

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



JOÃO PEDRO BENINE BECHARA

**ANÁLISE DE PROJETOS: MIGRAÇÃO PARA O MERCADO LIVRE
DE ENERGIA OU GERAÇÃO PRÓPRIA POR BIOGÁS**

VITÓRIA/ES
2017

JOÃO PEDRO BENINE BECHARA

**ANÁLISE DE PROJETOS: MIGRAÇÃO PARA O MERCADO LIVRE
DE ENERGIA OU GERAÇÃO PRÓPRIA POR BIOGÁS**

Projeto de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Dra. Jussara Farias Fardin

VITÓRIA/ES
2017

“Existe o risco que você não pode jamais correr,
e existe o risco que você não pode deixar de correr.”

Peter Drucker

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Rubens e Fátima, pela motivação e incentivo durante os anos de esforço despendido para conclusão desta etapa.

A Deus por permitir a realização deste sonho, além de me dar saúde e forças para vencer os desafios.

Aos meus colegas, professores e funcionários da Universidade pela orientação e apoio durante os incontáveis dias de estudo.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação e da elaboração deste trabalho.

RESUMO

ANÁLISE DE PROJETOS: MIGRAÇÃO PARA O MERCADO LIVRE DE ENERGIA OU GERAÇÃO PRÓPRIA POR BIOGÁS

Desde o início da revolução industrial, quando a eletricidade se torna a principal fonte de energia das máquinas, a gestão do custo deste insumo se torna indispensável para as empresas se manterem competitivas no mercado. A alta nos preços da energia elétrica proveniente da escassez hídrica, em um país dependente da energia gerada por hidrelétricas, motiva os consumidores a buscar novas alternativas de mercado, sendo proposto, se tornar um gerador autossuficiente ou migrar para o ambiente de contratação livre. Esta escolha só é possível graças a reforma do setor elétrico, ocorrida em 2004, dando mais liberdade para o consumidor. Porém, antes de se tornarem consumidores livres ou produtores de energia é necessária uma análise de custo benefício dos vários aspectos que influenciam esta migração. Uma das formas de realizar tal análise é comparar as variáveis envolvidas na opção pelos dois cenários propostos. Foram adotados cinco critérios para estabelecer qual opção é mais vantajosa. No primeiro é calculado os custos de se manter como consumidor cativo do mercado regulado, de migrar para o mercado livre e de se tornar autossuficiente. No segundo é levantado os prós e contras de cada opção no âmbito ambiental. No terceiro é exposto o tempo de vida útil de cada sistema proposto. No quarto, as questões referentes à confiabilidade de cada sistema são comparadas. No quinto, os riscos à segurança são abordados para cada cenário proposto. Por fim, chega-se à conclusão de qual opção melhor se enquadra no perfil de consumidor que está sendo avaliado.

Palavras-chave: Mercado livre de energia, geração de energia por biogás, biodigestor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo de contratação de energia no ACR.....	15
Figura 2 – Fluxo de contratação de energia no ACL.....	16
Figura 3 – Fluxograma de geração por biomassa.	22
Figura 4 – Modelos de biodigestores.....	25
Figura 5 – Biodigestor do tipo lagoa coberta.....	25
Figura 6 – Esquema de biodigestor tipo lagoa coberta.....	26
Figura 7 – Fluxo organizacional de funcionamento do restaurante.....	31
Figura 8 – Motogerador a gás.....	39
Figura 9 – Composição dos juros para financiamento no BNDES	41
Figura 10 – Matriz de classificação de risco	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Evolução da tarifa de energia elétrica, valores em R\$/MWh.....	10
Gráfico 2 – Preço do megawatt-hora no mercado livre.....	12
Gráfico 3 – Evolução da participação dos tipos de comercializadores no mercado livre	17
Gráfico 4 – Estimativas do PLD para 2016 para as regiões sudeste e centro-oeste	20
Gráfico 5 – Capacidade de geração por Biogás.....	23
Gráfico 6 – Potencial desperdiçado de geração de energia por biogás no Brasil	24
Gráfico 7 – Perfil de demanda anual para consumidor sazonal e <i>flat</i>	30
Gráfico 8 – Curva típica de demanda diária para o consumidor considerado.....	31
Gráfico 9 – Estimativas do PLD para 2016 para as regiões sudeste e centro-oeste	43
Gráfico 10 – Valores do PLD de 2016	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preço de energia elétrica no Brasil por fonte de energia.	11
Tabela 2 – Requisitos para migração para ACL	14
Tabela 3 – Classes de consumidor	15
Tabela 4 – Composição do biogás	23
Tabela 5 – Tarifas de energia para consumidor da classe A4.....	32
Tabela 6 – Custos com energia elétrica no ACR no período de um ano para o perfil <i>flat</i>	34
Tabela 7 – Custos com energia elétrica no ACR no período de um ano para o perfil sazonal	35
Tabela 8 – Produção máxima específica de biogás	37
Tabela 9 – Potencial produtivo do biodigestor	37
Tabela 10 – Dimensões do biodigestor.....	38
Tabela 11 – Requisitos mínimos para acesso à rede de distribuição	40
Tabela 12 – Custo para implantação do biodigestor.....	40
Tabela 13 – Tarifas utilizadas no cálculo do custo da geração.....	41
Tabela 14 – Custos anuais com manutenção, operação e serviço de terceiros.....	42
Tabela 15 – Ganho anual com mercado de créditos de carbono	42
Tabela 16 – Fluxo financeiro anual do projeto	43
Tabela 17 – Tarifas de energia para consumidor livre da classe A4.	44
Tabela 18 – Custos com energia elétrica no ACL no período de um ano para o perfil <i>flat</i> ...	45
Tabela 19 – Custos com energia elétrica no ACL no período de um ano para o perfil sazonal	46
Tabela 20 – Comparação de custo dos projetos.....	48
Tabela 21 – Características de severidade dos perigos identificados	50
Tabela 22 – Análise Geral dos cenários propostos.....	53

LISTA DE SIGLAS

ABiogás – Associação Brasileira de Biogás e Biometano
ACL – Ambiente de Contratação Livre
ACR – Ambiente de Contratação Regulado
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BIG – Banco de Informação de Geração
CCD – Contrato de Conexão ao sistema de Distribuição
CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CCT – Contrato de Conexão ao sistema de Transmissão
CCVE – Contrato de Compra e Venda de Energia
CMO – Custo Marginal de Operação
CUSD – Contrato de Uso do Sistema de Distribuição
CUST – Contrato de Uso do Sistema de Transmissão
EDP – Energias de Portugal
EOL – Usina Eólica
EPE – Empresa de Pesquisa Energética
ESS – Encargos de Serviço do Sistema
IGU – *International Gas Union*
ONS – Operador Nacional do Sistema
PCH – Pequena Central Hidrelétrica
PLD – Preço Líquido das Diferenças
PNE – Plano Nacional de Energia
PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
ST – Sólidos Totais
SVT – Sólidos Voláteis Totais
TE – Tarifa de Energia
TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UFV – Usina Fotovoltaica
UTE – Usina Térmica
VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	SETOR ELÉTRICO: ACR E ACL	13
2.1	Custo com energia elétrica no ACR	18
2.2	Custo com energia elétrica no ACL	19
3	GERAÇÃO PRÓPRIA	22
4	CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMIDOR E DOS CUSTOS	30
4.1	Custo com energia no ambiente regulado	32
4.1.1	Consumidor <i>flat</i>	33
4.1.2	Consumidor sazonal.....	34
5	CENÁRIOS: GERAÇÃO PRÓPRIA E MIGRAÇÃO PARA O ACL	36
5.1	Projeto de geração própria.....	36
5.2	Projeto de migração	43
5.2.1	Consumidor <i>flat</i>	45
5.2.2	Consumidor sazonal.....	45
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA TOMADA DE DECISÃO	48
6.1	Análise financeira	48
6.2	Análise ambiental	48
6.3	Análise vida útil.....	49
6.4	Análise de confiabilidade	49
6.5	Análise de segurança	50
6.6	Análise geral dos resultados	51
7	CONCLUSÃO	54
7.1	Trabalhos futuros.....	55
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

Em um cenário em que o preço da energia elétrica atinge valores que elevam os custos de produção, aumentando o preço do produto final ou até mesmo inviabilizando a comercialização do mesmo, é necessária uma alternativa à contratação no mercado convencional cativo, onde a energia é mais cara.

Pode-se ver no Gráfico 1 que após uma queda acumulada de 16% em 2013, devido à renovação das concessões da Eletrobrás, o preço da tarifa de energia veio aumentando significativamente ao longo de 2014 (19% devido ao uso contínuo das termelétricas) e 2015 (40% devido à adoção das bandeiras tarifárias extraordinárias), culminando em uma alta de 59,3% de 2013 a 2016 (DIEESE, 2015; FIRJAN, 2016).

Gráfico 1 – Evolução da tarifa de energia elétrica, valores em R\$/MWh.



Fonte: Sistema Firjan, 2016.

O alto gasto com energia é um problema frequente em empresas com uma demanda contratada próxima de 3 MW e com gasto em energia de aproximadamente 15% do preço do produto (MEDEIROS, 2016), como *shoppings*, supermercados, pequenas indústrias e restaurantes que notaram no preço da energia uma barreira para o crescimento do seu empreendimento.

Neste contexto serão analisados dois cenários para redução do gasto com energia. O primeiro é a migração do consumidor do Ambiente de Contratação Regulado (ACR) para o Ambiente de

Contratação Livre (ACL), onde a tarifa de energia tende a ser mais barata. O segundo é transformar o consumidor em um produtor de energia utilizando resíduos do processo produtivo como biomassa para gerar energia através da biodigestão.

Este trabalho é referenciado para o ano de 2016 e utiliza como base as curvas de demanda mais frequentes dos consumidores na faixa de 3 MW (demanda mínima contratada para se tornar um consumidor livre conforme norma da ANEEL), a partir daí, obtém-se o custo para cada curva de demanda anual no ACL, no ACR e com geração própria de energia. Também serão analisados sob os aspectos, financeiro, ambiental, vida útil, confiabilidade e segurança, os benefícios e malefícios de se contratar energia do mercado de contratação livre ou em se utilizar biomassa, proveniente de resíduos alimentícios, para gerar a própria energia. No caso da utilização de resíduos, o aumento do consumo de energia, ligado diretamente ao crescimento econômico, deixa de ser associado ao impacto ambiental e passa a ser relacionado à reciclagem de resíduos, que seriam descartados.

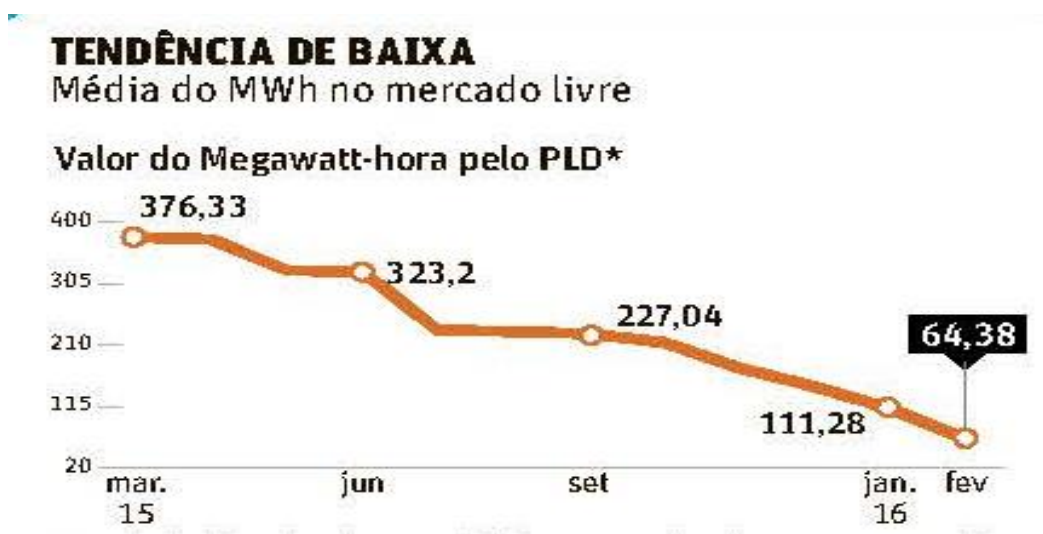
A biomassa será utilizada como fonte primária de energia, pois ela apresenta um custo de produção menor, como mostrado na Tabela 1, representado na sua maior parte pela construção de um biodigestor e a aquisição de geradores a gás. No processo de migração não é necessária a aquisição de equipamentos, mas a dependência da energia da rede continua, porém, o preço da energia no mercado livre é menor que no mercado cativo, como apresenta o Gráfico 2.

Tabela 1 – Preço de energia elétrica no Brasil por fonte de energia.

Fonte de Energia	Preço (R\$/MWh)
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	183,43
Usina Eólica (EOL)	203,30
Usina Fotovoltaica (UFV)	297,37
Usina Térmica - Biogás (UTE)	251,00
Usina Térmica - Biomassa (UTE)	214,85
Usina Térmica - Gás Natural (UTE)	258,00

Fonte: Leilão de Energia ANEEL, 2016.

Gráfico 2 – Preço do megawatt-hora no mercado livre.



Fonte: Folha de São Paulo, 2016.

2 SETOR ELÉTRICO: ACR E ACL

Desde o fim da revolução industrial o “combustível” que impulsiona o maquinário das fábricas passou a ser a eletricidade. O cenário atual mostra o setor industrial muito dependente deste insumo, e com o agravamento da crise hídrica e consequentemente o aumento do custo da energia elétrica, essa questão passa a ser tratada com maior prioridade.

A energia que chega hoje nas tomadas e equipamentos das residências, comércios e indústrias de todo o país passa por um longo caminho desde sua fonte (hidrelétricas, termelétricas, usinas solares e eólicas), viajando através de longas linhas de transmissão até ser distribuída aos consumidores finais.

A origem do sistema elétrico brasileiro coincide com o começo da industrialização no país e remonta aos anos 1930, quando as primeiras hidrelétricas começaram a operar e produzir energia, assim foram construídas as primeiras linhas de transmissão para ligar a geração ao consumo dando início ao sistema elétrico brasileiro.

Posteriormente à Segunda Guerra Mundial, em decorrência do processo de urbanização (Êxodo Rural) a demanda começou a ultrapassar a oferta, iniciando um processo de racionamento nas principais capitais brasileiras. Tais fatores passaram a impor um ritmo de crescimento na demanda que rompia seus parâmetros históricos, forçando a realização de mais investimentos em novas usinas hidrelétricas (VEIGA & FONSECA, 2002).

Em 1990, o presidente Fernando Collor de Mello iniciou a abertura do mercado brasileiro e sancionou a Lei nº 8.031 criando o Programa Nacional de Desestatização, o que gerou a migração das empresas de energia do controle estatal para o controle privado (ELETROBRÁS, 2012).

Com as privatizações em um estágio mais avançado o governo criou a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com o objetivo de analisar as novas concessões, licitações e fiscalizar serviços prestados à população pelas empresas recém privatizadas (ALBUQUERQUE, 2008).

O Mercado Atacadista de Energia Elétrica foi regulamentado, em 1998, separando o sistema elétrico nacional em quatro áreas de atividades distintas: geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) foi criado com o intuito de analisar e atuar na operação e manutenção do sistema e garantir a oferta de energia para a demanda nacional (ELETROBRÁS, 2012).

No ano de 2004 foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e instituídas as normas para regularização do mercado de energia no Brasil, manifestada pela sanção das Leis nº 10.847 e 10.848. A EPE é a responsável pelo estudo e desenvolvimento do Plano Nacional para a energia no país, onde é indicado o futuro do setor elétrico brasileiro (ELETROBRÁS, 2012).

O mercado de energia foi dividido em dois ambientes de contratação: o livre (ACL) e o regulado (ACR). No ACR os contratos de compra de energia são regulados e se dão entre a distribuidora e o consumidor, já no ACL, onde se encontram os consumidores de maior porte, os contratos são negociados livremente entre os agentes vendedores e os consumidores. Posteriormente, foi criada a condição de consumidor especial que estabelece contrato de compra no ambiente livre, porém com algumas limitações, a Tabela 2 exemplifica como ocorre essa divisão (AGUIAR, 2008). Assim, ficou a cargo dos consumidores potencialmente livres, com demanda contratada maior que 3000 kW, escolher entre o ambiente regulado (cativo) ou o ambiente livre.

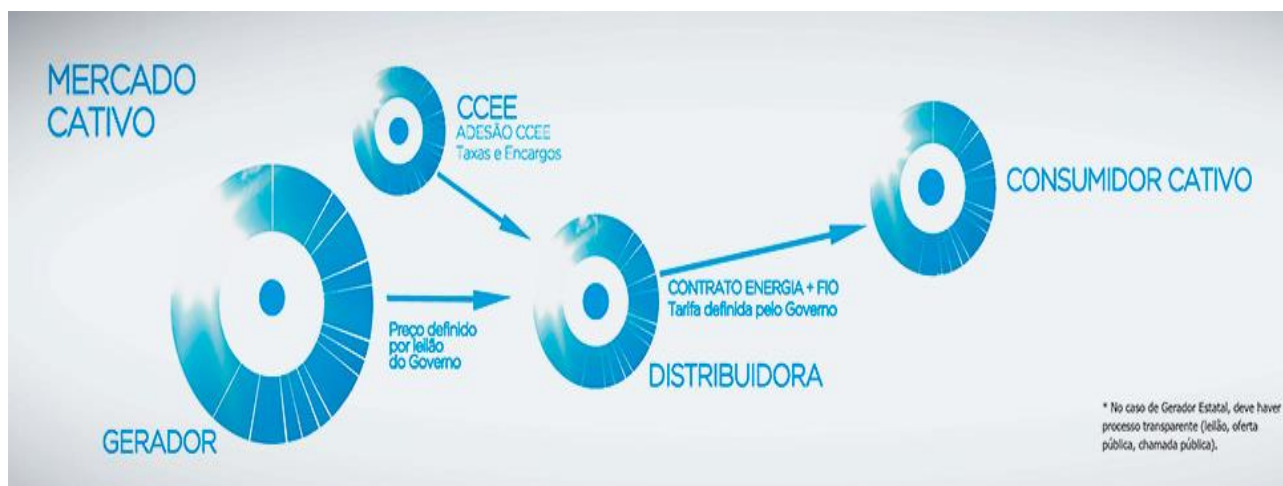
Tabela 2 – Requisitos para migração para ACL

Demanda (kW)	Data de conexão	Tensão (kV)	Classificação
Inferior a 500	-	-	Cativo (não pode migrar para o ACL)
de 500 a 2.999	-	-	Potencialmente Livre Especial
Superior a 3.000	Antes de Jul/95	Inferior a 69	Potencialmente Livre Especial
		a partir de 69	Potencialmente Livre
	Após Jul/95	-	Potencialmente Livre

Fonte: Votorantin energia, 2011.

No mercado cativo os consumidores são atendidos pelas concessionárias de distribuição, como ilustrado na Figura 1, onde não há opção de negociação do contrato e as tarifas são reguladas pelo governo, limitando ao consumidor a escolha da classe tarifária que melhor atenda o seu perfil, a Tabela 3 ilustra a divisão das classes tarifárias em vigor.

Figura 1 – Fluxo de contratação de energia no ACR



Fonte: Engine energia, 2016.

Tabela 3 – Classes de consumidor

A3a (30 a 44 kV)
A4 (2,3 a 25 kV)
AS (Subterrâneo)
B1 - Residencial
B1 - Residencial Baixa Renda:
Consumo Mensal até 30 kWh
Consumo Mensal de 31 a 100 kWh
Consumo Mensal de 101 a 160 kWh
B2 – Rural
B2 - Cooperativa de Eletrificação Rural
B2 - Serviço Público de Irrigação
B3 - Demais Classes
B4 - Iluminação Pública:
B4a - Rede de Distribuição
B4b - Bulbo da Lâmpada

Fonte: Adaptado da ANEEL, 2001.

No mercado livre os contratos de compra de energia, que possuem uma maior flexibilidade comparado ao regulado, são firmados com agentes vendedores, os quais ajudam na gestão dos

riscos da oscilação do mercado e são a interface entre o consumidor potencialmente livre e os produtores (hidrelétricas, termelétricas, usinas solares etc.). Uma vez no ACL, o consumidor tem a liberdade de acesso ao sistema de transmissão, distribuição e de escolha do fornecedor de energia, além do preço da tarifa ser geralmente menor que no mercado regulado, a Figura 2 exemplifica esse fluxo de contratação. O contrato é negociado para um período determinado levando em conta o histórico e o atual cenário de produção energética (AGUIAR, 2008).

Figura 2 – Fluxo de contratação de energia no ACL



Fonte: Engie energia, 2016.

Essas vantagens promoveram um grande fluxo inicial para o ambiente de contratação livre, como é possível observar no Gráfico 3, porém a burocracia necessária para a regularização do contrato no ambiente livre proporcionou uma queda nesse fluxo.

De acordo com Aguiar (2008), os principais instrumentos contratuais necessários para essa regularização são:

- Contrato de Compra e Venda de Energia (CCVE): a ser estabelecido livremente com um fornecedor de energia (gerador ou comercializador);
- Contrato de Conexão com o sistema de Transmissão (CCT) e Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST): a ser firmado com o Operador Nacional do Sistema (ONS) caso o consumidor seja conectado à rede básica.

- Contrato de Conexão com o sistema de Distribuição (CCD) e Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD): a ser firmado com a distribuidora local, caso o consumidor seja conectado na rede de distribuição.

Gráfico 3 – Evolução da participação dos tipos de comercializadores no mercado livre



Fonte: CCEE, 2015

Com o estabelecimento do CCVE o consumidor é considerado um agente da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), o que implica em gastos adicionais como: adequação da medição aos padrões exigidos pela CCEE, pagamento da perda na transmissão da energia consumida e custo com encargos de serviço.

No ambiente livre, o consumidor deve avaliar sua demanda futura, pois a necessidade de energia acima do contratado leva em conta o preço definido pelo mercado naquele momento, representado pelo Preço Líquido da Diferença (PLD). Assim é necessário analisar com cuidado o tempo de contrato, contratos curtos podem ser mais atrativos em momentos de altas no preço da energia e contratos longos em momentos de baixa.

2.1 Custo com energia elétrica no ACR

Para o estudo realizado neste trabalho o custo com energia no ambiente regulado será calculado utilizando a Equação 3, disponível no Manual de Tarificação de Energia Elétrica da ELETROBRÁS (2011).

Considere o consumidor potencialmente livre no ambiente regulado, enquadrado na classe A4 e na modalidade de tarifação Verde, onde não há cobrança diferenciada para demanda na ponta e fora-ponta:

a) Estimativa do consumo no horário de fora ponta

$$C_{Fora-Ponta} = \left(\left(\sum_{i=22}^{18} P_{Dmês}(i) \right) \times D_{Mês} \times 26 \right) + (P_{Domingo} \times 21 \times D_{Mês} \times 4) \quad (1)$$

Onde,

$C_{fora-ponta}$	Consumo no horário de fora ponta (kWh)
$P_{Dmês}(i)$	Percentual requerido da média das demandas maxims do mês em função da hora do dia (decimal)
$D_{Mês}$	Média das demandas maxims do mês (kW)
$P_{Domingo}$	Percentual requerido da média das demandas maxims do mês para o domingo (decimal)

b) Estimativa do consumo no horário de ponta

$$C_{Ponta} = \left(\left(\sum_{i=19}^{21} P_{Dmês}(i) \right) \times D_{Mês} \times 26 \right) + (P_{Domingo} \times 3 \times D_{Mês} \times 4) \quad (2)$$

Onde,

C_{ponta}	Consumo no horário de ponta (kWh)
-------------	-----------------------------------

c) Estimativa do custo com energia no ambiente regulado

$$G_{regulado} = C_{ponta} \times (TUSD_{ponta} + TE_{ponta}) + C_{fora-ponta} \times (TUSD_{fora-ponta} + TE_{fora-ponta}) + D_{contratada} \times TUSD_{demanda} \quad (3)$$

Onde,

$G_{regulado}$	Gasto com energia no ACR (R\$)
C_{ponta}	Consumo no horário de ponta (kWh)
$TUSD_{ponta}$	Tarifa de uso do sistema de distribuição do horário de ponta (R\$/kWh)
TE_{ponta}	Tarifa de energia do horário de ponta (R\$/kWh)
$C_{fora-ponta}$	Consumo no horário de fora ponta (kWh)
$TUSD_{fora-ponta}$	Tarifa de uso do sistema de distribuição do horário de fora ponta (R\$/kWh)
$TE_{fora-ponta}$	Tarifa de energia do horário de fora ponta (R\$/kWh)
$D_{contratada}$	Demanda contratada (kW)
$TUSD_{demanda}$	Tarifa de demanda (R\$/kW)

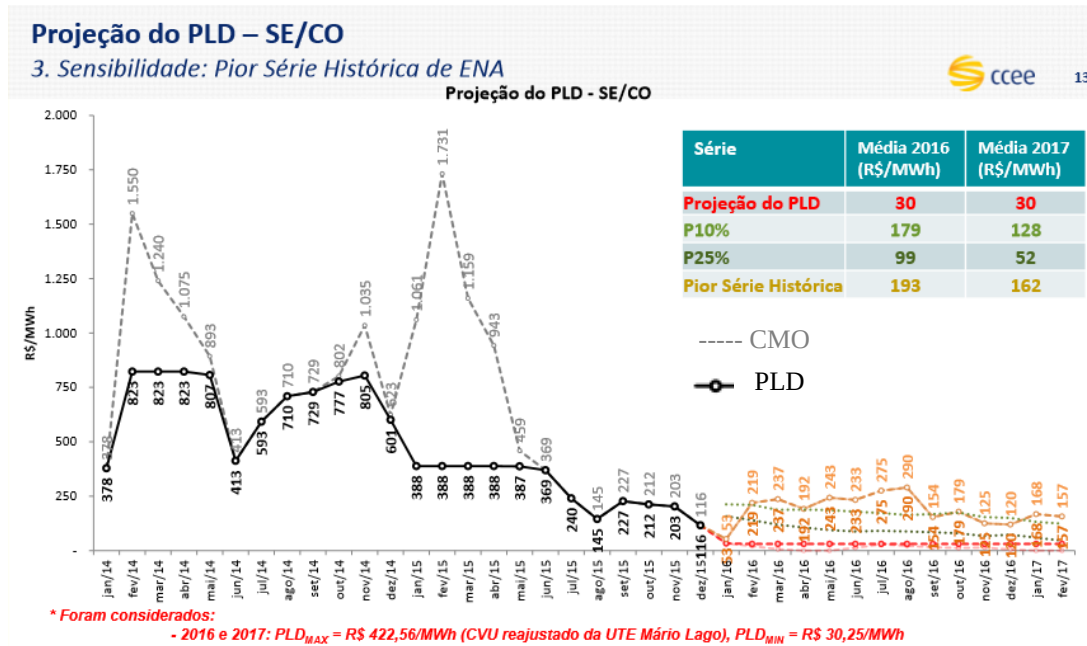
2.2 Custo com energia elétrica no ACL

A rotina de cálculo utilizada para obter o custo com energia elétrica no ACL foi baseado na metodologia apresentada em Faria (2008).

No ambiente de contratação livre, o preço pago pela energia consumida é negociado entre o consumidor e os agentes de comercialização, assim, para chegar em um valor, é feita uma análise do histórico do PLD e um estudo estatístico para previsão de seu comportamento futuro.

O valor do preço do kWh negociado para contrato utilizado neste trabalho foi escolhido levando em consideração a previsão publicada pela CCEE da probabilidade de PLD médio para 2016 da região sudeste, ilustrados no Gráfico 4. Caso haja uma demanda imediata maior que a contratada o consumidor poderá obter mais contratos com preço definido pelo PLD em vigor.

Gráfico 4 – Estimativas do PLD para 2016 para as regiões sudeste e centro-oeste



Fonte: CCEE, 2015.

a) Estimativa do custo com o uso do sistema de distribuição

$$C_{TUSD} = (D_{ponta} \times TUSD_{ponta} + D_{fponta} \times TUSD_{fponta}) \times (C_{ponta} \times TUSD_{Eponta} + C_{fponta} \times TUSD_{Efpona}) \quad (4)$$

Onde,

 C_{TUSD} Custo com tarifa de uso do sistema de distribuição (R\$) D_{ponta} Demanda no horário de ponta (MW) $TUSD_{ponta}$ Tarifa para uso do sistema de distribuição para demanda na ponta (R\$/MW) D_{fponta} Demanda no horário de fora ponta (MW) $TUSD_{fponta}$ Tarifa para uso do sistema de distribuição para demanda na fora ponta (R\$/MW) C_{ponta} Consumo no horário de ponta (MWh) $TUSD_{Eponta}$ Tarifa para uso do sistema de distribuição para energia na ponta (R\$/MWh) C_{fponta} Consumo no horário de fora ponta (MWh) $TUSD_{Efpona}$ Tarifa para uso do sistema de distribuição para energia na fora ponta (R\$/MWh)

b) Estimativa do custo com encargos de serviço do sistema

$$C_{ESS} = (C_{ponta} + C_{fponta}) \times P_{perdas} \times V_{ESS} \quad (5)$$

Onde,

C_{ESS}	Custo com encargos de serviço do sistema (R\$)
P_{perdas}	Percentual de perdas na distribuição (decimal)
V_{ESS}	Valor dos encargos de serviço do sistema (R\$/MWh)

c) Estimativa do custo com energia no mercado livre

$$G_{livre} = [(C_{ponta} + C_{fponta}) \times P_{perdas} \times P_{contrato}] + C_{ESS} + C_{TUSD} \quad (6)$$

Onde,

G_{livre}	Gasto com energia no ambiente livre (R\$)
$P_{contrato}$	Preço da energia a ser contratado (R\$/MWh)

3 GERAÇÃO PRÓPRIA

A necessidade de utilizar fontes de energia renováveis em substituição a fontes esgotáveis e poluentes se mostra um assunto cada dia mais pertinente devido a atual crise climática que o mundo está passando. Nesse cenário, o governo brasileiro sancionou em 2002 a Lei nº 10.438 que criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), com o objetivo de aumentar o número de produtores de energia renovável como a biomassa, eólica, solar e pequenas centrais hidrelétricas (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2004).

Neste trabalho será utilizado como fonte primal para geração própria a biomassa proveniente de resíduos sólidos como o lixo orgânico. Esta escolha é motivada pelo custo nulo de aquisição do combustível e pela reutilização de materiais que seriam descartados com possível risco para o meio ambiente. O processo utilizado na geração própria deste tipo de resíduo é a biodigestão anaeróbia, realizada em recipiente específico denominado biodigestor. A biodigestão anaeróbia consiste na fermentação da matéria orgânica por microrganismos na ausência de oxigênio, como exemplificado na Figura 3. Como resultado desse processo, obtém-se biofertilizante e biogás, a Tabela 4 mostra que a composição do biogás é basicamente de gás metano (PALHARES, 2008).

Figura 3 – Fluxograma de geração por biomassa.



Fonte: Autoria própria, 2016.

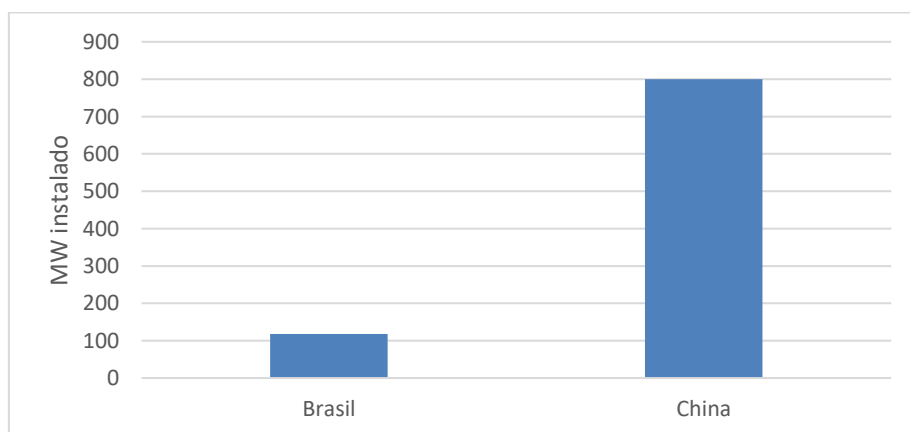
Tabela 4 – Composição do biogás

Composição média do biogás	
Componente	Concentração
Metano (CH ₄)	50% - 75% (vol.)
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% - 45% (vol.)
Água (H ₂ O) - Umidade	2% - 7% (vol.) (20 - 40 ° C)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	< 2% (vol.)
Oxigênio (O ₂)	< 2% (vol.)
Hidrogênio (H ₂)	< 1% (vol.)

Fonte: Probiogás, 2014.

O Brasil, pelo grande parque agropecuário possui um imenso potencial de produção de energia através da biodigestão, porém, conta atualmente com apenas alguns milhares de biodigestores, não havendo uma exploração significativa deste setor. Em comparação, a China possui alguns milhões de biodigestores, principalmente em áreas rurais, o Gráfico 5 ilustra a comparação entre a capacidade de geração por biogás entre os dois países.

Gráfico 5 – Capacidade de geração por Biogás

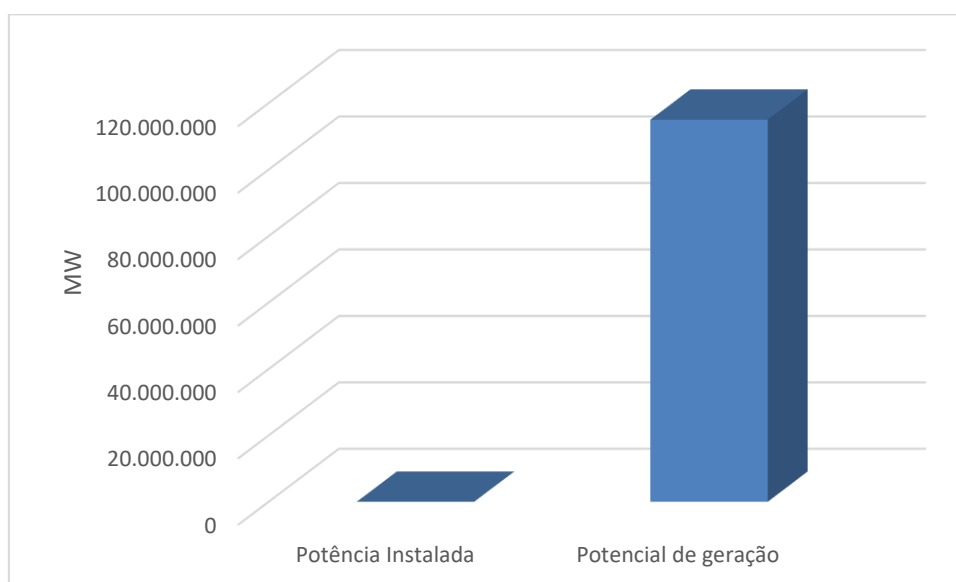


Fonte: BIG e IGU, 2015.

A Associação Brasileira de Biogás e de Biometano (ABiogás) apresentou ao ministro de Minas e Energia, Fernando Coelho Filho, um relatório sobre o potencial do uso de biogás para a geração de energia no Brasil. Segundo o estudo, o Brasil desperdiça um grande potencial de

geração de energia elétrica, como visto no Gráfico 6, já que o biogás poderia gerar até a quantidade equivalente à energia gerada por uma Itaipu e meia. Ainda se vê no país um grande mal aproveitamento do uso dos resíduos orgânicos para geração de bioenergia. O mercado que mais explora a produção do biogás é no setor sucroalcooleiro, ao usar os rejeitos da cana para gerar energia. Os rejeitos urbanos, da indústria de celulose e de alimentos também poderiam ser melhores aproveitados, gerando energia ou biocombustível. Nos últimos anos, um dos maiores passos dados pelo governo para impulsionar a bioenergia foi a inclusão do biogás nas normas de microgeração (as mesmas que beneficiam a energia solar), além da inclusão dele no último leilão de energia, onde teve um projeto contratado de 21 MWh de uma usina de cana-de-açúcar (AMBIENTE ENERGIA, 2016).

Gráfico 6 – Potencial desperdiçado de geração de energia por biogás no Brasil



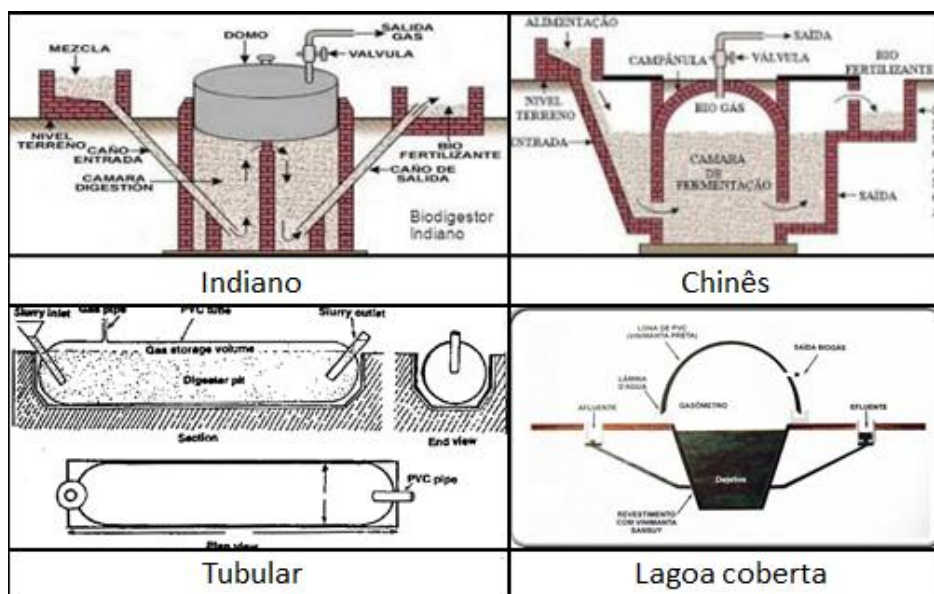
Fonte: Ambiente Energia, 2016.

O processo de reutilização destes resíduos na biodigestão apresenta algumas vantagens significativas para a conservação ambiental, como: redução na emissão de gases do efeito estufa, evita contaminação do lençol freático, diminuição na geração de lixo e principalmente a utilização do biogás na geração de energia elétrica e do biofertilizante como adubo natural (METZ, 2013).

Uma das variáveis mais impactantes no processo de biodigestão é a escolha do biodigestor que melhor atende às condições de cada tipo de resíduo. Os tipos de biodigestores mais utilizados

são: o indiano, o chinês, o tubular e o lagoa coberta, todos ilustrados na Figura 4. Para este trabalho foi escolhido o biodigestor de lagoa coberta (Figura 5), pois é o que melhor atende produtores com grande demanda energética, suportando grandes quantidades de dejetos além da simplicidade de construção e manutenção.

Figura 4 – Modelos de biodigestores.



Fonte: Autoria própria, 2017.

O biodigestor de lagoa coberta é um modelo horizontal com sentido tubular, consiste em um grande lago artificial coberto, com geometria retangular e impermeável, sendo a largura maior que a profundidade, onde a biomassa é alocada de tal forma que uma grande superfície fique exposta ao sol, aproveitando o clima quente da região para contribuir na produção de biogás.

Figura 5 – Biodigestor do tipo lagoa coberta

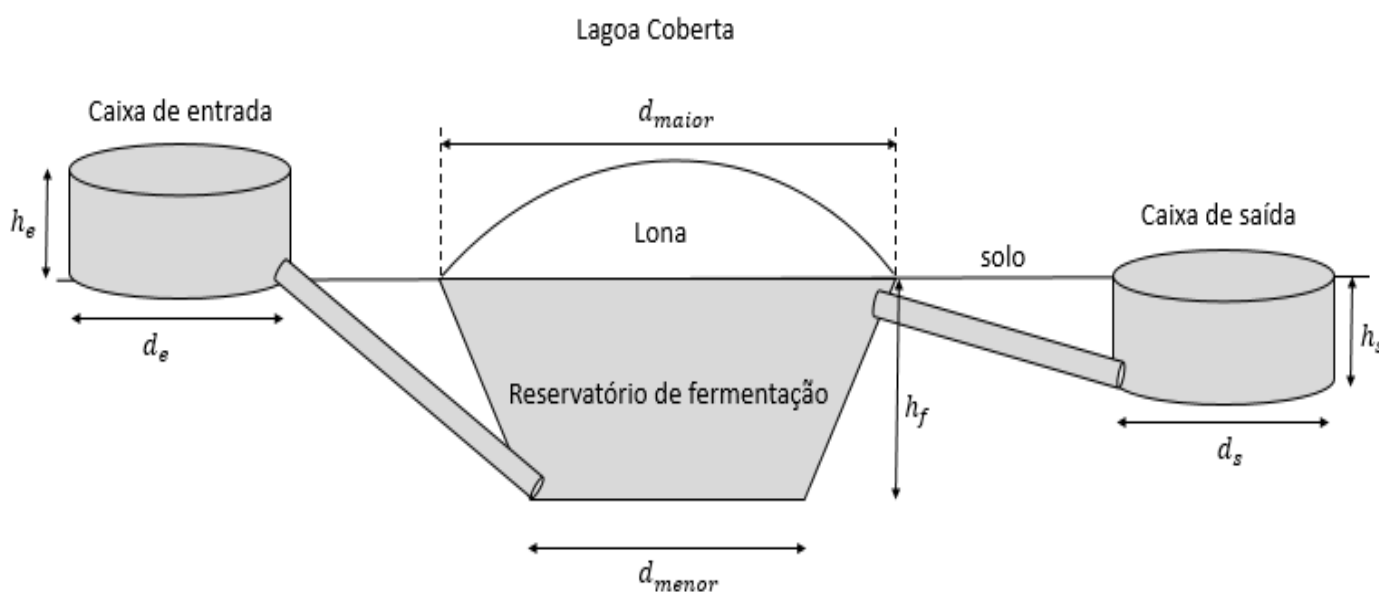


Fonte: Cibiogás, 2010.

Muito utilizado no Brasil, o biodigestor de lagoa coberta possui uma caixa de entrada onde o substrato (resíduo orgânico) é misturado com água e canalizado para dentro do reservatório de fermentação (lago artificial), uma caixa de saída onde os resíduos são armazenados após o processo e estão à disposição para serem utilizados como fertilizante. O reservatório de fermentação é coberto por uma lona plástica especial onde o gás fica retido reservando apenas uma passagem onde o biogás possa ser canalizado para o processo de queima. A Figura 6 ilustra com mais detalhes este tipo de biodigestor.

O projeto do biodigestor, neste trabalho, será realizado utilizando a metodologia de cálculo presente no Manual de Bioenergia financiado em 2004 pela Comissão Europeia, designadamente do programa ALTENER (BIOENERGIA, 2004). Nesta metodologia a partir da demanda máxima do consumidor são obtidos os demais dados de projeto como quantidade de biomassa necessária, volume do biodigestor e parâmetros do moto-gerador:

Figura 6 – Esquema de biodigestor tipo lagoa coberta



Fonte: Autoria própria, 2017.

a) Estimativa de potência elétrica

$$P_{ele} = \frac{E_{Méd} \times 12}{t_{op}} \quad (7)$$

onde,

P_{ele}	Potência elétrica (kW)
t_{op}	Tempo de funcionamento (horas/ano)
$E_{Méd}$	Energia média consumida mensalmente (kWh)

b) Estimativa da capacidade calorífica do biogás

$$C_{cal} = P_{Met} \times 34 \quad (8)$$

onde,

C_{cal}	Capacidade calorífica do biogás (MJ/Nm ³)
P_{Met}	Porcentagem de metano no biogás (decimal)
34	Capacidade calorífica do Metano puro (MJ/Nm ³)

c) Estimativa de quantidade de biogás

$$Q_{biogás} = \frac{P_{ele} \times t_{op} \times 3,6}{\eta \times C_{cal}} \quad (9)$$

onde,

$Q_{biogás}$	Quantidade de biogás (m ³ /ano)
P_{ele}	Potência elétrica (kW)
t_{op}	Tempo de funcionamento (horas/ano)
η	Eficiência total do sistema (decimal)
C_{cal}	Capacidade calorífica do biogás (MJ/Nm ³)
3,6	Relação de transformação de Joule para kWh

d) Estimativa da quantidade de substrato

$$Q_{substrato} = \frac{Q_{biogás}}{MOS \times Q_{espec}} \quad (10)$$

Onde,

$Q_{substrato}$	Quantidade de substrato (ton/ano)
MOS	Fração de sólidos voláteis no substrato (decimal)
Q_{espec}	Produção máxima específica de biogás (m ³ /ton de sólidos voláteis)

e) Estimativa do volume do biodigestor

$$V_{biodigestor} = \frac{Q_{substrato} \times t_{retenção}}{365 \times \rho_{substrato}} \quad (11)$$

Onde,

$V_{biodigestor}$	Volume do biodigestor (m ³)
$t_{retenção}$	Tempo de retenção (dias)
$\rho_{substrato}$	Densidade do substrato (ton/m ³)

f) Estimativa das dimensões do biodigestor (ver Figura 6)

$$V_{biodigestor} = \frac{(d_{maior} + d_{menor}) \times h_f \times L}{2} \quad (12)$$

Considerando uma alimentação diária do biodigestor:

$$\frac{V_{biodigestor}}{t_{retenção}} = V_{entrada} = \frac{d_e^2 \times \pi \times h_e}{4} \quad (13)$$

$$\frac{V_{biodigestor}}{t_{retenção}} = V_{saída} = \frac{d_s^2 \times \pi \times h_s}{4} \quad (14)$$

Onde,

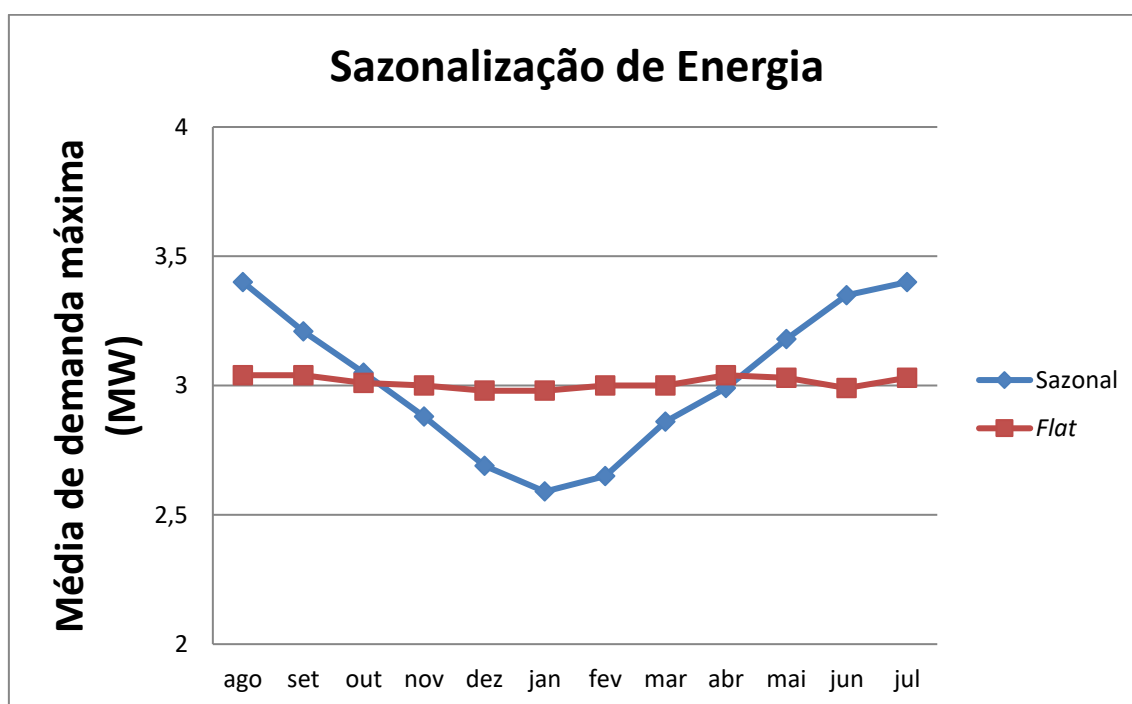
$V_{entrada}$	Volume da caixa de entrada (m ³)
$V_{saída}$	Volume da caixa de saída (m ³)
L	Comprimento do reservatório de fermentação (m)
d_{maior}	Largura maior do reservatório de fermentação (m)
d_{menor}	Largura menor do reservatório de fermentação (m)
d_e	Diâmetro da caixa de entrada (m)
d_s	Diâmetro da caixa de saída (m)
h_f	Altura do reservatório de fermentação (m)
h_e	Altura da caixa de entrada (m)
h_s	Altura da caixa de saída (m)

4 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMIDOR E DOS CUSTOS

O primeiro passo na elaboração do projeto é definir o tipo de consumidor que será objeto de estudo, obtendo assim qual a energia demandada e possibilitando calcular os custos no ACR e ACL, além da quantidade de biomassa que será necessária para tornar o consumidor autossuficiente energeticamente.

O tipo de consumidor se dá pela rotina de consumo do mesmo. Se o consumo é constante ou oscila ao longo do ano pode acarretar em diferentes ações a serem tomadas visando a eficiência energética. Pode-se caracterizar o consumidor pelas curvas de demanda anual, podendo ser *flat* ou sazonal, como exemplificado no Gráfico 7. O trabalho será realizado levando em conta os dois tipos de curva de demanda típica.

Gráfico 7 – Perfil de demanda anual para consumidor sazonal e *flat*

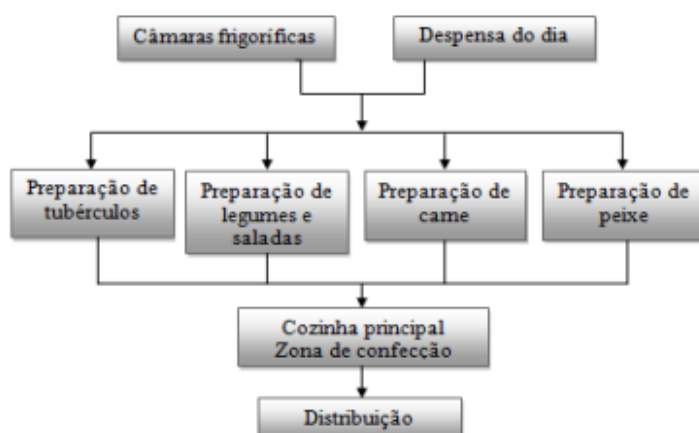


Fonte: Autoria própria, 2017.

O Gráfico 7 também representa a sazonalização de energia para o consumidor analisado neste trabalho. Cada ponto no gráfico foi obtido calculando a média entre os valores máximos de demanda diária escolhida para cada mês.

Neste trabalho, o consumidor será representado por um restaurante industrial, com fluxo organizacional descrito na Figura 7, que opera no período da noite com o seguinte horário de funcionamento: das 18:00 às 02:00 de segunda à sábado. Durante o domingo não há expediente e o consumo é equivalente ao da madrugada dos dias da semana.

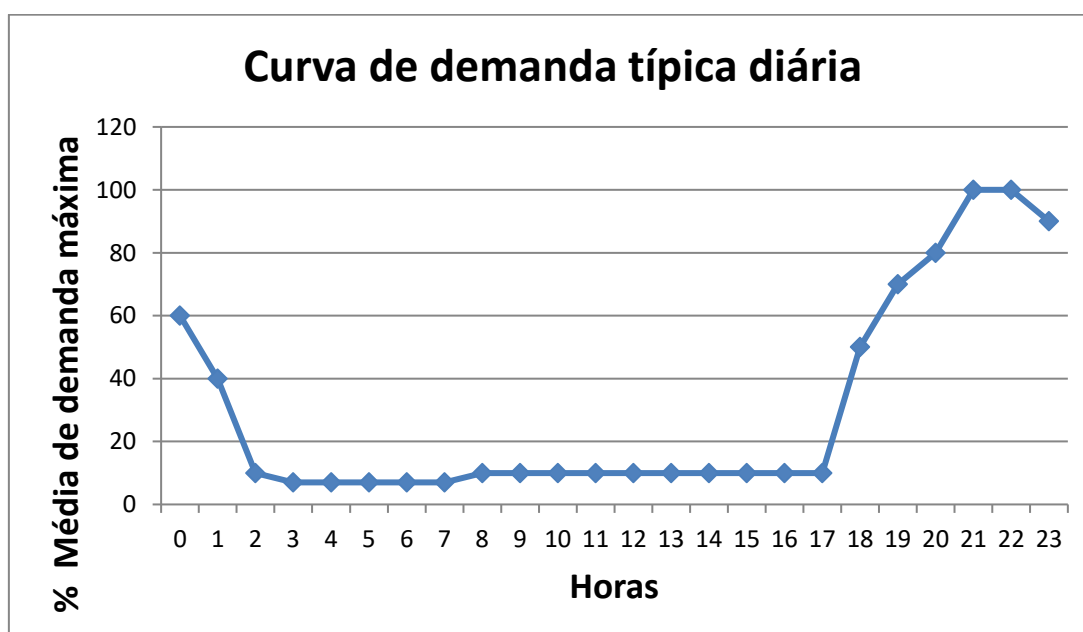
Figura 7 – Fluxo organizacional de funcionamento do restaurante



Fonte: Adaptado de Sousa, 2011.

Para a análise do consumo de energia da empresa é estimada a curva típica de demanda diária do restaurante, com base em Sousa (2011).

Gráfico 8 – Curva típica de demanda diária para o consumidor considerado.



Fonte: Autoria própria, 2017.

A curva de demanda diária, mostrada no Gráfico 8, foi construída com valores em percentagem da média dos picos diários de demanda, indicado para cada mês no Gráfico 7. A partir da curva de demanda típica diária, obtém-se um consumo médio mensal aproximado de 597.600 kWh, calculado através das Equações 1 e 2. Esse consumo é equivalente a uma produção de aproximadamente 45.000 refeições diárias, com base no estudo sobre Análise de Desempenho Energético de Cozinhas Industriais de Sousa (2011). Este número de refeições gera um volume de resíduos mensal da ordem de 126.000 Kg, considerando que são descartados cerca de 30% dos alimentos, de acordo com Pistorelo, Conto e Zaro (2015).

4.1 Custo com energia no ambiente regulado

O custo com energia no ambiente regulado será calculado utilizando as Equações 1 a 3, apresentadas anteriormente na introdução ao ambiente de contratação regulado. Os valores da Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição para demanda (TUSD demanda), Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição para Consumo ponta (TUSD consumo ponta), Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição para Consumo fora ponta (TUSD consumo fora ponta), Tarifa de Energia para consumo ponta (TE consumo ponta), Tarifa de Energia de consumo fora ponta (TE consumo fora ponta), apresentados na Tabela 5, foram retirados da tabela de consumidores A4, modalidade tarifária verde, bandeira tarifária verde, presente no *website* da Energias De Portugal (EDP) e são referentes a 2016, ano utilizado para análise e comparação dos cenários propostos.

Tabela 5 – Tarifas de energia para consumidor da classe A4.

Tipo	Tarifa
TUSD demanda (R\$/kW)	7,11000
TUSD consumo ponta (R\$/kWh)	0,52283
TUSD consumo fora ponta (R\$/kWh)	0,03872
TE consumo ponta (R\$/kWh)	0,33001
TE consumo fora ponta (R\$/kWh)	0,22128

Fonte: EDP, 2016.

Neste trabalho não será considerado a cobrança de imposto sobre custos no ACR, no ACL e na geração própria, pois a incidência de impostos no ACL depende do tipo de energia a ser contratada, podendo ser caracterizado como energia incentivada. O mesmo problema ocorre na geração própria, como o biogás é uma fonte de energia renovável e sua produção é incentivada pelo governo, os impostos que incidem sobre a energia gerada envolvem tratativas com os órgãos reguladores que não entram no interesse deste trabalho.

Para auxiliar a comparação entre projetos é calculado o Valor Presente Líquido (VPL) das despesas mensais para cada cenário utilizando a Equação 15:

$$VPL = \sum_{i=1}^{12} \frac{D_{mensal}(i)}{(1 + t_{atm})^i} \quad (15)$$

Onde,

VPL	Valor presente Líquido (R\$/ano)
D_{mensal}	Despesa mensal (R\$)
t_{atm}	Taxa de atratividade mensal (decimal)

4.1.1 Consumidor *flat*

A Tabela 6 representa os custos mensais, durante o ano de 2016, com energia no ACR do consumidor *flat*. No último item da tabela é apresentado o Valor Presente Líquido dos custos mensais, considerando uma taxa de atratividade mensal de 1%.

A média das demandas máximas para cada mês, apresentada na segunda coluna da Tabela 6, foram retiradas do Gráfico 7. Os consumos de energia nos horários de ponta e fora ponta foram calculadas segundo as Equações 1 e 2. Analisando o Gráfico 7, é adotado um contrato de demanda de 3100 kW para o consumidor *flat*. O custo para o consumidor enquanto pertencente ao ACR é calculado seguindo a Equação 3.

Tabela 6 – Custos com energia elétrica no ACR no período de um ano para o perfil *flat*

Consumidor Flat					
Mês	Média demanda máx (kW)	Consumo fora ponta (kWh)	Consumo ponta (kWh)	Demanda contratada (kW)	Custo
Ago	3.040	401.219,2	200.153,6	3.100	R\$ 297.056,99
Set	3.040	401.219,2	200.153,6		R\$ 297.056,99
Out	3.010	397.259,8	198.178,4		R\$ 294.343,01
Nov	3.000	395.940,0	197.520,0		R\$ 293.438,36
Dez	2.980	393.300,4	196.203,2		R\$ 291.629,04
Jan	2.980	393.300,4	196.203,2		R\$ 291.629,04
Fev	3.000	395.940,0	197.520,0		R\$ 293.438,36
Mar	3.000	395.940,0	197.520,0		R\$ 293.438,36
Abr	3.040	401.219,2	200.153,6		R\$ 297.056,99
Mai	3.030	399.899,4	199.495,2		R\$ 296.152,33
Jun	2.990	394.620,2	196.861,6		R\$ 292.533,70
Jul	3.030	399.899,4	199.495,2		R\$ 296.152,33
VPL					R\$ 3.314.616,90

4.1.2 Consumidor sazonal

A Tabela 7 representa os custos mensais, durante o ano de 2016, com energia no ACR do consumidor sazonal. No último item da tabela é apresentado o VPL dos custos mensais, considerando uma taxa de atratividade mensal de 1%.

A média das demandas máximas para cada mês, apresentada na segunda coluna da Tabela 7, foram retiradas do Gráfico 7. Os consumos de energia nos horários de ponta e fora ponta foram calculadas segundo as Equações 1 e 2. Analisando o Gráfico 7, será adotado um contrato de demanda de 3400 kW. É necessário um contrato maior para o consumidor sazonal pois o perfil de demanda anual atinge altos valores durante a temporada de pico de consumo. O custo com energia para o consumidor sazonal, enquanto ligado ao ACR, é calculado segundo a Equação 3.

Tabela 7 – Custos com energia elétrica no ACR no período de um ano para o perfil sazonal

Consumidor Sazonal					
Mês	Média demanda max (kW)	Consumo fora ponta (kWh)	Consumo ponta (kWh)	Demanda contratada (kW)	Custo
Ago	3.400,0	448.732	223.856,0	3.400	R\$ 331.757,67
Set	3.210,0	423.655,8	211.346,4		R\$ 314.569,17
Out	3.050,0	402.539,0	200.812,0		R\$ 300.094,65
Nov	2.880,0	380.102,4	189.619,2		R\$ 284.715,46
Dez	2.690,0	355.026,2	177.109,6		R\$ 267.526,96
Jan	2.590,0	341.828,2	170.525,6		R\$ 258.480,38
Fev	2.650,0	349.747,0	174.476,0		R\$ 263.908,33
Mar	2.860,0	377.462,8	188.302,4		R\$ 282.906,15
Abr	2.990,0	394.620,2	196.861,6		R\$ 294.666,70
Mai	3.180,0	419.696,4	209.371,2		R\$ 311.855,20
Jun	3.350,0	442.133,0	220.564,0		R\$ 327.234,38
Jul	3.400,0	448.732,0	223.856,0		R\$ 331.757,67
VPL					R\$ 3.346.642,78

Fonte: Autoria própria, 2017.

Após calcular o gasto, com consumo de energia elétrica, do consumidor proposto enquanto pertencente ao ACR (R\$ 3.314.616,90 para o perfil de consumo *flat* e R\$ 3.346.642,78 para o sazonal), serão caracterizados os projetos propostos para apresentar os custos e benefícios referentes a migração para o ACL e a geração própria por biodigestão.

5 CENÁRIOS: GERAÇÃO PRÓPRIA E MIGRAÇÃO PARA O ACL

Para avaliar qual a melhor alternativa para reduzir os custos com energia elétrica para o consumidor citado, são caracterizadas as despesas necessárias para implantar os projetos de geração própria através da biodigestão de resíduos orgânicos e de migração para o ambiente de contratação livre.

5.1 Projeto de geração própria

Esta etapa do trabalho consiste em calcular as grandezas necessárias para caracterizar o projeto de geração própria. Estimando a quantidade de resíduo orgânico necessária, a produção de biogás, a potência média gerada e as dimensões para o biodigestor operar corretamente o sistema. Após as estimativas destas grandezas é calculado os custos para construção da planta de geração e os custos de manutenção, operação e serviços para manter o funcionamento do sistema. Também é avaliada o potencial de ganho com o mercado de créditos de carbono devido a queima do metano. Ao final é exibido o fluxo financeiro, com a indicação da despesa anual para implementação do projeto.

Para avaliar a quantidade de biogás gerado pelos resíduos orgânicos, foi utilizado a análise, feita pelo Laboratório de Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo, dos resíduos gerados pelo Restaurante Universitário da mesma, onde foram avaliadas as quantidades de Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis Totais (SVT), a proporção de SVT por ST e produção máxima específica de biogás (Q_{espec}) dos rejeitos. A Tabela 8 apresenta os resultados desta análise para 3 amostras referentes aos balcões de distribuição de comida do Restaurante Universitário.

Tabela 8 – Produção máxima específica de biogás

Amostra	ST (mg/g)	SVT (mg/g)	SVT/ST	SVT (Kg/t)	Q_{espec} (L CH₄/Kg SVT)
Balcão 01 (B01)	357	341	0,96	341	222
Balcão 02 (B02)	359	342	0,95	342	222
Balcão 03 (B03)	352	337	0,96	337	219

Fonte: UFES, 2015.

A Tabela 9 foi construída para exibir os resultados dos cálculos realizados para obter o potencial produtivo e o volume do biodigestor necessário para gerar o biogás. Os parâmetros expostos na primeira coluna da tabela, e utilizados nos cálculos, foram retirados das seguintes fontes: a demanda energética mensal foi obtida pela média aproximada do consumo calculado nas Tabelas 6 e 7, utilizando as Equações 1 e 2. Para a densidade média da mistura foi considerada que a densidade da água, já que a mistura apresenta 92% de água; o tempo de digestão dos resíduos e a porcentagem de resíduos sólidos na mistura com água foram definidos a partir de valores típicos [Manual da Bioenergia]; a produção máxima específica de biogás foi obtida da Tabela 8; a quantidade de metano no biogás foi retirado da Tabela 4; a eficiência do sistema de geração elétrica foi identificada no catálogo do motogerador utilizado no projeto e as horas de trabalho do sistema por ano foram escolhidas considerando 95% de operação anual do sistema, sendo 5% utilizada para manutenção. Os Resultados apresentados na Tabela 9 foram obtidos utilizando as Equações 7, 8, 9, 10 e 11 respectivamente.

Tabela 9 – Potencial produtivo do biodigestor

Declaração de parâmetros	Valor	Unidade	Resultados	Valor	Unidade
Demanda energética mensal média	597.600,00	kWh	Potência elétrica média de saída	861,72	kW
Densidade média da mistura	1.000,00	kg/m ³	Poder calorífico do biogás	23,80	MJ
Tempo de digestão do resíduo	28,00	dias	Produção de biogás mensal	210.216,92	m ³ /mês
Porcentagem de resíduo sólido na mistura com água	0,08	decimal	Quantidade média de resíduos sólidos mensal	955.531,47	kg

Fonte: Autoria própria, 2017.

Tabela 9 (Continuação) – Potencial produtivo do biodigestor

Declaração de parâmetros	Valor	Unidade		Resultados	Valor	Unidade
Produção máxima específica de biogás	220,00	m ³ /ton. MO		Volume do digestor	11.147,87	m ³
Quantidade de metano no biogás	0,70	decimal				
Eficiência do sistema de geração elétrica	0,43	decimal				
Horas de trabalho do sistema por ano	8.322,00	horas				

Fonte: Autoria própria, 2017.

Analisando a quantidade de resíduos necessária para gerar a energia consumida mensalmente pelo restaurante industrial, nota-se que os resíduos gerados pelo mesmo não são suficientes para alcançar tal demanda, sendo 955.531,47 kg a quantidade necessária e 126.000,00 kg a quantidade produzida. Este déficit de mais de 800 toneladas deverá ser suprido através da realização da coleta de resíduo orgânico de outros estabelecimentos.

As dimensões do biodigestor, exibidas pela Tabela 10, foram obtidas pelas Equações 12 a 14, sendo que o comprimento e a largura maior da caixa de fermentação e as profundidades das caixas de entrada e saída foram escolhidas levando em conta o tamanho do terreno definido e a operação do sistema.

Tabela 10 – Dimensões do biodigestor.

Caixa de fermentação	Valor	Unidade		Caixa de entrada	Valor	Unidade		Caixa de saída	Valor	Unidade
Volume	11.147,87	m ³		Volume	398,14	m ³		Volume	398,14	m ³
Comprimento	100,00	m		Diâmetro	15,92	m		Diâmetro	11,26	m
Largura maior	30,00	m		Profundidade	2,00	m		Profundidade	4,00	m
Largura menor	25,74	m								
Profundidade	4,00	m								

Fonte: Autoria própria, 2017.

Para a geração de energia elétrica através do biogás obtido pela biodigestão é indicado a utilização de um sistema de motogerador a gás como o sugerido na Figura 8, com valor de mercado cotado na internet e apresentado na Tabela 11.

Figura 8 – Motogerador a gás



Fonte: Catálogo Caterpillar, 2016.

A partir das dimensões do biodigestor e da definição do motogerador foi elaborada a Tabela 11, explicitando os custos necessários para a construção do sistema de geração através da biodigestão de resíduos orgânicos. O tamanho do terreno indicado na tabela foi escolhido de modo que comporte as dimensões do sistema total de biodigestão, o valor para o metro quadrado do terreno foi cotado em *websites* de venda de imóveis, para a localização nos arredores da região metropolitana do Espírito Santo. Para a construção do biodigestor foi levado em conta os valores indicados no estudo sobre Análise de Viabilidade Econômica e Financeira de Projetos Sustentáveis no Setor Energético: Estudo de Caso para Implantação de Biodigestores no Semiárido Baiano, realizado por Haack e Oliveira (2011). A subestação para adequação da tensão gerada tem valores de construção e de compra do transformador, de potência equivalente à do motogerador, foram obtidos através de cotação via internet.

Há ainda a necessidade da instalação de uma cabine de medição e proteção seguindo padrão do Padrão Técnico (PT.DT.PDN.03.14.011) da EDP referente ao acesso de minigeração à rede de distribuição. Os Equipamentos pedidos pelo Padrão são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Requisitos mínimos para acesso à rede de distribuição

Equipamento	Potência Instalada		
	Menor ou igual a 75 kW	76 kW a 500 kW	501 kW a 5 MW
Elemento de desconexão ⁽¹⁾	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção ⁽²⁾	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento ⁽³⁾	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobre tensão	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção de sub e sobre frequência	Sim ⁽⁴⁾	Sim ⁽⁴⁾	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobre corrente direcional	Não	Sim	Sim
Sobre corrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾	Sim ⁽⁵⁾
Anti-ilhamento	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾	Sim ⁽⁶⁾
Medição	Sistema de Medição Bidirecional ⁽⁷⁾	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes

A aquisição dos equipamentos gera um custo de R\$ 100.000,00 e a realização da infraestrutura (incluindo material e mão de obra) da cabine de medição gera um custo de R\$ 50.000,00, ambos os valores foram cotados na internet.

Tabela 12 – Custo para implantação do biodigestor

	Quantidade	Unidade	Valor	Unidade	Total
Terreno	10.000,00	m ²	30,00	R\$/m ²	R\$ 300.000,00
Caixa de fermentação	11.147,87	m ³	50,00	R\$/m ³	R\$ 557.393,36
Caixa de entrada	398,14	m ³	50,00	R\$/m ³	R\$ 19.906,91
Caixa de saída	398,14	m ³	50,00	R\$/m ³	R\$ 19.906,91
Motogerador a gás	1.000,00	kVA	750.000,00	R\$	R\$ 750.000,00
Subestação (estrutura e trafo)	11,40	kV	500.000,00	R\$	R\$ 500.000,00
Cabine de medição	1,00	MW	150.000,00	R\$	R\$ 150.000,00
Total					R\$ 2.297.207,17

Fonte: Autoria própria, 2017.

Afim de amortizar o valor do investimento inicial em 10 parcelas a serem pagas durante a vida útil do sistema será simulado um financiamento do montante necessário. O financiamento disponível que melhor se enquadra neste caso é o BNDES Finem - Eficiência Energética, que contempla empreendimentos na área de infra-estrutura, energia e meio-ambiente. Os juros praticados nesta modalidade de financiamento são calculados conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Composição dos juros para financiamento no BNDES

Apoio direto (solicitação feita diretamente ao BNDES)

Taxa de juros = Custo financeiro + Taxa do BNDES

Empresas	
Custo Financeiro	Taxa do BNDES
TJLP (7% ao ano)	de 2,1% a 6,56% ao ano

Unidades federativas e municípios	
Custo Financeiro	Taxa do BNDES
TJLP (7% ao ano)	2,7% ao ano

Fonte: BNDES, 2017.

Utilizando a Equação 16, para expandir o investimento inicial de R\$ 2.297.207,17 em uma série uniforme de pagamentos para o horizonte de vida útil de 10 anos do biodigestor, obtém-se um gasto anual de R\$ 417.993,09. É utilizado uma taxa de atratividade anual de 12,6825%, equivalente a uma taxa de 1% mensal conforme estipulado pelo BNDES.

$$S_{Unif} = \frac{I_{inicial} \times t_{ata}}{1 - (1 + t_{ata})^{-Vu}} \quad (16)$$

Onde,

S_{Unif}	Série Uniforme (R\$/ano)
$I_{inicial}$	Investimento Inicial (R\$)
t_{ata}	Taxa de atratividade anual (decimal)
Vu	Vida útil do projeto (anos)

A Tabela 12 apresenta os valores para transporte dos resíduos até a planta de biodigestão e para tarifa de consumo de água, utilizadas para calcular o gasto mensal com a operação do sistema.

Tabela 13 – Tarifas utilizadas no cálculo do custo da geração

Serviço	Valor
Tarifa de água (R\$/m³)	8,99
Preço transporte (R\$/Ton)	60,00

Fonte: Cotação pela internet, 2016.

Para os cálculos dos custos com serviços de manutenção e operação (Tabela 13) foram utilizados os estudos de Haack (2009), que define este valor em 4% do investimento para biodigestores de grande porte. O volume de água utilizado para o cálculo dos custos com tarifa de água é definido com base no percentual de resíduos sólidos apresentado na Tabela 9. O volume de resíduos utilizado para o cálculo do gasto com transporte do mesmo é indicado na Tabela 9.

Tabela 14 – Custos anuais com manutenção, operação e serviço de terceiros.

Serviço	Valor
Manutenção	R\$ 85.888,29
Transporte	R\$ 687.982,66
Água	R\$ 1.106.421,36
Total	R\$ 1.880.292,31

Fonte: Autoria própria, 2017.

Está previsto para 2017 a decisão do governo sobre a regulamentação do mercado de carbono no Brasil, assim o valor do ganho na exploração deste mercado será calculado apenas para conhecimento do potencial do sistema, mas não será incluído no fluxo de caixa final. A Tabela 14 exhibe o ganho com créditos de carbono relacionado à queima do metano, que equivale a 21 vezes o efeito estufa causado pelo gás carbônico. A elaboração deste cálculo é baseada nos estudos de Costa (2012) e leva em conta o volume de metano gerado pelo biodigestor e o valor da cotação do crédito de carbono no mercado, disponível no *website* da *Investing*.

Tabela 15 – Ganho anual com mercado de créditos de carbono

Volume de metano (m³)	Densidade do metano (ton/m³)	Equivalência de CH₄/CO₂ para o efeito estufa	Cotação do crédito de carbono (R\$/ton)	Valor
2.522.603,09	0,000656	21	15,345	R\$ 533.259,93

Fonte: Autoria Própria, 2017.

O fluxo de custos e ganhos da geração por biogás é exibido na Tabela 15, e apresenta o gasto líquido anual do projeto.

Tabela 16 – Fluxo financeiro anual do projeto

	Valor
Parcela do investimento inicial	R\$ 417.993,09
Custo com manutenção, operação e serviços	R\$ 1.880.292,31
Total	R\$ 2.304.285,39

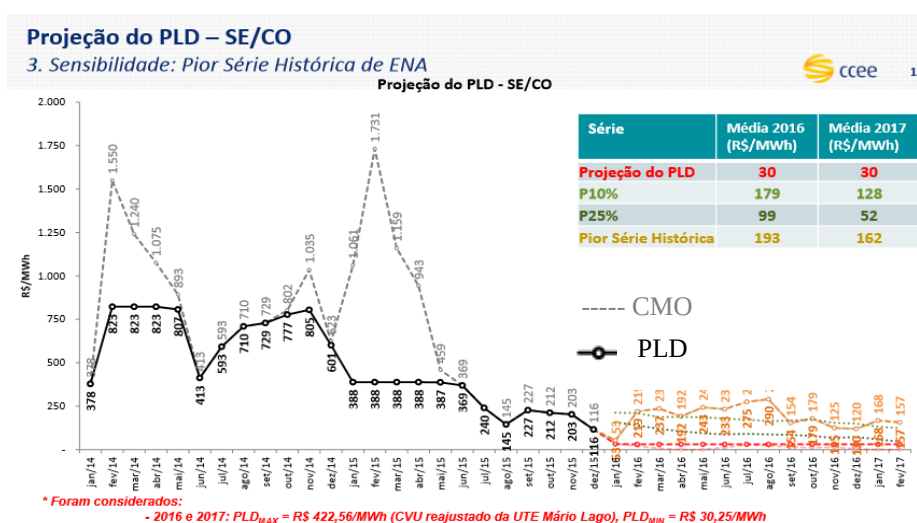
Fonte: Autoria própria, 2017.

5.2 Projeto de migração

Esta etapa do trabalho consiste em calcular o custo anual com energia elétrica caso o consumidor opte pelo cenário de migração para o mercado livre de energia. Para determinar esses custos será necessário simular um contrato com o mercado via CCEE. Este contrato será representado pelo preço “negociado” que será pago pela energia consumida, pelo pagamento dos Encargos de Serviço do Sistema e pela Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição.

O preço de contrato para a energia foi definido, com base no relatório de dezembro de 2015 da CCEE, no valor de 0,099 R\$/kWh, equivalente ao percentil P25% das projeções (onde 75% das projeções para 2016 estão abaixo deste valor) para a média do PLD em 2016, ilustrada no Gráfico 4 e repetido aqui.

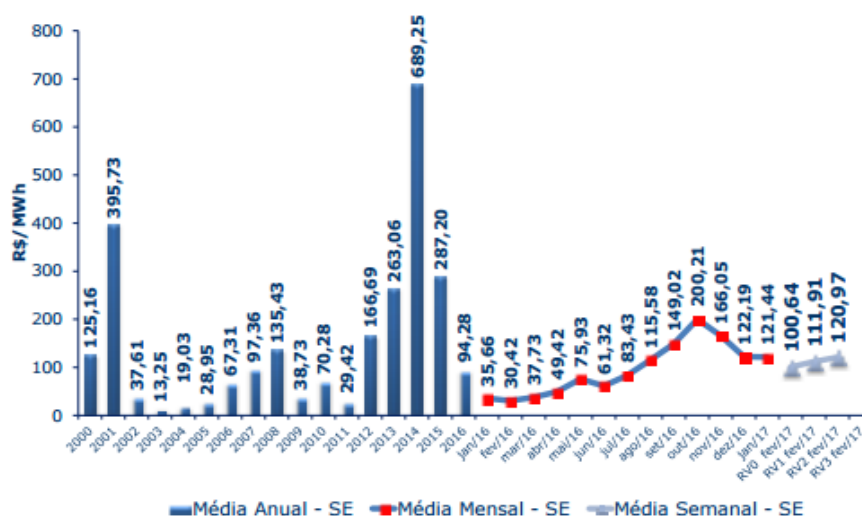
Gráfico 9 – Estimativas do PLD para 2016 para as regiões sudeste e centro-oeste



Fonte: CCEE, 2015.

A energia contratada será equivalente à média mensal aproximada da energia consumida, no valor de 597.600 kWh para ambos os perfis. Caso seja necessária mais energia em condições imediatas, como no caso do consumidor de perfil sazonal em período de pico de demanda, será adquirido com o valor equivalente ao PLD vigente, ilustrado no Gráfico 10, que exhibe os valores de PLD para o ano de 2016 definidos pela CCEE.

Gráfico 10 – Valores do PLD de 2016



Fonte: CCEE, 2017.

Os valores das tarifas, apresentados na Tabela 16, foram retirados do *site* da EDP e são referentes a 2016, ano utilizado para análise e comparação dos cenários propostos.

Tabela 17 – Tarifas de energia para consumidor livre da classe A4.

Tipo	Tarifa
TUSD demanda (R\$/kW)	7,11000
TUSD consumo ponta (R\$/kWh)	0,52283
TUSD consumo fora ponta (R\$/kWh)	0,03872
Percentual de perdas na distribuição (decimal)	0,025
Valor médio dos encargos de serviço do sistema de 2016 (R\$/MWh)	5,27

Fonte: EDP, 2016.

5.2.1 Consumidor *flat*

As Equações 1, 2, 4, 5, 6, apresentadas anteriormente, foram utilizadas para calcular o consumo de energia no horário de fora ponta e no horário de ponta, o valor pago pelos Encargos de Serviço do Sistema, o gasto com a Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição e o gasto mensal total com energia elétrica, respectivamente. Os resultados dos cálculos são apresentados na Tabela 17.

Para o consumo com perfil *flat* será contratada uma demanda que atenda às necessidades do consumidor, estipulada pela análise da curva das médias de demanda máxima para cada mês e definida no valor de 3100 kW. Para efeito de comparação entre projetos será calculado o VPL das despesas mensais, adotando uma taxa mínima de atratividade de 1% ao mês.

Tabela 18 – Custos com energia elétrica no ACL no período de um ano para o perfil *flat*

Consumidor Flat							
Mês	Consumo fora ponta (kWh)	Consumo ponta (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo contratado (kWh)	PLD 2016 (R\$/kWh)	Demanda contratada (kW)	Custo
Ago	401.219,2	200.153,6	601.372,8	597.600	0,03566	3.100	R\$ 235.486,53
Set	401.219,2	200.153,6	601.372,8		0,03042		R\$ 235.466,27
Out	397.259,8	198.178,4	595.438,2		0,03773		R\$ 233.842,06
Nov	395.940,0	197.520,0	593.460,0		0,04942		R\$ 233.339,86
Dez	393.300,4	196.203,2	589.503,6		0,07593		R\$ 232.335,48
Jan	393.300,4	196.203,2	589.503,6		0,06132		R\$ 232.335,48
Fev	395.940,0	197.520,0	593.460,0		0,08343		R\$ 233.339,86
Mar	395.940,0	197.520,0	593.460,0		0,11558		R\$ 233.339,86
Abr	401.219,2	200.153,6	601.372,8		0,14902		R\$ 235.348,63
Mai	399.899,4	199.495,2	599.394,6		0,20021		R\$ 235.214,72
Jun	394.620,2	196.861,6	591.481,8		0,16605		R\$ 232.837,67
Jul	399.899,4	199.495,2	599.394,6		0,12219		R\$ 235.071,20
VPL							R\$ 2.633.674,10

Fonte: Autoria própria, 2017.

5.2.2 Consumidor sazonal

As Equações 1, 2, 4, 5, 6, apresentadas anteriormente, foram utilizadas para calcular o consumo de energia no horário de fora ponta e no horário de ponta, o valor pago pelos Encargos de

Serviço do Sistema, o gasto com a Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição e o gasto mensal total com energia elétrica, respectivamente. Os resultados dos cálculos são apresentados na Tabela 18.

Será contratada uma demanda que atenda às necessidades do consumidor, estipulada pela análise da curva das médias de demanda máxima para cada mês e definida no valor de 3400 kW. É necessário um contrato maior para o consumidor sazonal, pois o perfil de demanda anual atinge altos valores durante a temporada de pico de consumo. Para efeito de comparação entre projetos será calculado o VPL das despesas mensais, adotando uma taxa mínima de atratividade de 1% ao mês.

Tabela 19 – Custos com energia elétrica no ACL no período de um ano para o perfil sazonal

Consumidor Sazonal							
Mês	Consumo fora ponta (kWh)	Consumo ponta (kWh)	Consumo (kWh)	Consumo contratado (kWh)	PLD 2016 (R\$/kWh)	Demanda contratada (kW)	Custo
Ago	448.732,0	223.856,0	672.588,0	597.600	0,03566	3.400	R\$ 258.301,44
Set	423.655,8	211.346,4	635.002,2		0,03042		R\$ 247.185,10
Out	402.539,0	200.812,0	603.351,0		0,03773		R\$ 238.206,23
Nov	380.102,4	189.619,2	569.721,6		0,04942		R\$ 229.446,57
Dez	355.026,2	177.109,6	532.135,8		0,07593		R\$ 219.904,93
Jan	341.828,2	170.525,6	512.353,8		0,06132		R\$ 214.883,02
Fev	349.747,0	174.476,0	524.223,0		0,08343		R\$ 217.896,17
Mar	377.462,8	188.302,4	565.765,2		0,11558		R\$ 228.442,19
Abr	394.620,2	196.861,6	591.481,8		0,14902		R\$ 234.970,67
Mai	419.696,4	209.371,2	629.067,6		0,20021		R\$ 250.969,94
Jun	442.133,0	220.564,0	662.697,0		0,16605		R\$ 264.129,15
Jul	448.732,0	223.856,0	672.588,0		0,12219		R\$ 264.952,37
VPL							R\$ 2.689.532,43

Fonte: Autoria própria, 2017.

O Gráfico 11 exibe a composição do gasto com energia elétrica, de ambos os perfis de consumo, para um mês de pico de demanda.

Gráfico 11 – Composição do gasto com energia elétrica no ACL para o mês de agosto de 2016



Fonte: Autoria própria, 2017.

Nota-se no Gráfico 11 que o perfil de consumo sazonal apresenta uma parcela relacionada com gasto na compra de energia no mercado de curto prazo. O mercado de curto prazo pode ter benefícios no caso do PLD vigente ser cotado abaixo do valor de contrato estabelecido, neste caso o PLD não estava acima do valor de contrato, assim houve um acréscimo no gasto.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA TOMADA DE DECISÃO

Na etapa de comparação das alternativas é levado em conta aspectos financeiros, ambientais, operacionais, de confiabilidade e de segurança, como: VPL, emissão de poluentes, reciclagem de resíduos, possibilidade de escolha na compra de energia por produtores renováveis, vida útil, disponibilidade, segurança e estabilidade de preço. Estes indicadores serão os parâmetros para a obtenção de um custo-benefício final, que representa os prós e contras apresentados para cada projeto, sendo possível ao final do trabalho dizer qual a opção mais indicada para o objeto de estudo.

6.1 Análise financeira

Ao final de cada proposta de projeto é apresentado o valor do gasto anual para implementação dos mesmos. Estes valores são comparados ao gasto com energia elétrica para o consumidor ainda no ACR, relacionado com a economia gerada pela opção por cada cenário.

A Tabela 19 exibe a comparação entre o ACR e as opções de cenários: migração para ACL e geração própria, feita para o perfil de consumo sazonal e *flat*.

Tabela 20 – Comparação de custo dos projetos

Cenário	Consumidor Sazonal		Consumidor <i>Flat</i>	
	Custo	Economia	Custo	Economia
ACR	R\$ 3.346.642,78	-	R\$ 3.314.616,90	-
ACL	R\$ 2.689.532,43	R\$ 657.110,35	R\$ 2.633.674,10	R\$ 680.942,80
Geração própria	R\$ 2.304.285,39	R\$ 1.042.357,39	R\$ 2.304.285,39	R\$ 1.010.331,51

Fonte: Autoria própria, 2017

6.2 Análise ambiental

Para esta análise será levado em conta o impacto ambiental causado por cada cenário para gerar uma graduação de favorável, pouco impactante, e prejudicial ao meio ambiente. O perfil de consumo não influenciará nesta comparação, portanto este não estará presente.

Baseado em Veloso (2014), é exposto os prós e contras da implantação de cada cenário para realizar graduação ambiental dos projetos.

No ACR não há controle sobre a fonte de energia utilizada. A energia é proveniente principalmente de hidrelétricas, que são consideradas fontes renováveis, ou de termelétricas à diesel ou gás natural, consideradas não renováveis e altamente prejudiciais ao meio ambiente. Enquanto que, no ACL há opção de contratação de energia apenas de fontes renováveis, como: hidráulica, solar, eólica e biomassa. Porém, algumas fontes de energia renováveis podem ter pouca oferta por produtor ou ter o preço elevado em comparação às demais, como é o caso da energia solar. Por fim, a geração própria apresenta vários fatores relacionados ao ambiente, alguns favoráveis: mitigação de efeito estufa, aproveitamento de resíduos e coprodução de biofertilizantes; outros desfavoráveis: emissão de CO₂, elevado consumo de água e risco de contaminação do solo e do lençol freático.

6.3 Análise vida útil

A vida útil de se manter no ACR ou de migrar para o ACL não pode ser determinada, uma vez que à medida que o contrato vigente expira, outro pode ser acordado.

Já o sistema de geração própria através da biomassa possui um tempo de vida que pode ser determinado pelos seus componentes de menor vida útil, neste caso as partes móveis e a lona de contenção do biogás limitam o tempo de vida do sistema em 10 anos.

6.4 Análise de confiabilidade

O ambiente de contratação regulado é altamente confiável no quesito de disponibilidade energética, havendo penalidades caso a distribuidora interrompa o serviço.

Na questão de estabilidade de preço, o ACR está sujeito a tarifação fixa com reajustes anuais pré-estabelecidos, porém há o acréscimo de bandeiras tarifárias em situações de baixa geração de energia elétrica.

O ambiente de contratação livre, assim como o ACR, também possui alta confiabilidade na disponibilidade, havendo penalidades em caso de interrupção do serviço.

Já na questão da estabilidade de preços, a confiabilidade é alta caso não haja excedente no consumo em relação ao contratado, caso isso ocorra o valor incidente na energia excedida será o cotado no mercado de curto prazo pelo PLD.

Na opção por gerar a própria energia a confiabilidade está ligada ao risco de paralização do sistema, seja por falha ou falta de insumos. As falhas podem ocorrer de acordo com a qualidade do material utilizado e do serviço de manutenção e operação, sendo um risco moderado que precisa ser gerido.

6.5 Análise de segurança

Para a análise dos riscos à segurança foram utilizados os estudos de Fernandes (2013), que disserta sobre os riscos físicos e químicos em tratamento de efluentes utilizando biodigestores e a Metodologia de Análise de Risco elaborada por Aguiar (2009). Os cenários serão graduados quanto a segurança seguindo o método classificação de risco, representado pela Tabela 20, através da definição da severidade e da frequência de que ocorra um acidente.

Tabela 21 – Características de severidade dos perigos identificados

Severidade		Frequência		Risco	
I	Desprezível	A	Extremamente Remota	1	Desprezível
II	Marginal	B	Remota	2	Menor
III	Crítica	C	Improvável	3	Moderado
IV	catastrófica	D	Provável	4	Sério
		E	Frequente	5	Crítico

Fonte: Aguiar, 2009.

O risco presente no mercado regulado é definido como remoto, em relação à frequência, porém crítico, em relação à severidade, pois está associado principalmente com choques elétricos no sistema de distribuição ou na própria instalação do consumidor. Assim como no ACR, no ACL o risco é associado a choques elétricos e definido como remoto e crítico. O sistema de geração por biogás além de choque elétrico, há o risco de acidentes de trabalho nos serviços de manutenção e operação, e de explosão por vazamento, alta temperatura, faíscamento ou algum

outro problema no sistema que armazena o biogás, devido à alta inflamabilidade, assim, o risco será definido como improvável, quanto a frequência e catastrófico, quanto a severidade.

Após a definição de frequência e severidade do risco à segurança do trabalhador para todos os cenários propostos, a matriz de classificação de risco, exibida na Figura 9, indicará o grau do risco à segurança presente em cada um.

Figura 10 – Matriz de classificação de risco

		FREQUÊNCIA				
		A	B	C	D	E
SEVERIDADE	IV	2	3	4 GP	5	5
	III	1	2 ACR ACL	3	4	5
	II	1	1	2	3	4
	I	1	1	1	2	3

Fonte: Aguiar, 2009.

Pela Matriz de Classificação de Risco e com os níveis de frequência e severidade já definidos para cada cenário, é indicado os graus de risco à segurança, sendo, risco menor para o ACR e o ACL e risco sério para a geração própria, para ambos os perfis de consumo.

6.6 Análise geral dos resultados

De acordo com as análises explícitas nos itens anteriores nota-se que a opção de gerar a própria energia tem uma grande vantagem do ponto de vista financeiro. Porém, é necessário levar em conta a necessidade de gerenciar uma usina de geração de energia à biogás, o que envolve riscos e demanda tempo.

A análise ambiental não expõe vantagens significantes entre o mercado livre e a geração própria, já que, ambas não possuem grandes discrepâncias entre os benefícios e malefícios para o meio ambiente.

Já as análises de segurança e vida útil indicam uma vantagem em migrar para o mercado livre, pois este não possui carência de investimentos para manter a vida útil, e o nível de segurança de trabalho é muito maior, já que não existe operação em área com risco de explosão.

No quesito confiabilidade da energia estar disponível e dos valores anuais pagos não terem uma grande alta, é observado que migrar para o mercado livre é mais vantajoso para o perfil de consumo *flat*, pois este não necessita de energia excedente ao contratado. Para o perfil de consumo sazonal é mais confiável, em questão de volatilidade dos gastos, a geração própria.

Sendo assim, baseado no panorama geral apresentado na Tabela 21, o consumidor pode optar pelo cenário que melhor se enquadra no seu perfil de consumo e nas suas prioridades (financeira, confiabilidade ou segurança).

Para o caso do perfil sazonal com prioridade financeira ou em confiabilidade, o melhor cenário é a geração própria, mas para prioridade em segurança, a migração para o mercado livre é o mais indicado.

Para o perfil de consumo *flat*, a geração própria é indicada apenas para priorização da questão financeira, para a confiabilidade ou segurança, o cenário que melhor atende ao consumidor proposto, é a migração para o ACL.

Tabela 22 – Análise Geral dos cenários propostos

Tipo de análise	Cenário	Consumidor Sazonal	Consumidor <i>Flat</i>
Financeira	ACR	R\$ 3.346.642,78	R\$ 3.314.616,90
	ACL	R\$ 2.689.532,43	R\$ 2.633.674,10
	Geração própria	R\$ 2.304.285,39	
Ambiental	ACR	Pouco relevância	
	ACL	Impacto favorável	
	Geração própria		
Vida útil	ACR	Indeterminado	
	ACL		
	Geração própria	10 anos	
Confiabilidade	ACR	Confiabilidade alta	
	ACL	Confiabilidade média	Confiabilidade alta
	Geração própria	Confiabilidade média	
Segurança	ACR	Risco menor	
	ACL		
	Geração própria	Risco sério	

Fonte: Autoria própria, 2017.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho se propôs a encontrar uma alternativa mais atrativa, que o Ambiente de Contratação Regulado, para a comercialização de energia elétrica. Os cenários sugeridos para o consumidor foram a migração para o Ambiente de Contratação Livre ou a geração própria de energia por meio da biodigestão e obtenção do biogás.

Os consumidores alvo do estudo são empresas alimentícias que propiciem o uso dos resíduos orgânicos produzidos para gerar energia e possuam nível de demanda energética tal que, se enquadre nos requisitos de consumidor potencialmente livre ou especial. Foi sugerido para este trabalho um restaurante industrial, com demanda média mensal de 900 kW, que produz cerca de 45 mil refeições diárias. Os cenários alternativos foram projetados a partir dos gastos com energia no cenário de contratação pelo ambiente regulado, calculados a partir da caracterização da empresa para dois perfis de consumo, um *flat* e outro sazonal.

O projeto do cenário de geração própria se apresentou mais atrativo economicamente, porém, demanda mais tempo para implantação e apresenta mais riscos à segurança do trabalhador durante a manutenção e operação. A diferença entre os perfis de consumo não tem influência significativa no projeto deste cenário, pois a média de energia consumida entre eles é muito próxima.

Para a alternativa de migração para o Ambiente de Contratação Livre, a diferença entre os perfis de consumo é significativa devido a necessidade de contratação de energia extra pelo consumidor sazonal durante o período de alta demanda, o que traz menos confiabilidade para este sistema. Este fato torna esse cenário mais interessante para o consumidor com perfil *flat*, além de apresentar menor risco à segurança e ser mais confiável.

Como explicitado na análise geral dos resultados a escolha de qual cenário melhor atende ao consumidor proposto depende das prioridades e da gestão de risco que o mesmo deseja correr, sendo até possível a decisão pela permanência no ACR em caso de não desejar correr risco nenhum, pois este é o cenário mais seguro e mais confiável, porém, o menos atrativo economicamente.

7.1 Trabalhos futuros

A partir da elaboração deste trabalho poderá ser realizado um estudo mais aprofundado sobre a migração para o mercado livre, com a análise da migração para consumidores especiais, o impacto da escolha de compra de energia incentivada e o potencial de ganho com a compra de energia no mercado *spot*.

Na geração própria ainda podem ser feitos estudos acerca do reuso da água no processo de biodigestão e da utilização do esgoto da empresa junto com os rejeitos para formar o substrato para biodigestão. Outro trabalho que pode ser feito em complemento a este é a comparação da geração de energia por biodigestão com outras fontes de energia renovável, como por exemplo: solar e eólica. Também pode ser feita uma investigação com payback e TIR para uma análise econômica mais firme.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Álvaro Rocha. **Fluxo de Caixa em Risco: Uma Nova Abordagem para o Setor de Distribuição de Energia Elétrica**. 2008. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, PUC, Rio de Janeiro.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica no Brasil, 3ª Edição**. Disponível em: <www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Resolução nº 639, de 27 de dezembro de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 27 dez. 2001. Seção 1, p. 168.

AGUIAR, Laís Alencar de. **Metodologias de Análise de Riscos: APP e Hazop**. 29 f. Rio de Janeiro. [s.d]. Disponível em: <http://files.visaosegura.webnode.com/200000056-584dc5947a/APP_e_HAZOP.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2017.

AGUIAR, Osmani De Souza. **O Mercado Brasileiro de Energia Elétrica: Critérios de Decisão na Migração de Consumidores para o Ambiente de Contratação Livre**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

AMBIENTE ENERGIA. **Brasil desperdiça potencial do biogás na geração de energia**. 2016. Disponível em: < <https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2016/07/brasil-desperdica-potencial-biogas-na-geracao-de-energia/29759>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

BANCO DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO – BIG. **Matriz de Energia Elétrica**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

BIOENERGIA: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação. 2004. 242 f.

BRASIL. Lei nº 9074, de 7 de julho de 1995. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1995/lei-9074-7-julho-1995-347472-norma-atualizada-pl.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9074, de 7 de julho de 1995**. Criação do PIE e Consumidor livre. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1995/lei-9074-7-julho-1995-347472-norma-atualizada-pl.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9648, de 27 de maio de 1998**. Estabelece a livre negociação de compra e venda de energia e diferencia a contratação de energia e de acesso. Disponível em: <

<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1998/lei-9648-27-maio-1998-366346-norma-atualizada-pl.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2016.

BRASIL. **Lei nº 9427, de 26 de dezembro de 1996.** Criação da ANEEL e dos consumidores especiais. Disponível em: < <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1996/lei-9427-26-dezembro-1996-366792-norma-atualizada-pl.pdf> >. Acesso em: 15 abr. 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Guia de habilitação Biomassa.** Disponível em: < <http://www.eletrobras.com/elb/ProinfA/data/Pages/LUMISABB61D26PTBRIE.htm> >. Acesso em: 20 nov. 2016.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Evolução do mercado brasileiro de energia elétrica.** 2016. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/paginas/ccee_apresentacoes.asp?pag=1>. Acesso em: 11 jan. 2017.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **InfoPLD fevereiro de 2017.** Disponível em: < www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?_adf.ctrl-state=15d1t10sx2_4&_afLoop=738929920150265 >. Acesso em: 01 mar. 2017.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **InfoPLD janeiro de 2016.** Disponível em: < www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/infomercado?_adf.ctrl-state=15d1t10sx2_4&_afLoop=738929920150265 >. Acesso em: 20 dez. 2016.

CASTRO, R. S. D.; VIEITES, R. L.; DAIUTO, E. R. Boas Práticas no Consumo de Energia em Restaurantes da Cidade de Botucatu. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 1, p. 94-97, jan/mar 2015.

CATERPILLAR. **Grupo Geradores a gás.** Disponível em: < http://www.cat.com/pt_BR/products/new/power-systems/electric-power-generation.html >. Acesso em: 05 abr. 2017.

CENTRO DE ESTUDOS EM REGULAÇÃO E INFRAESTRUTURA. **A formação de preços no Mercado Livre de Energia Elétrica e seus reflexos ao longo da cadeia até o consumidor final.** Disponível em: <<http://mme.gov.br/documents/10584/4033411/1+-+Forma%C3%A7%C3%A3o+dos+pre%C3%A7os,+subs%C3%ADdios,+transfer%C3%AAncias+e+seus+impactos+na+efici%C3%Aancia+econ%C3%B4mica.pdf/013588fd-666e-486b-bcb3-4e186f76955f>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

CIBIOGÁS ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Granja São Pedro Colombari.** 2010. Disponível em: <<https://cibiogas.org/colombari>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

COSTA, J. M. F. N. **Temperatura Final de Carbonização e Queima dos Gases na Redução de Metano, como Base à Geração de Créditos de Carbono.** 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS - DIEESE. **Comportamento das tarifas de energia elétrica no Brasil**: Nota técnica número 147. 2015. Disponível em: <www.dieese.org.br/notatecnica/2015/notaTec147eletricidade.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2016.

EBERSPACHER, Gisele. **WWF divulga estudo sobre fontes alternativas de energia elétrica**. 2012. Disponível em: <<http://atitudesustentavel.com.br/blog/2012/08/27/wwf-divulga-estudo-sobre-fontes-alternativas-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 15 set. 2016.

ELETROBRÁS. **História da Eletricidade no Brasil**. 2012. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx>. Acesso em: 15 set. 2016.

ELETROBRÁS. **Manual de Tarificação da Energia Elétrica**. 2011. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

ENGIE ENERGIA. **Cadeia comercial**. 2016. Disponível em: <<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/negocios/conheca-o-mercado-de-energia/cadeia-comercial>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

FARIA, Samuel Travalão. **Redução de Custos com Mercado Livre de Energia**. Artigo – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

FERNANDES, Dangel Maria. **Análise de Riscos Físicos e Químicos em Sistemas de Tratamento de Efluentes utilizando Biodigestores no Meio Rural**. 2013. 73 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica do Paraná, Medianeira, 2013.

FRIAS, Maria. Mercado Aberto: Migração para o mercado livre atinge recorde. **Folha de São Paulo**, São Paulo, pg. 2, 21 mar. 2016.

HAACK, S.C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano**. 2009. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Ciências Econômicas, Salvador, 2009.

INTERNATIONAL GAS UNION - IGU. **Biogas – from refuse to energy**. Relatório. 2015. Disponível em: <http://www.igu.org/sites/default/files/node-page-field_file/IGU%20Biogas%20Report%202015.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2017.

INVESTING. **Créditos Carbono Futuros – Dez. 2017**. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

MEDEIROS, Carolina. **Consumidores Especiais: Mercado promissor**. Disponível em: <www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Retrospectiva.asp?id=82631&a=2011>. Acesso em: 25 abr. 2016.

METZ, Hugo Leonardo. **Construção de um Biodigestor Caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. 2013. 40 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia) – Programa de Pós-Graduação em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PALHARES, J.C.P. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: aprendendo com o passado para entender o presente e garantir o futuro**. 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: < http://www.infobibos.com/Artigos/2008_1/Biodigestao/index.htm > Acesso em: 13 nov. 2016.

PISTORELLO, J.; CONTO, S. M.; ZARO, M. Geração de Resíduos Sólidos em um restaurante de um Hotel da Serra Gaúcha, Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 337-346, jul/set 2015.

REPLACE CONSULTORIA. **Mercado de Energia Elétrica**. São Paulo, nº 105, 30 jan. 2017. Disponível em: <<http://replaceconsultoria.com.br/wp-content/uploads/2017/01/105-16-Mercado-de-Energia-El%C3%A9trica.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2017.

SISTEMA FIRJAN. **Quanto custa a Energia Elétrica para Pequena e Média Indústria no Brasil?** Jul. 2016. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A559C8BA001563303D3744A1B&inline=1>>. Acesso em: 06 abr. 2017.

SOUSA, Alexandra Filipa Parente. **Análise do Desempenho Energético de Cozinhas Industriais**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

VEIGA, D.S.; FONSECA, V.M. **Análise do consumo de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 2002, p.94. Monografia. ENCE.

VELOSO, Alessandro Vieira. **Análise Ambiental e Energética de Sistema de Produção de Suínos com Tratamento de Dejetos em Biodigestor**. 2014. 193 f. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

VOTARANTIM ENERGIA. **Mercado livre de energia**. 2011. Disponível em: <<http://www.venergia.com.br/comercializacao/Paginas/Mercado-livre-de-energia.aspx>>. Acesso em: 15 set. 2016.