Tabela 53: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-11.662.317	0	0	-11.662.317	-11.662.317
1	0	-1.842.156	517.079	-1.325.077	-1.219.022
2	0	-1.978.833	561.703	-1.417.130	-1.199.363
3	0	-2.125.856	610.178	-1.515.678	-1.180.098
4	0	-2.284.023	662.837	-1.621.187	-1.161.221
5	0	-2.454.196	720.040	-1.734.157	-1.142.722
6	0	-2.637.304	782.179	-1.855.125	-1.124.595
7	0	-2.834.349	849.681	-1.984.668	-1.106.831
8	-371.581	-3.046.414	923.008	-2.494.986	-1.280.064
9	0	-3.274.664	1.002.664	-2.272.000	-1.072.365
10	-4.628.784	-3.520.360	1.089.194	-7.059.950	-3.065.534
11	0	-3.784.860	1.183.191	-2.601.669	-1.039.267
12	0	-4.069.632	1.285.301	-2.784.331	-1.023.214
13	0	-4.376.258	1.396.222	-2.980.036	-1.007.482
14	0	-4.706.449	1.516.716	-3.189.733	-992.066
15	-6.274.287	-5.062.049	1.647.609	-9.688.727	-2.772.193
16	-614.965	-5.445.050	1.789.798	-4.270.217	-1.124.028
17	0	-5.857.603	1.944.257	-3.913.346	-947.646
18	0	-6.302.032	2.112.047	-4.189.986	-933.428
19	0	-6.780.845	2.294.316	-4.486.529	-919.495
20	-12.677.822	-7.296.751	2.492.316	-17.482.257	-3.296.147
21	0	-7.852.677	2.707.402	-5.145.274	-892.459
22	0	-8.451.783	2.941.051	-5.510.731	-879.345
23	0	-9.097.484	3.194.864	-5.902.620	-866.493
24	-1.017.764	-9.793.469	3.470.581	-7.340.653	-991.347
25	18.595.217	-10.543.724	3.770.092	11.821.584	1.468.713
				VPL em R\$	-41.430.028

Tabela 54: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-12.339.769	0	0	-12.339.769	-12.339.769
1	0	-1.844.300	506.941	-1.337.359	-1.230.321
2	0	-1.964.179	539.892	-1.424.287	-1.205.420
3	0	-2.091.851	574.985	-1.516.866	-1.181.024
4	0	-2.227.821	612.359	-1.615.462	-1.157.121
5	0	-2.372.629	652.162	-1.720.467	-1.133.702
6	0	-2.526.850	694.553	-1.832.298	-1.110.756
7	0	-2.691.096	739.698	-1.951.397	-1.088.276
8	-402.945	-2.866.017	787.779	-2.481.183	-1.272.982
9	0	-3.052.308	838.984	-2.213.323	-1.044.670
10	-4.673.143	-3.250.708	893.518	-7.030.333	-3.052.674
11	0	-3.462.004	951.597	-2.510.407	-1.002.811
12	0	-3.687.034	1.013.451	-2.673.583	-982.515
13	0	-3.926.691	1.079.325	-2.847.366	-962.630
14	0	-4.181.926	1.149.481	-3.032.445	-943.147
15	-7.156.199	-4.453.752	1.224.198	-10.385.752	-2.971.630
16	-666.872	-4.743.245	1.303.771	-4.106.347	-1.080.894
17	0	-5.051.556	1.388.516	-3.663.041	-887.032
18	0	-5.379.908	1.478.769	-3.901.138	-869.080
19	0	-5.729.602	1.574.889	-4.154.712	-851.490
20	-12.761.090	-6.102.026	1.677.257	-17.185.858	-3.240.264
21	0	-6.498.657	1.786.279	-4.712.379	-817.372
22	0	-6.921.070	1.902.387	-5.018.683	-800.829
23	0	-7.370.940	2.026.042	-5.344.898	-784.621
24	-1.103.670	-7.850.051	2.157.735	-6.795.986	-917.790
25	19.537.983	-8.360.304	2.297.987	13.475.666	1.674.217
				VPL em R\$	-41.254.603

Tabela 55: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-13.017.221	0	0	-13.017.221	-13.017.221
1	0	-1.862.035	506.941	-1.355.094	-1.246.637
2	0	-1.983.067	539.892	-1.443.175	-1.221.406
3	0	-2.111.967	574.985	-1.536.982	-1.196.686
4	0	-2.249.244	612.359	-1.636.886	-1.172.466
5	0	-2.395.445	652.162	-1.743.283	-1.148.736
6	0	-2.551.149	694.553	-1.856.597	-1.125.487
7	0	-2.716.974	739.698	-1.977.275	-1.102.708
8	-434.309	-2.893.577	787.779	-2.540.107	-1.303.214
9	0	-3.081.660	838.984	-2.242.675	-1.058.523
10	-4.717.502	-3.281.968	893.518	-7.105.951	-3.085.509
11	0	-3.495.296	951.597	-2.543.698	-1.016.110
12	0	-3.722.490	1.013.451	-2.709.039	-995.545
13	0	-3.964.452	1.079.325	-2.885.126	-975.396
14	0	-4.222.141	1.149.481	-3.072.660	-955.654
15	-8.038.110	-4.496.580	1.224.198	-11.310.493	-3.236.222
16	-718.779	-4.788.858	1.303.771	-4.203.866	-1.106.563
17	0	-5.100.134	1.388.516	-3.711.618	-898.796
18	0	-5.431.642	1.478.769	-3.952.873	-880.605
19	0	-5.784.699	1.574.889	-4.209.810	-862.782
20	-12.844.358	-6.160.704	1.677.257	-17.327.805	-3.267.027
21	0	-6.561.150	1.786.279	-4.774.872	-828.212
22	0	-6.987.625	1.902.387	-5.085.238	-811.449
23	0	-7.441.821	2.026.042	-5.415.779	-795.026
24	-1.189.576	-7.925.539	2.157.735	-6.957.380	-939.586
25	20.480.748	-8.440.699	2.297.987	14.338.037	1.781.357
				VPL em R\$	-42.466.206

Tabela 56: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-11.662.317	0	0	-11.662.317	-11.662.317
1	0	-1.865.931	506.941	-1.358.991	-1.250.222
2	0	-1.987.217	539.892	-1.447.325	-1.224.918
3	0	-2.116.386	574.985	-1.541.401	-1.200.127
4	0	-2.253.951	612.359	-1.641.592	-1.175.837
5	0	-2.400.458	652.162	-1.748.296	-1.152.039
6	0	-2.556.488	694.553	-1.861.935	-1.128.723
7	0	-2.722.659	739.698	-1.982.961	-1.105.878
8	-371.581	-2.899.632	787.779	-2.483.434	-1.274.138
9	0	-3.088.108	838.984	-2.249.124	-1.061.567
10	-4.628.784	-3.288.835	893.518	-7.024.101	-3.049.968
11	0	-3.502.610	951.597	-2.551.013	-1.019.032
12	0	-3.730.279	1.013.451	-2.716.828	-998.407
13	0	-3.972.748	1.079.325	-2.893.422	-978.200
14	0	-4.230.976	1.149.481	-3.081.495	-958.402
15	-6.274.287	-4.505.990	1.224.198	-9.556.079	-2.734.240
16	-614.965	-4.798.879	1.303.771	-4.110.073	-1.081.874
17	0	-5.110.806	1.388.516	-3.722.290	-901.380
18	0	-5.443.008	1.478.769	-3.964.239	-883.137
19	0	-5.796.804	1.574.889	-4.221.915	-865.263
20	-12.677.822	-6.173.596	1.677.257	-17.174.161	-3.238.058
21	0	-6.574.880	1.786.279	-4.788.601	-830.593
22	0	-7.002.247	1.902.387	-5.099.860	-813.782
23	0	-7.457.393	2.026.042	-5.431.351	-797.312
24	-1.017.764	-7.942.124	2.157.735	-6.802.154	-918.623
25	18.595.217	-8.458.362	2.297.987	12.434.842	1.544.905
				VPL em R\$	-40.759.133

Tabela 57: Fluxo de caixa para a alternativa DP-LAC-DL-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-11.662.317	0	0	-11.662.317	-11.662.317
1	0	-1.905.298	506.941	-1.398.358	-1.286.438
2	0	-2.029.143	539.892	-1.489.251	-1.260.401
3	0	-2.161.037	574.985	-1.586.052	-1.234.892
4	0	-2.301.505	612.359	-1.689.146	-1.209.899
5	0	-2.451.102	652.162	-1.798.940	-1.185.411
6	0	-2.610.424	694.553	-1.915.871	-1.161.419
7	0	-2.780.102	739.698	-2.040.403	-1.137.913
8	-371.581	-2.960.808	787.779	-2.544.610	-1.305.524
9	0	-3.153.261	838.984	-2.314.276	-1.092.319
10	-4.628.784	-3.358.223	893.518	-7.093.488	-3.080.097
11	0	-3.576.507	951.597	-2.624.910	-1.048.551
12	0	-3.808.980	1.013.451	-2.795.529	-1.027.329
13	0	-4.056.564	1.079.325	-2.977.238	-1.006.537
14	0	-4.320.240	1.149.481	-3.170.759	-986.165
15	-6.274.287	-4.601.056	1.224.198	-9.651.145	-2.761.440
16	-614.965	-4.900.125	1.303.771	-4.211.319	-1.108.525
17	0	-5.218.633	1.388.516	-3.830.117	-927.491
18	0	-5.557.844	1.478.769	-4.079.075	-908.720
19	0	-5.919.104	1.574.889	-4.344.215	-890.328
20	-12.677.822	-6.303.846	1.677.257	-17.304.410	-3.262.616
21	0	-6.713.595	1.786.279	-4.927.317	-854.653
22	0	-7.149.979	1.902.387	-5.247.592	-837.356
23	0	-7.614.728	2.026.042	-5.588.686	-820.409
24	-1.017.764	-8.109.685	2.157.735	-6.969.715	-941.252
25	18.595.217	-8.636.815	2.297.987	12.256.390	1.522.734
				VPL em R\$	-41.475.268

Tabela 58: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário base.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-6.882.322	0	0	-6.882.322	-6.882.322
1	0	-1.199.774	0	-1.199.774	-1.103.748
2	0	-1.277.759	0	-1.277.759	-1.081.409
3	0	-1.360.813	0	-1.360.813	-1.059.522
4	0	-1.449.266	0	-1.449.266	-1.038.078
5	0	-1.543.469	0	-1.543.469	-1.017.068
6	0	-1.643.794	0	-1.643.794	-996.484
7	0	-1.750.641	0	-1.750.641	-976.316
8	-366.108	-1.864.432	0	-2.230.540	-1.144.389
9	0	-1.985.620	0	-1.985.620	-937.196
10	-3.718.270	-2.114.686	0	-5.832.956	-2.532.755
11	0	-2.252.140	0	-2.252.140	-899.644
12	0	-2.398.530	0	-2.398.530	-881.436
13	0	-2.554.434	0	-2.554.434	-863.596
14	0	-2.720.472	0	-2.720.472	-846.117
15	0	-2.897.303	0	-2.897.303	-828.993
16	-605.906	-3.085.628	0	-3.691.534	-971.704
17	0	-3.286.193	0	-3.286.193	-795.776
18	0	-3.499.796	0	-3.499.796	-779.670
19	0	-3.727.283	0	-3.727.283	-763.890
20	-9.330.294	-3.969.556	0	-13.299.850	-2.507.586
21	0	-4.227.577	0	-4.227.577	-733.282
22	0	-4.502.370	0	-4.502.370	-718.441
23	0	-4.795.024	0	-4.795.024	-703.900
24	-1.002.772	-5.106.700	0	-6.109.473	-825.077
25	9.567.652	-5.438.636	0	4.129.016	512.989
				VPL em R\$	-31.375.410

Tabela 59: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-6.882.322	0	0	-6.882.322	-6.882.322
1	0	-1.202.345	0	-1.202.345	-1.106.114
2	0	-1.283.250	0	-1.283.250	-1.086.056
3	0	-1.369.608	0	-1.369.608	-1.066.369
4	0	-1.461.785	0	-1.461.785	-1.047.045
5	0	-1.560.176	0	-1.560.176	-1.028.078
6	0	-1.665.200	0	-1.665.200	-1.009.460
7	0	-1.777.304	0	-1.777.304	-991.185
8	-366.108	-1.896.967	0	-2.263.074	-1.161.081
9	0	-2.024.699	0	-2.024.699	-955.641
10	-3.718.270	-2.161.045	0	-5.879.315	-2.552.885
11	0	-2.306.587	0	-2.306.587	-921.393
12	0	-2.461.946	0	-2.461.946	-904.740
13	0	-2.627.785	0	-2.627.785	-888.394
14	0	-2.804.813	0	-2.804.813	-872.349
15	0	-2.993.785	0	-2.993.785	-856.599
16	-605.906	-3.195.509	0	-3.801.415	-1.000.628
17	0	-3.410.845	0	-3.410.845	-825.961
18	0	-3.640.715	0	-3.640.715	-811.064
19	0	-3.886.101	0	-3.886.101	-796.439
20	-9.330.294	-4.148.052	0	-13.478.346	-2.541.240
21	0	-4.427.687	0	-4.427.687	-767.992
22	0	-4.726.202	0	-4.726.202	-754.158
23	0	-5.044.875	0	-5.044.875	-740.578
24	-1.002.772	-5.385.068	0	-6.387.840	-862.671
25	9.567.652	-5.748.237	0	3.819.415	474.524
				VPL em R\$	-31.955.917

Tabela 60: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-6.882.322	0	0	-6.882.322	-6.882.322
1	0	-1.210.060	0	-1.210.060	-1.113.211
2	0	-1.299.888	0	-1.299.888	-1.100.137
3	0	-1.396.519	0	-1.396.519	-1.087.322
4	0	-1.500.479	0	-1.500.479	-1.074.760
5	0	-1.612.333	0	-1.612.333	-1.062.447
6	0	-1.732.695	0	-1.732.695	-1.050.376
7	0	-1.862.223	0	-1.862.223	-1.038.544
8	-366.108	-2.001.629	0	-2.367.736	-1.214.778
9	0	-2.151.681	0	-2.151.681	-1.015.575
10	-3.718.270	-2.313.207	0	-6.031.478	-2.618.956
11	0	-2.487.103	0	-2.487.103	-993.502
12	0	-2.674.333	0	-2.674.333	-982.791
13	0	-2.875.940	0	-2.875.940	-972.290
14	0	-3.093.048	0	-3.093.048	-961.996
15	0	-3.326.872	0	-3.326.872	-951.904
16	-605.906	-3.578.724	0	-4.184.630	-1.101.500
17	0	-3.850.018	0	-3.850.018	-932.310
18	0	-4.142.284	0	-4.142.284	-922.801
19	0	-4.457.173	0	-4.457.173	-913.478
20	-9.330.294	-4.796.469	0	-14.126.763	-2.663.494
21	0	-5.162.098	0	-5.162.098	-895.377
22	0	-5.556.141	0	-5.556.141	-886.591
23	0	-5.980.846	0	-5.980.846	-877.977
24	-1.002.772	-6.438.641	0	-7.441.414	-1.004.954
25	9.567.652	-6.932.151	0	2.635.500	327.435
				VPL em R\$	-33.991.959

Tabela 61: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-6.882.322	0	0	-6.882.322	-6.882.322
1	0	-1.200.997	0	-1.200.997	-1.104.873
2	0	-1.279.062	0	-1.279.062	-1.082.512
3	0	-1.362.201	0	-1.362.201	-1.060.603
4	0	-1.450.744	0	-1.450.744	-1.039.137
5	0	-1.545.043	0	-1.545.043	-1.018.106
6	0	-1.645.471	0	-1.645.471	-997.500
7	0	-1.752.426	0	-1.752.426	-977.311
8	-366.108	-1.866.334	0	-2.232.441	-1.145.364
9	0	-1.987.646	0	-1.987.646	-938.152
10	-3.718.270	-2.116.843	0	-5.835.113	-2.533.692
11	0	-2.254.437	0	-2.254.437	-900.561
12	0	-2.400.976	0	-2.400.976	-882.334
13	0	-2.557.039	0	-2.557.039	-864.477
14	0	-2.723.247	0	-2.723.247	-846.980
15	0	-2.900.258	0	-2.900.258	-829.838
16	-605.906	-3.088.774	0	-3.694.681	-972.533
17	0	-3.289.545	0	-3.289.545	-796.588
18	0	-3.503.365	0	-3.503.365	-780.465
19	0	-3.731.084	0	-3.731.084	-764.669
20	-9.330.294	-3.973.604	0	-13.303.898	-2.508.349
21	0	-4.231.889	0	-4.231.889	-734.030
22	0	-4.506.961	0	-4.506.961	-719.174
23	0	-4.799.914	0	-4.799.914	-704.618
24	-1.002.772	-5.111.908	0	-6.114.681	-825.781
25	9.567.652	-5.444.182	0	4.123.469	512.300
				VPL em R\$	-31.397.669

Tabela 62: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-6.882.322	0	0	-6.882.322	-6.882.322
1	0	-1.202.221	0	-1.202.221	-1.105.999
2	0	-1.280.365	0	-1.280.365	-1.083.615
3	0	-1.363.589	0	-1.363.589	-1.061.683
4	0	-1.452.222	0	-1.452.222	-1.040.196
5	0	-1.546.617	0	-1.546.617	-1.019.143
6	0	-1.647.147	0	-1.647.147	-998.516
7	0	-1.754.212	0	-1.754.212	-978.307
8	-366.108	-1.868.235	0	-2.234.343	-1.146.340
9	0	-1.989.671	0	-1.989.671	-939.107
10	-3.718.270	-2.118.999	0	-5.837.269	-2.534.628
11	0	-2.256.734	0	-2.256.734	-901.479
12	0	-2.403.422	0	-2.403.422	-883.233
13	0	-2.559.644	0	-2.559.644	-865.357
14	0	-2.726.021	0	-2.726.021	-847.843
15	0	-2.903.213	0	-2.903.213	-830.684
16	-605.906	-3.091.921	0	-3.697.828	-973.361
17	0	-3.292.896	0	-3.292.896	-797.399
18	0	-3.506.935	0	-3.506.935	-781.261
19	0	-3.734.885	0	-3.734.885	-765.448
20	-9.330.294	-3.977.653	0	-13.307.947	-2.509.113
21	0	-4.236.200	0	-4.236.200	-734.778
22	0	-4.511.553	0	-4.511.553	-719.907
23	0	-4.804.804	0	-4.804.804	-705.336
24	-1.002.772	-5.117.117	0	-6.119.889	-826.484
25	9.567.652	-5.449.729	0	4.117.923	511.611
				VPL em R\$	-31.419.928

Tabela 63: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário base.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.915.802	0	0	-8.915.802	-8.915.802
1	0	-1.371.775	506.793	-864.982	-795.752
2	0	-1.460.941	539.735	-921.206	-779.646
3	0	-1.555.902	574.818	-981.084	-763.867
4	0	-1.657.036	612.181	-1.044.855	-748.407
5	0	-1.764.743	651.973	-1.112.770	-733.260
6	0	-1.879.451	694.351	-1.185.100	-718.419
7	0	-2.001.616	739.484	-1.262.132	-703.879
8	-585.654	-2.131.721	787.550	-1.929.825	-990.106
9	0	-2.270.282	838.741	-1.431.541	-675.675
10	-4.156.937	-2.417.851	893.259	-5.681.529	-2.467.003
11	0	-2.575.011	951.321	-1.623.690	-648.602
12	0	-2.742.387	1.013.157	-1.729.230	-635.475
13	0	-2.920.642	1.079.012	-1.841.630	-622.613
14	0	-3.110.484	1.149.148	-1.961.336	-610.012
15	-3.942.837	-3.312.665	1.223.842	-6.031.659	-1.725.813
16	-969.255	-3.527.988	1.303.392	-3.193.851	-840.702
17	0	-3.757.308	1.388.113	-2.369.195	-573.718
18	0	-4.001.533	1.478.340	-2.523.192	-562.106
19	0	-4.261.632	1.574.432	-2.687.200	-550.730
20	-10.626.091	-4.538.638	1.676.770	-13.487.959	-2.543.053
21	0	-4.833.650	1.785.760	-3.047.889	-528.663
22	0	-5.147.837	1.901.835	-3.246.002	-517.963
23	0	-5.482.446	2.025.454	-3.456.992	-507.480
24	-1.604.113	-5.838.805	2.157.109	-5.285.810	-713.843
25	14.934.692	-6.218.328	2.297.321	11.013.685	1.368.340
				VPL em R\$	-28.504.246

Tabela 64: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 0,5% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.915.802	0	0	-8.915.802	-8.915.802
1	0	-1.374.398	509.327	-865.070	-795.833
2	0	-1.466.540	545.146	-921.394	-779.806
3	0	-1.564.869	583.483	-981.386	-764.102
4	0	-1.669.801	624.517	-1.045.284	-748.715
5	0	-1.781.780	668.436	-1.113.344	-733.638
6	0	-1.901.279	715.444	-1.185.835	-718.864
7	0	-2.028.804	765.757	-1.263.047	-704.389
8	-585.654	-2.164.896	819.609	-1.930.942	-990.679
9	0	-2.310.131	877.248	-1.432.883	-676.308
10	-4.156.937	-2.465.124	938.941	-5.683.120	-2.467.695
11	0	-2.630.531	1.004.972	-1.625.559	-649.348
12	0	-2.807.053	1.075.646	-1.731.407	-636.275
13	0	-2.995.439	1.151.291	-1.844.148	-623.464
14	0	-3.196.487	1.232.256	-1.964.231	-610.912
15	-3.942.837	-3.411.049	1.318.914	-6.034.972	-1.726.760
16	-969.255	-3.640.035	1.411.667	-3.197.624	-841.695
17	0	-3.884.416	1.510.942	-2.373.474	-574.754
18	0	-4.145.229	1.617.199	-2.528.030	-563.184
19	0	-4.423.581	1.730.929	-2.692.652	-551.847
20	-10.626.091	-4.720.652	1.852.656	-13.494.087	-2.544.208
21	0	-5.037.703	1.982.944	-3.054.759	-529.854
22	0	-5.376.081	2.122.395	-3.253.686	-519.189
23	0	-5.737.222	2.271.652	-3.465.570	-508.739
24	-1.604.113	-6.122.659	2.431.406	-5.295.366	-715.133
25	14.934.692	-6.534.030	2.602.395	11.003.056	1.367.020
				VPL em R\$	-28.524.175

Tabela 65: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento real da tarifa de energia elétrica em 2,0% a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.915.802	0	0	-8.915.802	-8.915.802
1	0	-1.382.264	516.929	-865.335	-796.076
2	0	-1.483.506	561.540	-921.965	-780.289
3	0	-1.592.311	610.001	-982.310	-764.821
4	0	-1.709.257	662.644	-1.046.613	-749.666
5	0	-1.834.965	719.831	-1.115.134	-734.817
6	0	-1.970.104	781.952	-1.188.152	-720.269
7	0	-2.115.397	849.434	-1.265.962	-706.015
8	-585.654	-2.271.621	922.741	-1.934.535	-992.522
9	0	-2.439.615	1.002.373	-1.437.242	-678.366
10	-4.156.937	-2.620.285	1.088.878	-5.688.344	-2.469.963
11	0	-2.814.604	1.182.848	-1.631.756	-651.824
12	0	-3.023.626	1.284.928	-1.738.698	-638.954
13	0	-3.248.484	1.395.817	-1.852.667	-626.345
14	0	-3.490.402	1.516.276	-1.974.126	-613.990
15	-3.942.837	-3.750.700	1.647.131	-6.046.406	-1.730.032
16	-969.255	-4.030.802	1.789.278	-3.210.779	-845.158
17	0	-4.332.244	1.943.693	-2.388.551	-578.405
18	0	-4.656.683	2.111.434	-2.545.249	-567.020
19	0	-5.005.907	2.293.650	-2.712.257	-555.865
20	-10.626.091	-5.381.848	2.491.592	-13.516.347	-2.548.405
21	0	-5.786.588	2.706.617	-3.079.971	-534.228
22	0	-6.222.376	2.940.198	-3.282.178	-523.736
23	0	-6.691.638	3.193.937	-3.497.701	-513.456
24	-1.604.113	-7.196.996	3.469.574	-5.331.535	-720.018
25	14.934.692	-7.741.277	3.768.998	10.962.413	1.361.970
				VPL em R\$	-28.594.072

Tabela 66: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,00 por EUR a.a.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.177.395	0	0	-9.177.395	-9.177.395
1	0	-1.390.140	506.793	-883.346	-812.646
2	0	-1.480.499	539.735	-940.764	-796.199
3	0	-1.576.731	574.818	-1.001.913	-780.084
4	0	-1.679.219	612.181	-1.067.038	-764.296
5	0	-1.788.368	651.973	-1.136.395	-748.827
6	0	-1.904.612	694.351	-1.210.261	-733.672
7	0	-2.028.412	739.484	-1.288.928	-718.823
8	-617.018	-2.160.258	787.550	-1.989.726	-1.020.838
9	0	-2.300.675	838.741	-1.461.934	-690.020
10	-4.201.296	-2.450.219	893.259	-5.758.256	-2.500.320
11	0	-2.609.483	951.321	-1.658.162	-662.372
12	0	-2.779.100	1.013.157	-1.765.943	-648.966
13	0	-2.959.741	1.079.012	-1.880.729	-635.832
14	0	-3.152.125	1.149.148	-2.002.977	-622.963
15	-4.506.099	-3.357.013	1.223.842	-6.639.269	-1.899.665
16	-1.021.162	-3.575.218	1.303.392	-3.292.988	-866.797
17	0	-3.807.608	1.388.113	-2.419.495	-585.899
18	0	-4.055.102	1.478.340	-2.576.762	-574.040
19	0	-4.318.684	1.574.432	-2.744.252	-562.422
20	-10.709.359	-4.599.398	1.676.770	-13.631.987	-2.570.208
21	0	-4.898.359	1.785.760	-3.112.599	-539.887
22	0	-5.216.752	1.901.835	-3.314.918	-528.960
23	0	-5.555.841	2.025.454	-3.530.387	-518.254
24	-1.690.019	-5.916.971	2.157.109	-5.449.882	-736.000
25	15.591.695	-6.301.574	2.297.321	11.587.441	1.439.624
				VPL em R\$	-29.255.764

Tabela 67: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de taxa cambial de R\$ 4,50 por EUR.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-9.438.989	0	0	-9.438.989	-9.438.989
1	0	-1.408.504	506.793	-901.711	-829.541
2	0	-1.500.057	539.735	-960.322	-812.751
3	0	-1.597.561	574.818	-1.022.743	-796.302
4	0	-1.701.402	612.181	-1.089.221	-780.185
5	0	-1.811.993	651.973	-1.160.020	-764.395
6	0	-1.929.773	694.351	-1.235.422	-748.924
7	0	-2.055.208	739.484	-1.315.724	-733.767
8	-648.382	-2.188.796	787.550	-2.049.628	-1.051.571
9	0	-2.331.068	838.741	-1.492.327	-704.366
10	-4.245.655	-2.482.588	893.259	-5.834.984	-2.533.636
11	0	-2.643.956	951.321	-1.692.635	-676.143
12	0	-2.815.813	1.013.157	-1.802.656	-662.458
13	0	-2.998.841	1.079.012	-1.919.829	-649.050
14	0	-3.193.765	1.149.148	-2.044.618	-635.914
15	-5.069.361	-3.401.360	1.223.842	-7.246.879	-2.073.518
16	-1.073.069	-3.622.449	1.303.392	-3.392.126	-892.893
17	0	-3.857.908	1.388.113	-2.469.795	-598.079
18	0	-4.108.672	1.478.340	-2.630.332	-585.975
19	0	-4.375.735	1.574.432	-2.801.303	-574.115
20	-10.792.628	-4.660.158	1.676.770	-13.776.015	-2.597.364
21	0	-4.963.068	1.785.760	-3.177.308	-551.111
22	0	-5.285.668	1.901.835	-3.383.833	-539.957
23	0	-5.629.236	2.025.454	-3.603.782	-529.028
24	-1.775.925	-5.995.137	2.157.109	-5.613.953	-758.158
25	16.248.698	-6.384.821	2.297.321	12.161.198	1.510.907
				VPL em R\$	-30.007.282

Tabela 68: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 25%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.915.802	0	0	-8.915.802	-8.915.802
1	0	-1.413.465	506.793	-906.672	-834.105
2	0	-1.505.341	539.735	-965.606	-817.223
3	0	-1.603.188	574.818	-1.028.370	-800.683
4	0	-1.707.395	612.181	-1.095.214	-784.478
5	0	-1.818.376	651.973	-1.166.403	-768.601
6	0	-1.936.570	694.351	-1.242.219	-753.045
7	0	-2.062.447	739.484	-1.322.963	-737.804
8	-585.654	-2.196.506	787.550	-1.994.610	-1.023.344
9	0	-2.339.279	838.741	-1.500.538	-708.241
10	-4.156.937	-2.491.332	893.259	-5.755.010	-2.498.910
11	0	-2.653.269	951.321	-1.701.948	-679.863
12	0	-2.825.732	1.013.157	-1.812.575	-666.103
13	0	-3.009.404	1.079.012	-1.930.392	-652.622
14	0	-3.205.015	1.149.148	-2.055.867	-639.413
15	-3.942.837	-3.413.341	1.223.842	-6.132.336	-1.754.619
16	-969.255	-3.635.209	1.303.392	-3.301.072	-868.925
17	0	-3.871.497	1.388.113	-2.483.384	-601.370
18	0	-4.123.144	1.478.340	-2.644.804	-589.199
19	0	-4.391.149	1.574.432	-2.816.717	-577.274
20	-10.626.091	-4.676.573	1.676.770	-13.625.895	-2.569.059
21	0	-4.980.551	1.785.760	-3.194.790	-554.143
22	0	-5.304.287	1.901.835	-3.402.452	-542.928
23	0	-5.649.065	2.025.454	-3.623.611	-531.939
24	-1.604.113	-6.016.254	2.157.109	-5.463.259	-737.807
25	14.934.692	-6.407.311	2.297.321	10.824.702	1.344.861
				VPL em R\$	-29.262.639

Tabela 69: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de custo de manutenção em 50%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.915.802	0	0	-8.915.802	-8.915.802
1	0	-1.455.156	506.793	-948.362	-872.458
2	0	-1.549.741	539.735	-1.010.006	-854.800
3	0	-1.650.474	574.818	-1.075.656	-837.500
4	0	-1.757.755	612.181	-1.145.574	-820.550
5	0	-1.872.009	651.973	-1.220.036	-803.942
6	0	-1.993.689	694.351	-1.299.338	-787.671
7	0	-2.123.279	739.484	-1.383.795	-771.729
8	-585.654	-2.261.292	787.550	-2.059.396	-1.056.583
9	0	-2.408.276	838.741	-1.569.535	-740.807
10	-4.156.937	-2.564.814	893.259	-5.828.492	-2.530.817
11	0	-2.731.527	951.321	-1.780.206	-711.124
12	0	-2.909.076	1.013.157	-1.895.919	-696.731
13	0	-3.098.166	1.079.012	-2.019.154	-682.630
14	0	-3.299.547	1.149.148	-2.150.399	-668.814
15	-3.942.837	-3.514.018	1.223.842	-6.233.012	-1.783.425
16	-969.255	-3.742.429	1.303.392	-3.408.292	-897.148
17	0	-3.985.687	1.388.113	-2.597.574	-629.022
18	0	-4.244.756	1.478.340	-2.766.416	-616.291
19	0	-4.520.665	1.574.432	-2.946.233	-603.818
20	-10.626.091	-4.814.509	1.676.770	-13.763.830	-2.595.066
21	0	-5.127.452	1.785.760	-3.341.691	-579.623
22	0	-5.460.736	1.901.835	-3.558.901	-567.892
23	0	-5.815.684	2.025.454	-3.790.230	-556.399
24	-1.604.113	-6.193.703	2.157.109	-5.640.708	-761.771
25	14.934.692	-6.596.294	2.297.321	10.635.719	1.321.382
				VPL em R\$	-30.021.032

Tabela 70: Fluxo de caixa para a alternativa UASB-LAC-GAS no cenário de aumento de perda de biogás para 40%.

ANO	CAPEX EM R\$	OPEX EM R\$	RECEITAS EM R\$	TOTAL EM R\$	TOTAL DESCONTADO EM R\$
0	-8.799.765	0	0	-8.799.765	-8.799.765
1	0	-1.345.640	434.394	-911.245	-838.312
2	0	-1.433.106	462.630	-970.476	-821.345
3	0	-1.526.258	492.701	-1.033.557	-804.722
4	0	-1.625.465	524.727	-1.100.738	-788.435
5	0	-1.731.120	558.834	-1.172.286	-772.478
6	0	-1.843.643	595.158	-1.248.485	-756.843
7	0	-1.963.480	633.843	-1.329.637	-741.526
8	-585.654	-2.091.106	675.043	-2.001.717	-1.026.990
9	0	-2.227.028	718.921	-1.508.107	-711.814
10	-4.142.534	-2.371.785	765.651	-5.748.668	-2.496.157
11	0	-2.525.951	815.418	-1.710.533	-683.292
12	0	-2.690.138	868.420	-1.821.717	-669.463
13	0	-2.864.996	924.868	-1.940.129	-655.913
14	0	-3.051.221	984.984	-2.066.237	-642.638
15	-3.664.141	-3.249.551	1.049.008	-5.864.684	-1.678.037
16	-969.255	-3.460.771	1.117.193	-3.312.833	-872.021
17	0	-3.685.722	1.189.811	-2.495.911	-604.403
18	0	-3.925.293	1.267.149	-2.658.145	-592.171
19	0	-4.180.438	1.349.513	-2.830.924	-580.186
20	-10.599.056	-4.452.166	1.437.232	-13.613.990	-2.566.815
21	0	-4.741.557	1.530.652	-3.210.905	-556.938
22	0	-5.049.758	1.630.144	-3.419.614	-545.666
23	0	-5.377.992	1.736.103	-3.641.889	-534.622
24	-1.604.113	-5.727.562	1.848.950	-5.482.725	-740.436
25	14.662.431	-6.099.853	1.969.132	10.531.710	1.308.460
				VPL em R\$	-29.172.528



Por meio da:



MINISTÉRIO DAS
CIDADES

