

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

MICHAEL LUTHER HOLZ DITBENNER

**MODELAGEM DA INSERÇÃO DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
DE FONTES DE BIOMASSA ATRAVÉS DA DINÂMICA DE SISTEMAS**

Porto Alegre

2014

MICHAEL LUTHER HOLZ DITBENNER

**MODELAGEM DA INSERÇÃO DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
DE FONTES DE BIOMASSA ATRAVÉS DA DINÂMICA DE SISTEMAS**

Projeto de Diplomação apresentado ao
Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para Graduação em
Engenharia Elétrica

ORIENTADORA: Prof^ª. Dr^ª. Gladis Bordin

Porto Alegre

2014

MICHAEL LUTHER HOLZ DITBENNER

**MODELAGEM DA INSERÇÃO DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA
DE FONTES DE BIOMASSA ATRAVÉS DA DINÂMICA DE SISTEMAS**

Este Projeto de Diplomação foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica e aprovado em sua forma final pela Orientadora e pela Banca Examinadora.

Prof^ª. Dr^ª. Gladis Bordin, UFRGS

Prof. Ph.D. Altamiro Amadeu Susin, UFRGS

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Gladis Bordin (Prof^ª. Dr^ª.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Flávio Antônio Becon Lemos (Prof. Dr.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Valdirene Verdum (Prof^ª. MSc.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois dele provém todas as coisas.

Agradeço aos meus pais Uberaldo e Márcia, pelo sustento, carinho e apoio incondicionais.

Aos meus tios Newton e Mirlânia, pela oportunidade e apoio sempre presentes.

Aos tios Arno e Neide, pelos conselhos e pela companhia no decorrer de toda caminhada.

Aos meus irmãos Richard e Thalita, pela amizade e companheirismo.

Aos professores do departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelo ensino proporcionado, em especial à professora Gladis Bordin, pelo incentivo e orientação na elaboração deste projeto de diplomação.

Aos amigos e demais familiares, pelos momentos de alegria, diversão e descontração.

*“Com efeito, grandes coisas fez o Senhor por nós;
por isso, estamos alegres.”*

(Salmo 126.3)

RESUMO

Com a publicação da Resolução Normativa 482, possibilitou-se a inserção nas redes de distribuição das empresas concessionárias, de energia elétrica gerada por meio da utilização de potenciais energéticos renováveis. O presente trabalho visa desenvolver um modelo, com o uso da técnica de Dinâmica de Sistemas, para possibilitar a análise do comportamento da inserção da micro e minigeração distribuída, provenientes de fontes energéticas de biomassa, na área de concessão da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D), visando assim auxiliar à tomada de decisão do consumidor.

Para tanto foram observados os aspectos regulatórios, bem como pesquisadas as variáveis que contribuem para a tomada de decisão dos consumidores, quanto a investir em micro e minigeração de fontes de biomassa, de modo a compreender as relações de causa e efeito entre cada uma delas. Os resultados mostram que a adesão deve acontecer de forma restrita inicialmente, pela falta de informações e alto custo de implementação, porém poderá ter um crescimento acentuado, com os avanços da publicidade e do pensamento ecológico.

Palavras-chave: micro e minigeração distribuída; biomassa; Dinâmica de Sistemas.

ABSTRACT

With the publication of the normative resolution 482, was created the possibility of insertion in the networks of the energy distribution companies, electricity generation by using potential for renewable energy. This document aims to develop a model using the technique of system dynamics to enable the behavior analysis of the insertion of micro and mini distributed generation from biomass energy sources in the concession area of the Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D), aiming to assist the consumer decision making.

For that, regulatory aspects had been observed and the variables that contribute to the decision of consumers was surveyed, concerning to invest in micro and mini generation of biomass sources in order to understand the cause and effect between each one of them. The results showed that the adhesion should occur initially restricted due to lack of information and high implementation cost but should have an accentuated growth with advances in advertising and ecological thinking.

Keywords: micro and mini distributed generation; biomass; System Dynamics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional em sábados, domingos e feriados	17
Figura 2: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional em dias úteis	18
Figura 3: Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa	21
Figura 4: Sistema descontínuo (batelada) de produção de biogás	25
Figura 5: Diagrama esquemático do biodigestor tipo Indiano	26
Figura 6: Modelo de biodigestor em manta de laminado de PVC	26
Figura 7: Modo de Referência	32
Figura 8: DLC - Decisão do consumidor	33
Figura 9: DLC – Principal	34
Figura 10: Modelo Computacional - Decisão Do Consumidor	40
Figura 11: Modelo Computacional – Modelo Principal	42
Figura 12: Submodelo computacional – Potencial e incentivos	44
Figura 13: Submodelo computacional – Fatura de EE e Valor Economizado	45
Figura 14: Submodelo computacional – Produção Industrial e Setor de Serviços	46
Figura 15: Submodelo computacional – Custos e Tempo de Retorno	47
Figura 16: Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica de biomassa	49
Figura 17: Decisão do Consumidor no cenário atual	53
Figura 18: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa no cenário atual	54
Figura 19: Decisão do Consumidor para os demais cenários	56
Figura 20: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa nos demais cenários	57
Figura 21: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa para a simulação com melhoria da Renda e Índice de Educação	58
Figura 22: Potencial Utilizado em termos percentuais para a simulação com melhoria da Renda e Índice de Educação	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores da variável Tecnologia	35
Quadro 2: Valores da Variação Tarifas	37
Quadro 3: Valores do Índice de Educação	38
Quadro 4: Valores do indicador FEC	38
Quadro 5: Valores do indicador FEC limite	39
Quadro 6: Valores do indicador DEC	39
Quadro 7: Valores do indicador DEC limite	39
Quadro 8: Valores apurados para o decremento no valor das variáveis	51
Quadro 9: Valores apurados para o incremento no valor das variáveis	52
Quadro 10: Valores referentes ao cenário atual	53
Quadro 11: Comparativo entre cenários no período de 2015 a 2020	55
Quadro 12: Comparativo entre cenários no período de 2021 a 2025	56
Quadro 13: Comparativo entre cenários no período de 2026 a 2030	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDL	Câmara de Dirigentes Lojistas
CEEE-D	Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
DLC	Diagrama de Laço Causal
EE	Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GEE	Gases de Efeito Estufa
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MME	Ministério de Minas e Energia
MR	Modo de Referência
ONS	Operador Nacional do Sistema
REN	Resolução Normativa
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
RS	Rio Grande do Sul
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Tarifa de energia elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	O PROBLEMA	13
1.3	OBJETIVO	13
1.4	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	13
2	ASPECTOS REGULATÓRIOS	15
2.1	DEFINIÇÕES	15
2.2	ACESSO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO	18
2.3	SISTEMA DE MEDIÇÃO E FATURAMENTO	19
2.4	CONSIDERAÇÕES	20
3	BIOMASSA	21
3.1	BIOMASSA ANIMAL	22
3.1.1	Biodigestor	23
3.1.1.1	Tipos de Biodigestores	24
3.1.2	Biogás	27
3.1.3	Biofertilizante	27
3.2	BIOMASSA VEGETAL	27
3.2.1	Centrais a combustão	28
3.2.2	Gaseificação da biomassa	29
4	MODELO PROPOSTO	30
4.1	CONHECIMENTO DO SISTEMA	30
4.2	ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO	31
4.3	MODELO TEÓRICO – DIGRAMA DE LAÇO CAUSAL	32
4.4	ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS	35
4.5	MODELO COMPUTACIONAL – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXOS	39
4.5.1	Submodelo computacional - Potencial e Incentivos	43
4.5.2	Submodelo computacional – Fatura de EE e Valor Economizado	45
4.5.3	Submodelo computacional – Produção Industrial e Setor de Serviços	46
4.5.4	Submodelo computacional – Custos e Tempo de Retorno	47
4.5.5	Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica de biomassa	49
5	RESULTADOS	51

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	51
5.2 CENÁRIOS	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1 CONCLUSÕES	60
6.2 TRABALHOS FUTUROS	61
ANEXO A - CONCEITOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS	62
ANEXO B – CÁLCULO DO POTENCIAL INICIAL	70
REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos tem sido crescente a abordagem do planejamento sustentável, amplificando a atenção com o meio ambiente, e políticas que promovam esta ideologia tem sido criadas com vistas a dar sustento a estes ideais.

Neste contexto, em abril de 2012, foi publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a Resolução Normativa 482, que em essência, criou a oportunidade de pequenos geradores de energia elétrica injetarem na rede das empresas distribuidoras, energia proveniente de micro e minigeração, recebendo em contrapartida créditos, os quais são utilizados para compensar o consumo, reduzindo a fatura de energia elétrica.

Somados a estes aspectos, têm-se o grande potencial de fontes de biomassa a ser aproveitado, o qual muitas vezes é desperdiçado, como os resíduos animais que, em geral, são descartados, inutilizando uma grande quantidade de energia entre outros aproveitamentos, como o subproduto fertilizante, que poderiam estar contribuindo para o crescimento da matriz energética brasileira sustentável.

Com o crescente aumento da população, e o conseqüente aumento da demanda por energia elétrica, seja para consumo direto nas residências, seja nas indústrias e demais setores da economia, torna-se imprescindível a busca por novos empreendimentos e até mesmo novas formas de se gerar energia, para suprir a demanda que se apresenta.

O Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2022 [1], realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mostra que entre os anos de 2013 e 2022, a taxa média de crescimento do consumo de energia elétrica na rede será de 4,14% ao ano, aumentando de 466,6 TWh no início de 2013 chegando a 672 TWh ao final de 2022.

Tendo em vista estes fatores, surge a necessidade de incremento constante da capacidade de geração, além da diversificação das fontes energéticas, como forma de aproximar as fontes das cargas, minimizando investimentos tanto em linhas de transmissão quanto em subestações.

Como alternativa para este cenário surge a micro e minigeração distribuída, a qual, possibilita expansão da matriz energética, aliada à proximidade destas fontes com as plantas consumidoras.

1.2 O PROBLEMA

Sabendo do grande potencial energético existente de fontes de biomassa, e entendendo as perspectivas e necessidades do sistema elétrico brasileiro como um todo, procura-se com este projeto de diplomação, elaborar um modelo que permita analisar o comportamento dinâmico da inserção da micro e minigeração distribuída de energia elétrica, cuja fonte energética é a biomassa.

O modelo proposto, além de possibilitar a estimativa da geração de energia, serve como ferramenta de auxílio no estudo do comportamento da adesão dos consumidores à micro e minigeração distribuída, indicando variáveis explicativas, que dependem de maiores incentivos para que a expansão da micro e minigeração possa ter o desempenho esperado.

1.3 OBJETIVO

Desenvolver um modelo para análise do comportamento dinâmico de inserção da micro e minigeração distribuída oriundas de fontes energéticas de biomassa, dentro da área de concessão da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D), utilizando a técnica de Dinâmica de Sistemas.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Para atingir o objetivo do estudo, este trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo este primeiro introdutório.

No Capítulo 2 são abordadas as principais resoluções e demais documentos e aspectos regulatórios envolvidos na análise da micro e minigeração distribuída e o sistema de compensação.

O Capítulo 3 introduz os conceitos fundamentais da fonte energética de estudo, a biomassa. Nele são explanados os principais métodos de aproveitamento do potencial energético, além de um panorama geral sobre o tema.

No Capítulo 4 é apresentado o modelo proposto, os diagramas e a metodologia de análise, seguindo as premissas da Dinâmica de Sistemas.

No Capítulo 5 os resultados obtidos são descritos, assim como as simulações, testes e análises realizados.

O Capítulo 6 contém as conclusões obtidas, as quais servem de balizamento para a tomada de decisões e sugestões sobre alterações em aspectos regulatórios e econômicos.

Complementando o trabalho, encontram-se dois anexos. O primeiro apresenta os conceitos da técnica de Dinâmica de Sistemas, suas etapas principais, para análise do modelo proposto. O segundo anexo apresenta a metodologia utilizada para o cálculo do potencial inicial.

2 ASPECTOS REGULATÓRIOS

Desde a publicação da Resolução Normativa (REN) 482, pela ANEEL [2], foram estabelecidas as condições para o acesso aos sistemas de distribuição de energia elétrica da micro e minigeração distribuída, assim como ao sistema de compensação. Este capítulo visa apresentar as resoluções principais e demais publicações envolvidas neste contexto.

2.1 DEFINIÇÕES

Inicialmente, apresenta-se algumas definições referentes ao contexto de micro e mini geração distribuída, visando auxiliar o leitor.

A ANEEL, através do módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) [3], define a geração distribuída como sendo as centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

Quanto aos critérios para especificar o tipo de geração distribuída, a ANEEL por meio da REN 482 [2] define como microgeração distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada inferior ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. A minigeração distribuída é definida como sendo a central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e inferior ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Com respeito ao sistema de compensação, a REN 517 [4] substituiu a redação original da REN 482, e definiu-o como sendo o sistema no qual a energia ativa, injetada por meio de unidades consumidoras com micro e mini geração, é cedida à empresa distribuidora da área de concessão da unidade consumidora por meio de empréstimo gratuito, para posterior compensação do consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outras unidades consumidoras, cujo titular possua o mesmo

Cadastro de Pessoas Físicas (CPF) ou Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) daquele cuja unidade consumidora gerou os créditos.

Conforme o que cita a REN 414 [5], retificada pelas REN 418 [6] e REN 479 [7], algumas definições sobre grupos tarifários, entre outros aspectos, de importância no contexto da micro e mini geração são descritos a seguir.

A respeito dos grupos consumidores, estes podem ser divididos em unidades consumidoras do grupo A e unidades do grupo B. Aquelas agrupadas como sendo do grupo A são as unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior à 2,3kV, ou cujo fornecimento de energia é realizado a partir de sistema subterrâneo de distribuição. As unidades definidas como sendo do grupo B são aquelas cujo fornecimento é feito em tensão inferior à 2,3kV, de maior interesse no presente trabalho, subdivididas em:

- Subgrupo B1: unidades consumidoras residenciais;
- Subgrupo B2: unidades consumidoras rurais;
- Subgrupo B3: demais unidades consumidoras; e
- Subgrupo B4: iluminação pública.

Com o objetivo de conscientizar os consumidores com relação ao consumo consciente de energia elétrica, a partir de 2015, as faturas de energia passarão a contar com a implantação do sistema de bandeiras tarifárias. A REN 479 [7] define as bandeiras tarifárias como o sistema tarifário que tem como finalidade sinalizar aos consumidores faturados pela distribuidora por meio da Tarifa de Energia, os custos atuais da geração de energia elétrica. As bandeiras serão definidas de acordo com cada subsistema que compõem o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Este sistema visa apresentar o custo mensal adicional de compra de energia por parte das distribuidoras, de acordo com as condições de geração de eletricidade em cada mês, custo este que já é considerado no cálculo de reajuste das tarifas a cada ano. A divisão é feita em três tipos de bandeiras, e indicam:

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não possui nenhum acréscimo;

- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa possui acréscimo de R\$ 1,50 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido;
- **Bandeira vermelha:** condições mais custosas de geração. A tarifa tem acréscimo de R\$ 3,00 para cada 100 kWh consumido.

Essa sinalização dá, ao consumidor, a oportunidade de adaptar seu consumo, se assim desejar. Neste mesmo pensamento consciente, foi proposto pela agência reguladora uma nova modalidade tarifária, denominada Tarifa Branca.

A Tarifa Branca é uma nova opção de tarifa, que sinaliza aos consumidores a variação do valor da energia conforme o dia e o horário do consumo. Ela é oferecida para as instalações em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 Volts). Com a Tarifa Branca, o consumidor passa a ter a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana [8].

Ao adotar hábitos que priorizem o uso da energia fora do período de ponta, período composto por 3 horas consecutivas que possuem maior demanda por energia (posto tarifário ponta, definido pela REN 479 [7]), e na hora que antecede e precede o período de ponta, o consumidor tem a oportunidade de reduzir o valor pago pela energia consumida.

Figura 1: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional em sábados, domingos e feriados.

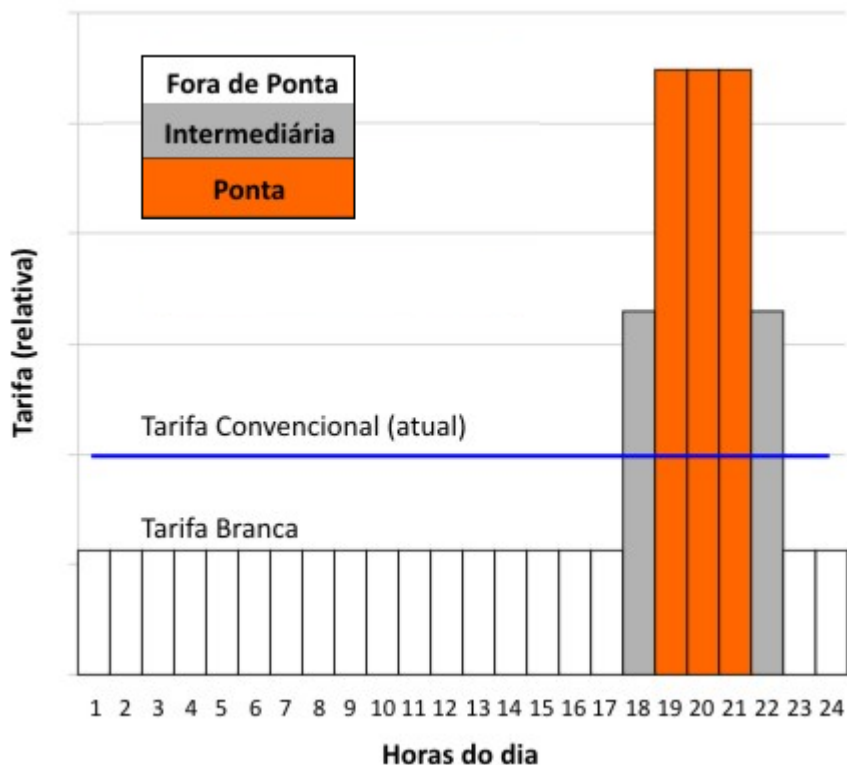


Fonte: Adaptado de Espaço do consumidor, ANEEL [8].

As Figuras 1 e 2 ilustram a comparação entre as tarifas branca e convencional. Nos dias úteis, o valor Tarifa Branca varia em três horários: ponta, intermediário e fora

de ponta. Na ponta e no intermediário, a energia é mais cara. Fora de ponta, é mais barata. Nos feriados nacionais e nos finais de semana, o valor é sempre fora de ponta.

Figura 2: Comparativo entre a Tarifa Branca e a Tarifa Convencional em dias úteis.



Fonte: Adaptado de Espaço do consumidor, ANEEL [8].

2.2 ACESSO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Atualmente as empresas de distribuição de energia elétrica são obrigadas a atender aos pedidos de acesso de micro e mini geradores aos seus sistemas, devendo, portanto, os seus sistemas comerciais e técnicos estarem adequados para atender às solicitações. Por meio do módulo 3 do PRODIST [3], a ANEEL estabelece os termos e procedimentos pertinentes, descrevendo as condições que devem ser satisfeitas tanto pelos requerentes quanto pelas acessadas.

Os “prosumidores” (do termo em língua inglesa “prosumers”), termo utilizado para caracterizar os usuários do sistema elétrico brasileiro que, além de consumidores, também geram energia elétrica, ficam dispensados da celebração de contratos de uso e conexão, bastando aos microgeradores a celebração de um Relacionamento Operacional, e aos minigeradores, um Acordo Operativo.

A capacidade de geração ou potência instalada do sistema micro/mini gerador fica restrita à carga instalada ou demanda contratada, nos casos de consumidores do grupo B ou A, respectivamente. Em caso de interesse pela instalação de sistemas com potência superior, deverá ser solicitado o aumento da carga instalada ou demanda contratada.

A energia ativa gerada pelas unidades participantes do sistema de compensação, é transformada em créditos, que deverão ser utilizados para compensação da quantidade de energia ativa consumida e em um prazo máximo de 36 meses, não havendo, portanto, a possibilidade de venda e/ou recebimento em unidades monetárias.

2.3 SISTEMA DE MEDIÇÃO E FATURAMENTO

Ao interessado em implantar a micro e mini geração distribuída, ficam encarregados os custos de adequação do sistema de medição, sendo estes a diferença entre os custos dos equipamentos necessários ao sistema de compensação e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras de mesma classe de tensão. As especificações técnicas determinadas no PRODIST devem ser respeitadas, e após a adequação do sistema de medição, a empresa distribuidora fica encarregada da operação e manutenção, incluindo eventuais custos.

Com relação à fatura de energia elétrica, a REN 517 [4] determina que o consumo de energia ativa a ser faturado deve ser dado pela diferença entre a energia consumida e a injetada. Em casos que haja diferenciação de tarifa por posto tarifário, deverá ser realizada a compensação por posto tarifário. Havendo excedente de energia gerada após a compensação em determinado posto tarifário dentro de um ciclo de faturamento, a mesma deverá ser utilizada para a compensação do consumo nos demais postos tarifários, respeitando a relação entre os valores das tarifas de energia (TE).

O custo mínimo de cada fatura deverá ser determinado pelo custo de disponibilidade de energia para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme estabelece a REN 482 [2].

Os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, possuidor do

mesmo CPF ou CNPJ [4]. Caso ainda haja excedente de energia injetada após realizada a compensação em todos os postos tarifários e unidades consumidoras, deverá ser utilizada para abater o consumo medido em meses subsequentes, expirando estes 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento e serão então revertidos em prol da modicidade tarifária.

A fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente em quilowatt-hora (kWh), por posto tarifário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo [4].

2.4 CONSIDERAÇÕES

Nos casos em que a micro e minigeração provoque danos ao sistema da distribuidora ou mesmo às instalações e equipamentos de outras unidades consumidoras, a distribuidora deve exigir a instalação de equipamentos corretivos ou pagamento das obras destinadas à correção do sistema elétrico, assim como ressarcimento de indenizações por danos aos equipamentos de outras unidades consumidoras, caso sejam comprovadas como causas a geração distribuída.

Em sendo constatada deficiência técnica ou falta de segurança nas instalações da unidade consumidora, a distribuidora deverá suspender o fornecimento, evitando assim riscos de danos às pessoas e ao sistema elétrico.

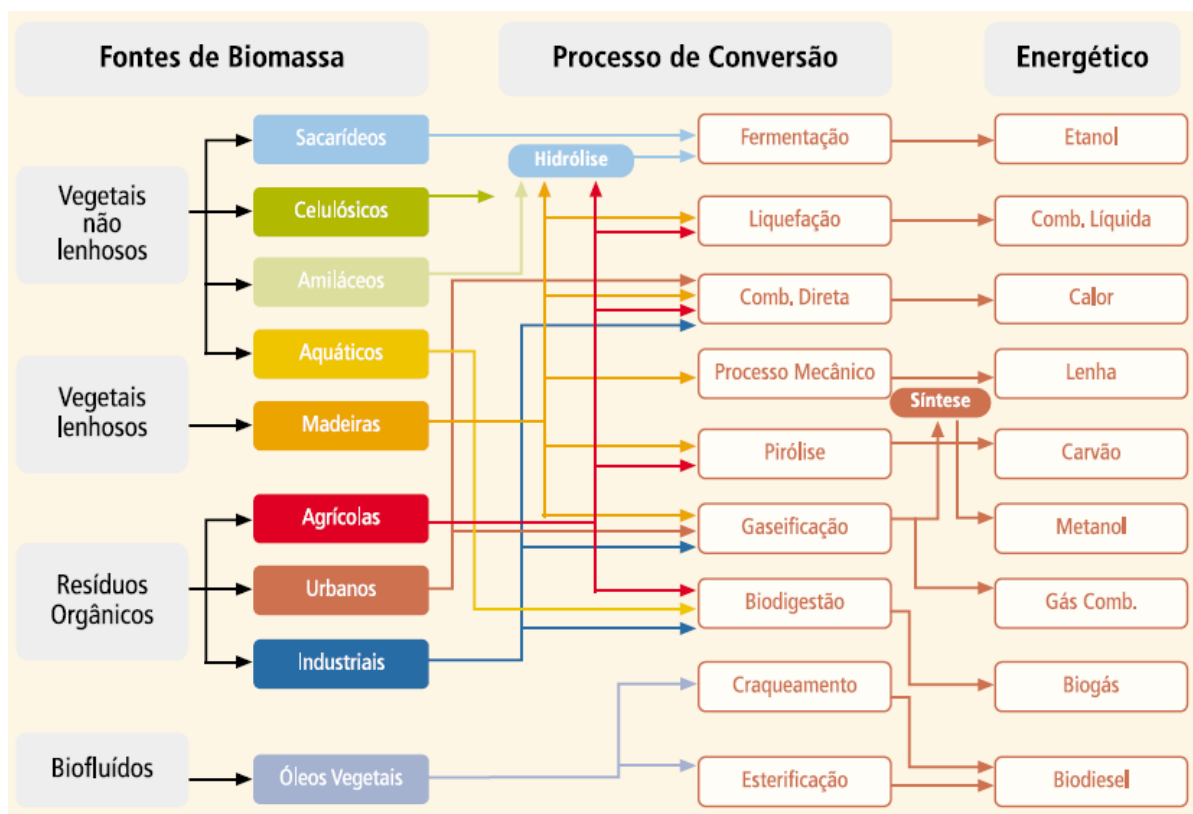
Caso seja comprovado que houve irregularidade na unidade consumidora, os créditos de energia ativa gerados no respectivo período não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica [2].

3 BIOMASSA

No setor elétrico, todo recurso renovável proveniente de matéria orgânica seja de origem vegetal ou animal que possa ser utilizado para produção de energia é considerado Biomassa. Sua origem se dá através da fotossíntese, onde a energia solar é convertida em energia química nos processos biológicos dos seres vivos.

De acordo com o tipo de biomassa, seu aproveitamento pode ser feito através da combustão direta, de processos termoquímicos ou por meio de processos biológicos. Na Figura 3 é apresentado um diagrama descrevendo as fontes e seu respectivo processo de conversão e energético.

Figura 3: Diagrama dos processos de conversão energética da biomassa.



Fonte: Adaptado de Atlas de Energia Elétrica, ANEEL [9].

Segundo a ANEEL, atualmente a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica [9].

O exemplo mais conhecido do uso da biomassa é a madeira, a fonte de energia mais antiga que a humanidade conhece. A madeira é composta de celulose, lignina e outros componentes. Para produzir calor durante a combustão da madeira, é requerido oxigênio e liberado dióxido de carbono (CO_2). O uso da biomassa oferece grandes vantagens energéticas, ambientais e econômicas. Além de ser uma fonte de energia renovável, não ocorrem, durante sua utilização, emissões de óxidos de enxofre, responsáveis pelas chuvas ácidas, e nem contribuição para o aumento do efeito estufa, já que o CO_2 emitido é novamente absorvido durante a fotossíntese das plantas [10].

Uma outra importante vantagem é que o aumento na sua utilização pode estar associado à redução no consumo de combustíveis fósseis, como o petróleo e seus derivados, que não são matérias-primas renováveis [11].

A seguir, são apresentados alguns conceitos e formas de aproveitamento da biomassa do tipo animal e vegetal.

3.1 BIOMASSA ANIMAL

A energia dessa biomassa pode ser aproveitada através da conversão biológica. Este tipo de conversão acontece por meio da fermentação anaeróbica, na qual a matéria orgânica se descompõe em presença de bactérias que não necessitam de oxigênio (anaeróbias), que são chamadas metanogênicas porque produzem o chamado biogás, composto principalmente pelo gás metano. O metano recuperado pode ser aproveitado para diferentes aplicações, como por exemplo para cozinhar, esquentar água e como fonte de luz artificial. Além disso, os subprodutos do processo, que são o nitrogênio, o fósforo e o potássio, podem ser usados como fertilizantes [10].

Até há pouco tempo o biogás era simplesmente encarado como um sub-produto, obtido a partir da decomposição anaeróbia de lixo urbano, resíduos animais e de lodos provenientes de estações de tratamento de efluentes domésticos. No entanto, o acelerado desenvolvimento econômico dos últimos anos e a subida acentuada do preço dos combustíveis convencionais, têm encorajado as investigações na produção de energia a partir de novas fontes alternativas e economicamente atrativas, buscando, sempre que possível, criar novas formas de produção energética que possibilitem a conservação dos recursos naturais [10].

A fabricação de energia a partir da biomassa animal é feita através de câmaras anaeróbicas, como biodigestores, que fazem o tratamento dos dejetos animais. Os resíduos da pecuária como, por exemplo, o esterco de gado bovino, suíno, caprino e outros, são elementos importantes na produção de biogás e tem papel fundamental na geração de energia elétrica nas zonas rurais [12].

Os dejetos dos animais podem ser transformados em biogás e dessa forma são eliminados dois problemas básicos das áreas agrícolas: o acesso à energia e o aproveitamento do alto volume de resíduos descartados no meio ambiente. Outra forma de energia que resulta da biomassa animal é o biodiesel, que pode ser produzido a partir dos rejeitos gordurosos de abatedouros. [12]

3.1.1 Biodigestor

O biodigestor é uma câmara na qual ocorre um processo bioquímico denominado digestão anaeróbica, que tem como resultado a formação de biofertilizantes e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono [10].

A digestão anaeróbia é um processo segundo o qual algumas espécies de bactérias que atuam na ausência de oxigênio atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, para produzir compostos mais simples como metano, dióxido de carbono, água, etc, extraíndo, simultaneamente, a energia e os compostos necessários para o seu próprio crescimento. A transformação da matéria orgânica em diversas substâncias químicas, no decurso da fermentação anaeróbia, processa-se através de uma cadeia de degradações sucessivas devidas a diferentes tipos de bactérias [10].

O organismo anaeróbio não pode sobreviver em locais com oxigênio, e por esse motivo no digestor não deve entrar o ar atmosférico. De acordo com a cartilha sobre biomassa [10], publicada pelo Ministério de Minas e Energia (MME), as condições ótimas de vida para os micro-organismos anaeróbios são:

- **Impermeabilidade ao Ar:** nenhuma das atividades biológicas dos micro-organismos, inclusive seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, exigem oxigênio, a cuja presença são eles, de fato, muito sensíveis. A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz dióxido de carbono (CO_2); na

ausência de ar (oxigênio) produz metano. Se o biodigestor não estiver perfeitamente vedado a produção de biogás é inibida.

- **Temperatura adequada:** a temperatura no interior do digestor afeta sensivelmente a produção de biogás. A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C.
- **Nutrientes:** os principais nutrientes dos micro-organismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. A principal fonte de nitrogênio são as dejeções humanas e de outros animais, enquanto que os polímeros presentes nas culturas restantes são os principais fornecedores de carbono.
- **Teor de Água:** o teor de água deve, normalmente, situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor de água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação.
- **pH:** em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre o pH de 6,6 e 7,6. Para valores abaixo de 6,5 a acidez aumenta rapidamente e a fermentação para.
- **Substâncias Tóxicas:** a presença de matérias tóxicas, detergentes e outros produtos químicos deve ser evitada ao máximo, pois basta uma concentração muito baixa destes produtos para provocar a intoxicação e morte das bactérias.

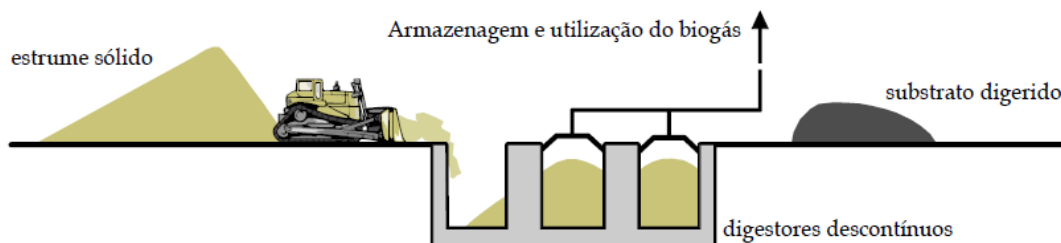
3.1.1.1 Tipos de Biodigestores

Dentre os vários tipos de biodigestores existentes, distinguem-se dois principais, caracterizados pelos processos descontínuo e contínuo. A escolha de um sistema depende, essencialmente, das características do substrato, das necessidades de depuração, da disponibilidade de mão-de-obra e de condições de ordem econômica.

O biodigestor de processo descontínuo, também chamado de batelada (Figura 4), é um modelo simples, próprio para produções pequenas de biogás. Este tipo de digestor recebe um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período adequado à digestão de todo o lote. Trata-se de um tanque de alvenaria, metal ou fibra de vidro, o qual é carregado, fechado e, depois de 15 a 20 dias de fermentação (isso em

função do tamanho do biodigestor), começa a produzir biogás. Depois de usar o gás, o biodigestor de batelada é aberto, descarregado, para logo ser limpo e novamente recarregado, reiniciando o processo. É interessante e recomendável ter duas unidades. Quando um biodigestor começa a produzir, o outro é carregado, e quando acaba o biogás de um, o outro já começa a produzir [10].

Figura 4: Sistema descontínuo (batelada) de produção de biogás.

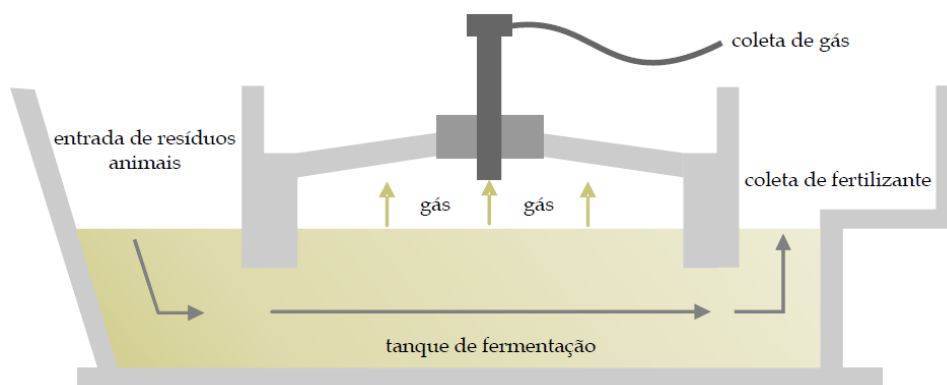


Fonte: Adaptado de Série Energias Renováveis, Biomassa, MME [10].

O biodigestor de processo contínuo, são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado. Os modelos mais conhecidos de biodigestores contínuos são o Indiano (Figura 5) e o Chinês. Ambos são construções que possuem a sua maior parte abaixo do nível do solo. Num sistema contínuo a matéria orgânica é introduzida na cuba de fermentação com uma determinada taxa de diluição (a qual depende do tipo de matéria orgânica a fermentar), onde fica retida durante vários dias. O tempo de retenção resulta de um compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de digestão que se pretende e a temperatura de funcionamento [10].

Depois de carregada a cuba e iniciada a fermentação, impõe-se a estabilização do sistema. É de notar que a estabilização poderá ser demorada e exigir correções. Neste tipo de fermentação, é absolutamente necessária a agitação da matéria orgânica incubada, a fim de evitar a formação de crostas na superfície, bem como a deposição de matéria no fundo, e permitindo uma homogeneização na concentração das bactérias e manutenção de uma temperatura uniforme no interior da cuba. A produção de biogás é uniforme no tempo e a quantidade produzida é função do tipo de matéria orgânica utilizada [10].

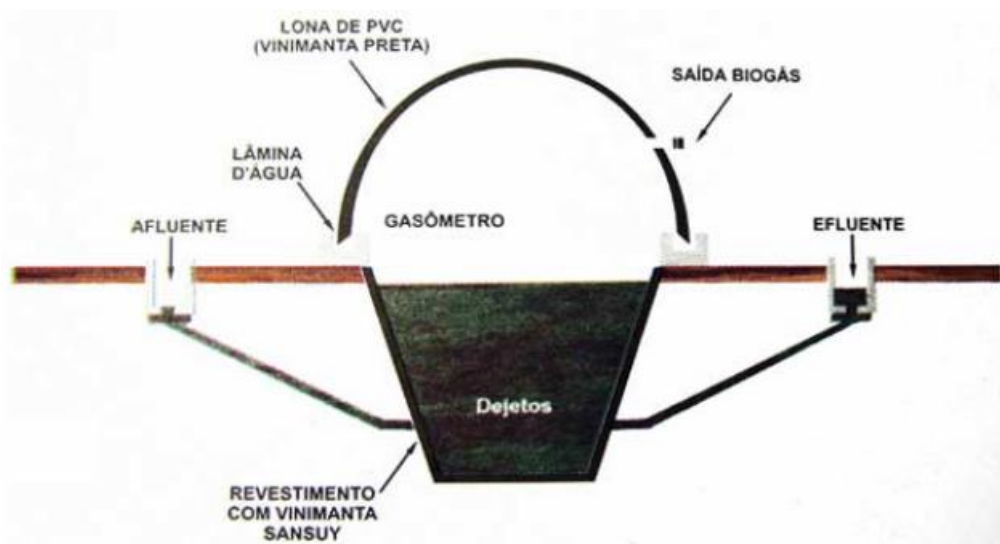
Figura 5: Diagrama esquemático do biodigestor tipo Indiano.



Fonte: Adaptado de Série Energias Renováveis, Biomassa, MME [10].

Entre os tipos de processo contínuo, existe ainda o modelo da Marinha, do tipo horizontal, que tem a largura maior que a profundidade. Sua área de exposição ao sol é maior, com isso é maior a produção de biogás. Sua cúpula é de plástico maleável, tipo PVC (Policloreto de vinila, do termo em inglês, Polyvinyl Chloride), que infla com a produção de gás, como um balão (Figura 6). Devido a isto também é conhecido como tipo lona. Pode ser construído enterrado ou não. A caixa de carga é feita em alvenaria, por isso pode ser mais larga evitando o entupimento. A cúpula pode ser retirada, o que ajuda na limpeza [10].

Figura 6: Modelo de biodigestor em manta de laminado de PVC.



Fonte: Adaptado de Manual de Treinamento em Biodigestão [13].

3.1.2 Biogás

O Biogás é um gás inflamável produzido por micro-organismos, quando matérias orgânicas são fermentadas dentro de determinados limites de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente impermeável ao ar. O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas os outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de alho ou de ovo podre [10].

A presença do gás sulfídrico (H_2S) no biogás, torna-o corrosivo, sendo portanto necessário um tratamento antes de seu uso. Este tratamento consiste em eliminar o gás sulfídrico por meio de uma lavagem com lixívia de Hidróxido de Potássio. O resultado será um sal que poderá ser adicionado ao biofertilizante para enriquecê-lo com enxofre e potássio [10].

3.1.3 Biofertilizante

O biofertilizante é a sobra de biomassa que fica dentro do biodigestor depois que o biogás é produzido. Ao ser retirada e devidamente tratada constitui-se num excelente adubo orgânico para a fertilização do solo e, conseqüentemente, para o desenvolvimento das plantas. Constitui-se em uma fonte de macro e micronutrientes, principalmente o Nitrogênio e Fósforo (principais componentes dos adubos industrializados). Além disso tem grande facilidade de imobilização pelos micro-organismos no solo devido ao avançado grau de decomposição [10].

Por causa da ação das bactérias, o adubo orgânico se apresenta rico em nutrientes e isento de mau cheiro, possuindo excelente qualidade, não atraindo moscas e outros insetos, sendo livre de agentes transmissores de doenças. São reconhecidos os excelentes resultados que se obtêm pela utilização desse material como biofertilizante em culturas agrícolas [10].

3.2 BIOMASSA VEGETAL

As formas vegetais de biomassa, como a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz, casca de coco e resíduos da indústria madeireira e de papel e celulose, são consideradas como nulas em emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), pois durante o

processo de fotossíntese das plantas, o dióxido de carbono (CO_2) liberado durante o processo de queima para geração de energia é novamente absorvido. Graças a este processo, o balanço total de emissões é dito como sendo ‘neutro’ [14].

No Brasil, aproximadamente 30% do consumo doméstico bruto de energia é derivado de produtos da biomassa vegetal. Além disso, segundo a ANEEL, a biomassa representa 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no país. Na produção de etanol, cerca de 28% da cana é transformada em bagaço. Em termos energéticos, o bagaço equivale a 49,5%, o etanol a 43,2% e o vinhoto a 7,3%. Mesmo com esse alto valor energético, o bagaço é pobremente utilizado nas usinas, sendo praticamente incinerado na produção de vapor de baixa pressão) [14].

No Brasil, existe ainda muito resíduo proveniente da atividade florestal sendo desperdiçado, podendo, se bem utilizado, significar um acréscimo na geração de energia principalmente para comunidades que não são beneficiadas pelo sistema elétrico nacional [11].

Geralmente a biomassa vegetal é aproveitada através da queima direta em fornos e caldeiras, e para aumentar a sua eficiência alguns processos e tecnologias estão sendo aperfeiçoados, como a gaseificação e a pirólise [14].

3.2.1 Centrais a combustão

Este tipo de tecnologia é composto basicamente por uma caldeira e um motor a vapor. A caldeira queima biomassa e parte do calor liberado é utilizado para transformar água da fase líquida para vapor. Este vapor é utilizado para acionar máquinas a vapor ou turbinas a vapor, que são acopladas por um eixo ao gerador elétrico.

A máquina a vapor é fabricada no Brasil com potências na faixa de 40–250 kW. Os rendimentos variam entre 20 e 30%, trabalhando com pressões de vapor entre 10 e 16 atm. As turbinas a vapor são fabricadas no Brasil com potências variando entre 250 e 150.000 kW e pressão variando entre 22 e 120 atm [15].

O conjunto caldeira-máquina a vapor é aplicado quando pequenas potências são requeridas na faixa de 40 – 300 kVA. Este conjunto possui a eficiência e o custo de investimento de implantação inferior ao do conjunto caldeira-turbina a vapor. Por outro

lado, o custo de operação e manutenção das máquinas a vapor é superior ao das turbinas a vapor. Máquinas a vapor devem ser aplicadas para gerações de pequena potência onde exista abundância de biomassa para ser utilizada como combustível (devido à sua baixa eficiência), tenha fácil acesso para as peças e serviços de manutenção e a geração de eletricidade possa ser intermitente ao longo do ano. Turbinas a vapor devem ser aplicadas para potências maiores (de 300 kVA a 150 MVA) que requeiram uma operação contínua, eficiente e com baixo custo de operação e manutenção [15].

3.2.2 Gaseificação da Biomassa

O processo de gaseificação da biomassa consiste na sua transformação em um gás combustível, contendo proporções variáveis de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogênio, metano, vapor d'água e alcatrões. Esta composição do gás combustível depende de diversos fatores, tais como, tipo de gaseificador, introdução ou não de vapor d'água, e principalmente do conteúdo de umidade da madeira a ser gaseificada [16].

Como vantagens em relação ao sistema de combustão direta pode-se citar a maior eficiência energética e menor emissão de particulados, pois as cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador. Além disso o combustível resultante é mais limpo, não necessitando na maioria dos casos, em controle da poluição.

Gaseificadores acoplados a motores diesel estão disponíveis no mercado para serem aplicáveis na geração entre 1 e 500 kW que possam fornecer eletricidade de maneira intermitente. Para potências acima de 500 kW e menores de 1000 kW, os equipamentos são desenvolvidos em cooperação entre os fabricantes e os usuários [15].

4 MODELO PROPOSTO

O modelo proposto e as etapas realizadas no seu desenvolvimento, são apresentadas neste capítulo, o qual foi concebido de acordo com os princípios da Dinâmica de Sistemas, definida no Anexo A.

4.1 CONHECIMENTO DO SISTEMA

Inicialmente, foi necessário aprofundar os conhecimentos sobre o problema a ser modelado, buscando entender as variáveis que deveriam ser consideradas, assim como as relações entre cada uma delas. A seguir, são apresentadas as variáveis observadas no primeiro estágio da construção do modelo, descrevendo a importância destas no contexto.

- **Potencial:** Uma das principais variáveis, pois é o recurso disponível a ser aproveitado. Limita o total de micro e minigeração que será produzida;
- **Regulamentação:** Cria as condições necessárias que possibilitam a utilização dos recursos disponíveis, de modo a melhorar a diversidade da matriz energética;
- **Incentivos:** Tem por objetivo tornar atrativo o investimento. Atualmente isenta em 50% o valor da tarifa de transporte;
- **Valor da Tarifa de Compra de Energia Elétrica:** Parcela da fatura de energia elétrica referente aos custos de geração;
- **Valor da Tarifa de Transporte de Energia Elétrica:** Parcela da fatura de energia elétrica referente aos custos de transporte;
- **Fatura de Energia Elétrica:** Favorece a decisão do consumidor, pois quanto maior este custo maior será a busca por uma forma alternativa de energia;
- **Produção de Equipamentos de Fontes Renováveis:** O aumento na produção de equipamentos relacionados à micro e minigeração tende a reduzir este custo, favorecendo o tempo de retorno do investimento;
- **Empresas de Serviços de Fontes Renováveis:** O aumento no número de empresas que prestem serviços ligados à micro e minigeração proporcionam, além da redução nos custos de implementação, facilidade de aderir a estes sistemas;
- **Custo de Implementação:** Custo total do investimento em equipamentos e instalação;
- **Custo de Operação:** Custo necessário para que os equipamentos possam operar dentro dos aspectos técnicos exigidos;

- **Custo de Manutenção:** Custo referente à manutenção preventiva e corretiva necessária. Quanto maior, melhor poderá ser a vida útil;
- **Tecnologia:** Uma melhora da tecnologia proporciona, além da tendência de redução dos custos, aumento do rendimento e aproveitamento do potencial;
- **Vida Útil:** Tempo previsto para que o conjunto gerador se mantenha em funcionamento;
- **Tempo de Retorno do Investimento:** Quanto menor o tempo de retorno, maior a chance do consumidor aderir à micro e minigeração;
- **Publicidade:** Apresenta a possibilidade de implementar a micro e minigeração, favorecendo a decisão;
- **Renda:** Possibilita o investimento;
- **Conforto:** Quanto maior o nível de conforto exigido por um consumidor, maior é a possibilidade de que este busque formas alternativas de alcançar estes objetivos;
- **Qualidade e Confiabilidade de Energia Elétrica:** Avaliado através dos indicadores de qualidade. Quanto maior for a confiança no fornecimento de energia elétrica, menor a tendência de um consumidor aderir à micro e minigeração;
- **Consciência Ecológica:** Acredita-se ser um dos principais aspectos que favoreçam a adesão. Traduz a busca por uma fonte de energia sustentável;
- **Nível de Escolaridade:** Utilizado para fornecer informações referentes à consciência ecológica, tendo em vista que os conceitos de desenvolvimento sustentável são amplamente discutidos nas instituições de ensino;
- **Cultura:** Mostra o quão propensa é uma determinada população à investir e apoiar questões inovadoras;
- **Decisão do Consumidor:** Representa a parcela dos consumidores que possuem condições e desejam aderir à micro e minigeração em determinado ano.

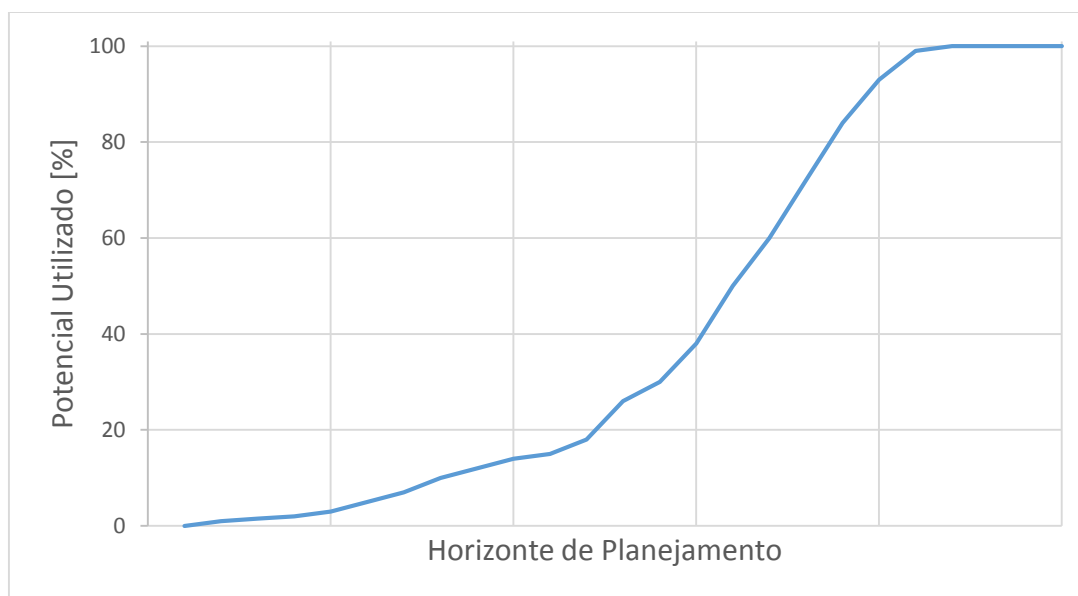
4.2 ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO

Na elaboração do Modo de Referência (MR), como se trata de um evento recente, que não possui série histórica, necessitou-se compreender o comportamento da adesão dos consumidores, com relação à micro e minigeração, de modo a estimar um gráfico, que servisse como imagem aproximada do comportamento real a ser observado,

possibilitando embasar e validar os resultados obtidos. Para desenvolvê-lo, foram levadas em consideração as variáveis mais importantes, como o potencial, tempo de retorno, consciência ecológica e publicidade, e sua possível evolução em um determinado horizonte de estudo.

O modo de referência estimado para a micro e minigeração de fontes de biomassa é apresentado na Figura 7. Este possui um comportamento pouco expressivo no início do horizonte de planejamento, influenciado principalmente pelo desconhecimento de boa parte da população sobre a possibilidade da geração própria da energia. Com o passar do tempo, a adesão deverá aumentar, e chegar à saturação, causada pelo limite do potencial existente. No entanto, esta suposição de aproveitamento total do potencial somente deverá ocorrer caso sejam dados incentivos que tornem as energias renováveis mais atraentes, principalmente do ponto de vista econômico.

Figura 7: Modo de Referência.

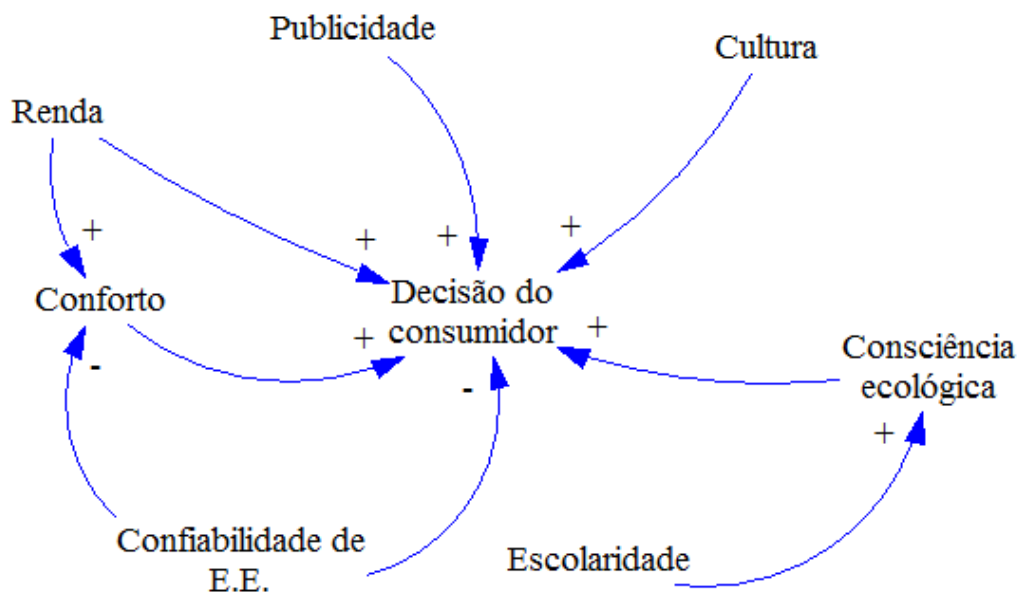


Fonte: O autor.

4.3 MODELO TEÓRICO – DIGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Definido o MR, foi elaborado o Diagrama de Laço Causal (DLC), onde foram traçadas as conexões de cada variável, de acordo com a interação entre elas. De modo a facilitar o desenvolvimento, foi criado além do diagrama principal, um diagrama auxiliar, contendo as variáveis e suas conexões, referentes à Decisão do Consumidor. A Figura 8 apresenta este sub diagrama, no qual é possível observar as relações de causa e efeito.

Figura 8: DLC - Decisão do consumidor.



Fonte: O autor.

Neste DLC, verifica-se a contribuição direta das variáveis **Publicidade**, **Cultura**, **Consciência Ecológica**, **Confiabilidade de Energia Elétrica**, **Conforto** e **Renda**, para a **Decisão do Consumidor**. Com exceção da Confiabilidade de EE, que possui um comportamento inverso de contribuição, todas as demais variáveis apresentam uma contribuição positiva para a decisão. Há ainda as relações indiretas, representadas pela **Escolaridade** agindo na **Consciência Ecológica**, e as contribuições da **Confiabilidade de EE** e da **Renda** para compor a variável **Conforto**.

Na Figura 9 é apresentado o DLC completo, onde as demais variáveis envolvidas e suas relações podem ser visualizadas. Contribuindo para o aumento da **Decisão do Consumidor**, tem-se a variável **Fatura de Energia Elétrica**, influenciando através de um “delay”, haja visto que o aumento nos custos da fatura, somente ocasionam uma tomada de decisão após um período de tempo. Há as contribuições do Custo de operação, Custo de manutenção e Custo de implementação no Custo total do investimento, influenciando assim no tempo de retorno, e dos laços dos Incentivos e suas relações de causa e efeito.

Esta etapa de elaboração das relações de causa e efeito é de extrema importância para facilitar a visualização do sistema, e favoreceu o pensamento “macro” a respeito do problema em análise.

4.4 ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS

Este capítulo objetiva apresentar os valores de cada parâmetro que foram necessários serem apurados, para ser criado o modelo computacional. Sempre que disponível, buscou-se fontes oficiais para se determinar estes valores. As equações e os pesos de cada variável são apresentados na seção 4.5. A estimativa algumas vezes, ocorre em conjunto com o desenvolvimento do modelo computacional, devido ao fato de que, a cada modelagem de um determinado comportamento, novas variáveis surgem, pela necessidade de definir de forma mais clara as interações, objetivando simplificar a programação, e possibilitar maior flexibilidade do modelo, proporcionando assim, condições de serem simulados cenários diferentes dos atuais.

A seguir, são apresentados os valores das variáveis que foram pesquisados ou estimados e as referências e/ou método para estimação de cada variável.

- **Potencial Inicial:** Apresenta o potencial existente no início do ano de 2014, que poderá ser utilizado. Foram utilizados para tanto, os dados disponíveis no Censo Agropecuário 2006 [17], por se tratar do último levantamento que fornece o nível de detalhamento de cada espécie de efetivo, produtos de lavoura permanente e da lavoura temporária necessário. O método de cálculo encontra-se detalhado no ANEXO B, e o resultado encontrado foi de 260,73 GWh.
- **Tecnologia:** Influencia os custos e o potencial, uma vez que o incremento desta variável melhora o rendimento. Foi prevista uma evolução, conforme apresenta o Quadro 1.

Quadro 1: Valores da variável Tecnologia.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	1,00	2018	1,05	2022	1,10	2026	1,20
2015	1,00	2019	1,05	2023	1,15	2027	1,20
2016	1,00	2020	1,10	2024	1,15	2028	1,20
2017	1,05	2021	1,10	2025	1,15	2029	1,25

Fonte: O autor.

- **Variação PIB:** Mostra um possível cenário de evolução do Produto Interno Bruto (PIB), de acordo com o previsto no Estudo da inserção de mini e microgeração fotovoltaica distribuída na projeção de demanda da classe residencial [18], em que a cada ano, haverá um crescimento de 3,2%.

- **Índice da Produção Industrial:** Sinaliza o crescimento da indústria. Foi prevista uma evolução de 1,2% a cada ano.
- **Índice de Crescimento do Setor de Serviços:** Sinaliza o crescimento do setor terciário. Foi prevista uma evolução de 4% ao ano.
- **Peso dos Incentivos:** Variável disponível no modelo para possibilitar a simulação de incentivos na Produção Industrial e Setor de serviços. Seu intervalo varia entre 0 e 100%.
- **Custo de Operação Mensal:** Valor esperado para cobrir os custos de operação do gerador. Estimado em 10 reais ao mês;
- **Custo de Manutenção Mensal:** Valor esperado dos custos necessários para manutenção do gerador. Estimado em 15 reais ao mês;
- **Custo de Implementação:** Valor esperado para cobrir o custo inicial do investimento. Estimado em 19.727,62 reais;
- **Juros Mensal:** Valor médio mensal da poupança de 0,5%.
- **Juros Anual:** Valor médio anual da poupança de 6,168%.
- **ICMS:** Valor que incide sobre os custos de implementação do sistema de geração de energia elétrica, do imposto sobre circulação de mercadorias e prestação de serviços, de 17%.
- **PIS:** Valor que incide sobre os custos de implementação do sistema de geração de energia elétrica, da contribuição ao programa de integração social, de 1,16668 %.
- **COFINS:** Valor que incide sobre os custos de implementação do sistema de geração de energia elétrica, da contribuição para financiamento da seguridade social, de 6,080881%.
- **IPI:** Valor que incide sobre os custos de implementação do sistema de geração de energia elétrica, do imposto sobre produtos industrializados, de 9,880753%.
- **II:** Valor que incide sobre os custos de implementação do sistema de geração de energia elétrica, do imposto sobre importação, de 8,089505%.
- **ICMS Tarifa:** Alíquota devida, considerada no cálculo da fatura de Energia Elétrica (EE), de 25%.
- **Encargos Setoriais:** Valor pertinente, de 0,0185 \$/kWh, considerado, relativo aos encargos setoriais.
- **PIS e COFINS:** Alíquota devida, considerada no cálculo da fatura de EE, de 5%.

- **Variação Tarifas:** Crescimento acumulado do valor das tarifas encontradas no cálculo da fatura de EE, em relação ao ano de 2014, conforme encontrado em [19], e apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Valores da Variação Tarifas.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	1,000000	2018	1,133380	2022	1,272444	2026	1,420005
2015	1,012142	2019	1,143829	2023	1,281903	2027	1,428861
2016	1,023539	2020	1,153790	2024	1,291002	2028	1,437429
2017	1,034274	2021	1,163291	2025	1,299772	2029	1,445725

Fonte: Adaptado de [19].

- **Potencial Médio:** Calculado através da divisão do Potencial Inicial pela quantidade de estabelecimentos que contribuem para cada tipo de aproveitamento. Valor utilizado de 147,51 kWh/mês.
- **Tarifa Prêmio:** Variável disponível no modelo para possibilitar a simulação de incentivos no valor da tarifa de compra. Seu intervalo varia entre 0 e 40%.
- **Tarifa de Compra:** Valor considerado na fatura de EE referente aos custos de geração, de 0,201 \$/kWh.
- **Tarifa de Transporte:** Valor considerado na fatura de EE referente aos custos de transmissão e distribuição, de 0,1181 \$/kWh.
- **Consumo Médio:** Estimativa do valor médio de consumo dos domicílios dentro da área de concessão da CEEE-D, de 274,14 kWh/mês.
- **Tarifa Branca:** Variável disponível no modelo para possibilitar a simulação da influência na fatura de EE, da modalidade tarifária branca. Seu intervalo varia entre -10 e 10%.
- **Bandeira Tarifária:** Variável disponível no modelo para possibilitar a simulação da influência das bandeiras tarifárias no valor da fatura de EE. Seu intervalo varia entre 0 e 10%.
- **Publicidade:** Variável que busca quantificar a presença ou não de publicidade que incentive a adesão à micro e minigeração. Previsto como sendo 5%.
- **Renda:** Média ponderada com relação ao percentual de domicílios cuja renda esteja entre 10 a 20 salários mínimos e acima de 20 salários mínimos, para os quais foi atribuído peso de 25% à primeira classe de rendimento, e 75% à segunda.

Os dados foram obtidos do Censo Demográfico 2010 [20]. O resultado encontrado foi de 6,02%.

- **Cultura:** Variável que busca quantificar a propensão ou não à adesão, considerando aspectos culturais. Previsto como sendo 10%.
- **Escolaridade:** Média ponderada com relação ao percentual de pessoas com 25 anos ou mais, residentes em domicílios permanentes, que tenham completado o ensino médio e que tenham concluído o ensino superior, para os quais foi atribuído peso de 20% à primeira classe de ensino, e 80% à segunda. Os dados foram obtidos do Censo Demográfico 2010 [20]. O resultado encontrado foi de 17,857%.
- **Índice de Educação:** Evolução prevista para os níveis de escolaridade, de acordo com o estudo da inserção de mini e microgeração fotovoltaica distribuída na projeção de demanda da classe residencial [18], e apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Valores do Índice de Educação.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	0,54	2018	0,56	2022	0,57	2026	0,59
2015	0,55	2019	0,56	2023	0,58	2027	0,59
2016	0,55	2020	0,57	2024	0,58	2028	0,6
2017	0,55	2021	0,57	2025	0,58	2029	0,6

Fonte: Adaptado de [18].

- **FEC:** Indicador de continuidade da prestação do serviço de distribuição de EE, o qual indica a frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora, conforme encontrado em [18], e apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Valores do indicador FEC.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	10,38	2018	9,05	2022	7,93	2026	6,97
2015	10,03	2019	8,75	2023	7,68	2027	6,76
2016	9,69	2020	8,47	2024	7,43	2028	6,55
2017	9,36	2021	8,19	2025	7,2	2029	6,35

Fonte: Adaptado de [18].

- **FEC limite:** Valor estipulado pela ANEEL para os limites do Indicador FEC, conforme encontrado em [18], e apresentado no Quadro 5.

Quadro 5: Valores do indicador FEC limite.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	11,88	2018	8,16	2022	6,9	2026	6,48
2015	10,85	2019	7,3	2023	6,79	2027	6,39
2016	9,83	2020	7,16	2024	6,68	2028	6,3
2017	8,94	2021	7,02	2025	6,57	2029	6,22

Fonte: Adaptado de [18].

- **DEC:** Indicador de continuidade da prestação do serviço de distribuição de EE, o qual indica a duração equivalente de interrupção por unidade consumidora, conforme encontrado em [18], e apresentado no Quadro 6.

Quadro 6: Valores do indicador DEC.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	16,62	2018	15,63	2022	14,73	2026	13,91
2015	16,36	2019	15,4	2023	14,52	2027	13,72
2016	16,11	2020	15,17	2024	14,31	2028	13,53
2017	15,87	2021	14,95	2025	14,11	2029	13,34

Fonte: Adaptado de [18].

- **DEC limite:** Valor estipulado pela ANEEL para os limites do Indicador DEC, conforme encontrado em [18], e apresentado no Quadro 7.

Quadro 7: Valores do indicador DEC limite.

Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor	Ano	Valor
2014	13,46	2018	10,66	2022	9,63	2026	8,74
2015	12,95	2019	10,43	2023	9,39	2027	8,54
2016	12,14	2020	10,15	2024	9,16	2028	8,36
2017	11,34	2021	9,88	2025	8,94	2029	8,18

Fonte: Adaptado de [18].

4.5 MODELO COMPUTACIONAL – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXOS

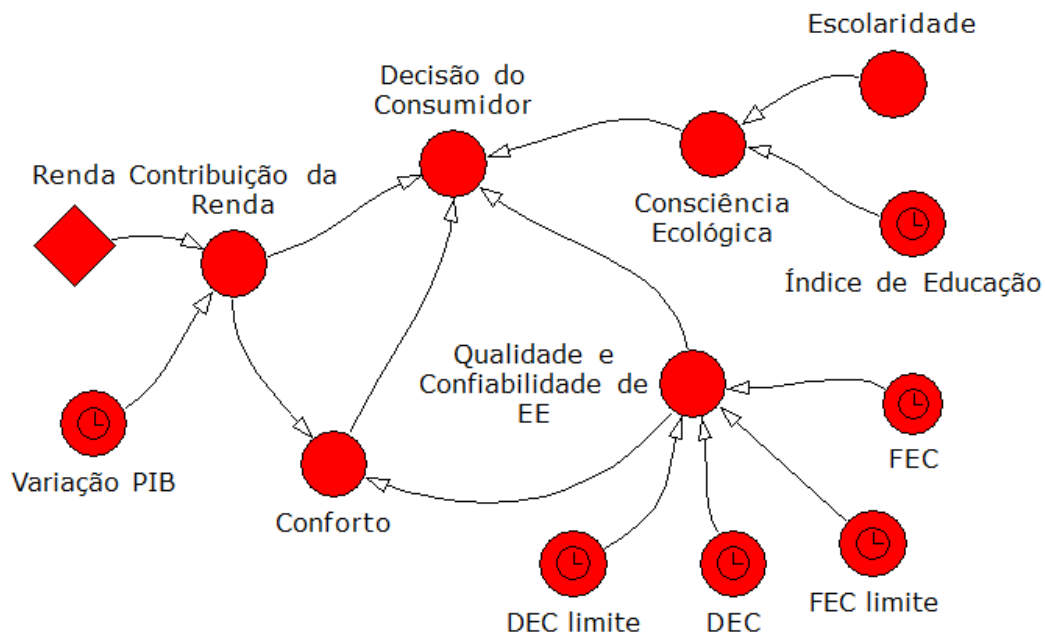
Para implementar o modelo computacionalmente foi utilizado o programa Powersim versão 10 [40], por ser um programa dedicado a implementação de modelos de Dinâmica de Sistemas e possuir uma interface prática, reunindo todas as ferramentas necessárias para estes tipos de análise.

Assim como no caso do diagrama de laço causal, apresentado na seção 4.3, foi elaborado o submodelo Decisão do Consumidor, o qual pode ser visualizado na Figura

10. Os valores resultantes deste submodelo na simulação foram, então, exportados para a variável Decisão do Consumidor no Modelo Principal, onde recebe a contribuição de outras variáveis.

As variáveis Variação do PIB, Índice de Educação, FEC, FEC limite, DEC e DEC limite possuem seus valores assim como descrito na seção 4.4.

Figura 10: Submodelo Computacional - Decisão Do Consumidor.



Fonte: O autor.

As variáveis Renda (Ren) e Escolaridade (Esc) possuem seus valores como descrevem as Equações (1) e (2), respectivamente.

$$\text{Ren} = \left(0,25 * \frac{109044}{1234690}\right) + \left(0,75 * \frac{62755}{1234690}\right) [\%] \quad (1)$$

O peso do percentual de domicílios particulares é de 0,25 com renda entre 10 e 20 salários mínimos, 109.044 é a quantidade de domicílios particulares com renda entre 10 e 20 salários mínimos, 1.234.690 é a quantidade total de domicílios particulares situados na área de concessão da CEEE-D, 0,75 é o peso do percentual de domicílios particulares com renda acima de 20 salários mínimos e 62.755 é a quantidade de domicílios particulares com renda acima de 20 salários mínimos. Estes dois grupos foram considerados como sendo os consumidores que possuem renda suficiente para este tipo de empreendimento.

$$Esc = \left(0,2 * \frac{290536}{1167400} \right) + \left(0,8 * \frac{187945}{1167400} \right) [\%] \quad (2)$$

O peso do percentual é de 0,2 para pessoas de 25 anos ou mais residentes em domicílios particulares que possuem ensino médio completo, 290.536 é a quantidade de pessoas de 25 anos ou mais residentes em domicílios particulares que possuem ensino médio completo, 1.167.400 é a quantidade total de pessoas de 25 anos ou mais residentes em domicílios particulares situados na área de concessão da CEEE-D, 0,8 é o peso do percentual de pessoas de 25 anos ou mais residentes em domicílios particulares que possuem ensino superior completo e 187.945 é a quantidade de pessoas de 25 anos ou mais residentes em domicílios particulares que possuem ensino superior completo.

As variáveis Contribuição da Renda (CR), Consciência Ecológica (CE), Qualidade e Confiabilidade de EE (QCEE) e Conforto (Con) possuem seus valores como descrevem as Equações (3), (4), (5) e (6), respectivamente.

$$CR = Ren * Var PIB [\%] \quad (3)$$

Ren é o valor da variável Renda e Var PIB é o valor da variação do PIB no ano de simulação.

$$CE = Esc * Índ Edu [\%] \quad (4)$$

Esc é a valor da variável Escolaridade e Índ Edu é o valor da variável Índice de Educação. A consciência Ecológica foi modelada com base nos níveis de educação, por pressupor-se que os conceitos ambientais são amplamente difundidos nas unidades educacionais.

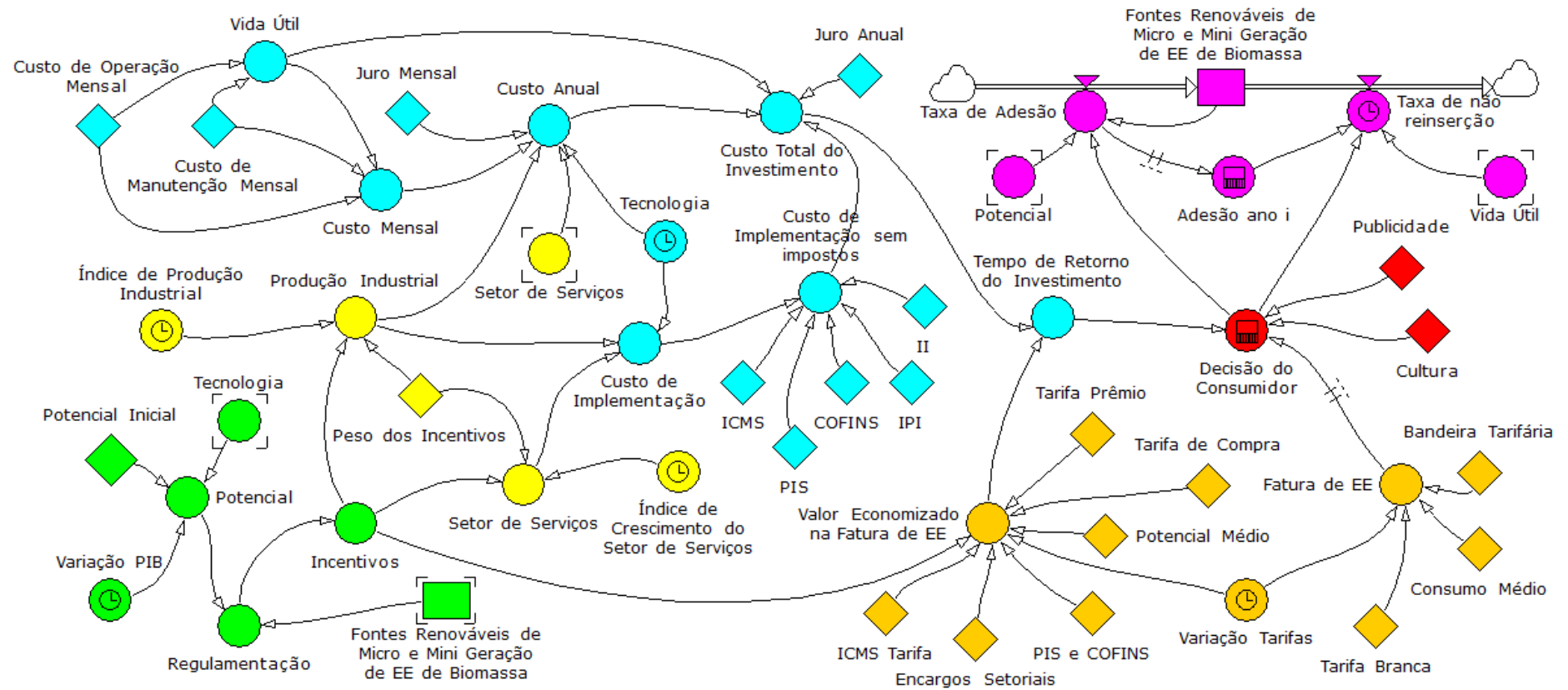
$$CEE = \frac{DEC \text{ limite}}{DEC} * \frac{FEC \text{ limite}}{FEC} [\%] \quad (5)$$

$$Con = 0,95 * CR - 0,05 * QCEE [R\$] \quad (6)$$

O peso 0,95 é considerado para a variável Contribuição da Renda (CR) e 0,05 é o peso considerado para a variável Qualidade e Confiabilidade de EE (QCEE).

O modelo principal, com todas as demais variáveis consideradas na análise da micro e minigeração distribuída de fontes de biomassa é apresentado na Figura 11. As seções seguintes detalham as equações utilizadas em cada submodelo derivado do modelo principal, de modo a facilitar a compreensão do mesmo.

Figura 11: Modelo Computacional – Modelo Principal.



Fonte: O autor.

A variável Decisão do Consumidor no modelo principal, recebe os valores do submodelo Decisão do Consumidor detalhado anteriormente, assim como das demais variáveis, conforme apresentado na Equação (7). Os pesos utilizados foram estimados com base na Avaliação dos resultados da Resolução Normativa nº 482/2012 na visão do Regulador [21].

$$DC = \left(0,03 * Cul + 0,035 * Con + 0,45 * CE + 0,14 * CR + 0,19 * Pub - \right. \\ \left. 0,005 * QCEE + 0,04 * \frac{FEE}{200} + 0,11 * TR \right) [\%] \quad (7)$$

Cul é o valor da variável Cultura e Pub é o valor da variável Publicidade, descritos na seção 4.4, Con, CE, CR e QCEE são os valores das variáveis Conforto, Consciência Ecológica, Contribuição da Renda e Qualidade e Confiabilidade de Energia Elétrica descritos anteriormente, FEE é o valor da variável Fatura de EE, 200 é o valor médio estimado para a Fatura de EE e TR é o valor do peso da variável Tempo de Retorno do Investimento, as quais são descritas nas próximas seções. O peso da variável Tempo de Retorno do Investimento na Decisão do Consumidor é melhor descrito na Equação 8.

$$TR = \begin{cases} 1 & TRI \leq 3anos \\ -0,10714 * \frac{TRI}{1ano} + 1,3214 & 3anos < TRI \leq 10anos \\ -0,05 * \frac{TRI}{1ano} + 0,75 & 10anos < TRI \leq 15anos \\ 0 & TRI > 15anos \end{cases} [\%] \quad (8)$$

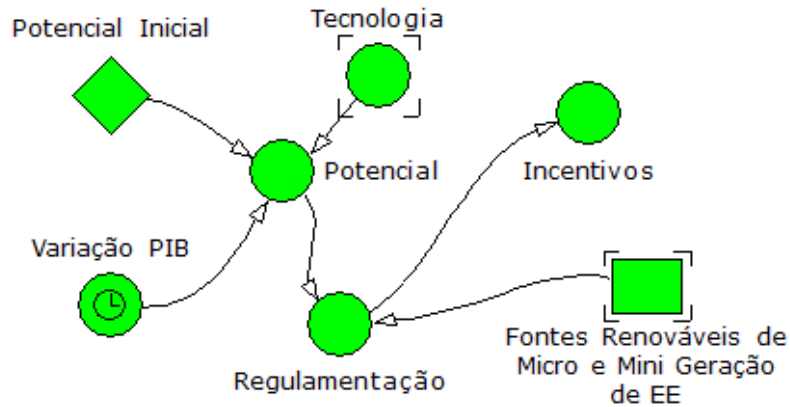
TRI é o valor da variável Tempo de Retorno do Investimento. Desta forma, o Tempo de Retorno do Investimento contribui de forma diferente para a decisão, conforme este esteja mais ou menos vantajoso. Foi considerado uma contribuição de 100% para valores de TRI menores do que 3 anos e uma contribuição de 0% para valores de TRI maiores que 15 anos.

4.5.1 Submodelo computacional - Potencial e Incentivos

O submodelo que relaciona as variáveis ligadas ao potencial e aos incentivos é apresentado na Figura 12. Os valores das variáveis Potencial Inicial, Tecnologia e Variação do PIB estão descritos na seção 4.4. A variável Fontes Renováveis de Micro e Mini Geração de EE de Biomassa é descrita nas próximas seções. A variável Incentivos assume o valor da Regulamentação em unidades monetárias, a fim de simular tanto os

subsídios que já são oferecidos, a exemplo daqueles que incidem na tarifa de transporte, quanto os que poderão vir a serem oferecidos.

Figura12: Submodelo computacional – Potencial e incentivos.



Fonte: O autor.

As Equações (9) e (10) apresentam o método de cálculo das variáveis Potencial (PO) e Regulamentação (RE) respectivamente.

$$PO = Pot In * Tec * Var PIB \text{ [kWh]} \quad (9)$$

Pot In é o valor da variável Potencial Inicial, Tec é o valor da variável Tecnologia e Var PIB é o valor da variável Variação PIB. Desta forma, o Potencial tem seu valor corrigido a cada ano pela evolução da tecnologia e pela variação do PIB.

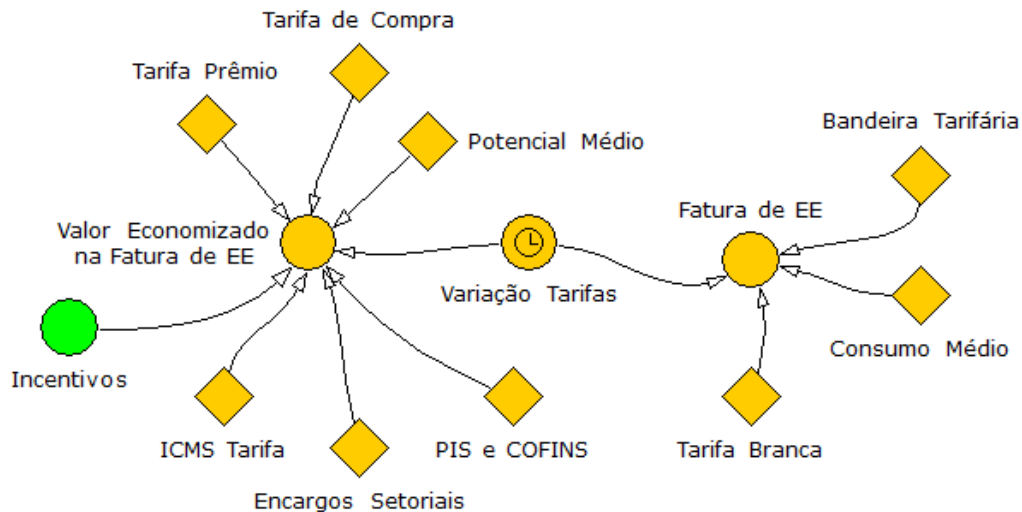
$$RE = \begin{cases} 0,05905, & FRMMG < 10\% \times PO \\ 0,029525, & FRMMG \geq 10\% \times PO \end{cases} \text{ [adimensional]} \quad (10)$$

FRMMG é o valor da variável Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa a cada ano e PO é o valor da variável potencial. O comportamento da regulamentação baseou-se nas políticas de incentivos utilizadas na Alemanha, onde ao se alcançar um valor percentual do potencial disponível, foram reduzidos os incentivos vigentes até então.

4.5.2 Submodelo computacional – Fatura de EE e Valor Economizado

O submodelo que relaciona as variáveis ligadas à fatura de energia elétrica e ao valor economizado, com a implementação de micro e minigeração distribuída, é apresentado na Figura 13.

Figura13: Submodelo computacional – Fatura de EE e Valor Economizado.



Fonte: O autor.

As Equações (11) e (12) apresentam o método de cálculo das variáveis Valor Economizado na Fatura de EE (VE) e Fatura de EE (FEE) respectivamente. A variável Incentivos tem seu valor descrito na seção 4.5.1. Os valores das demais variáveis estão descritos na seção 4.4.

$$VE = PM * VT * \frac{[(TC*TP) + ES + \left(\frac{\text{Incentivos}}{1\text{kWh}}\right)]}{1 - \text{ICMS Tarifa} - \text{PIS e COFINS}} \text{ [R\$]} \quad (11)$$

PM é o valor da variável Potencial Médio, VT representa a evolução das tarifas de EE, TC é o valor da Tarifa de Compra, TP é o valor da Tarifa Prêmio e ES é o valor dos Encargos Sociais.

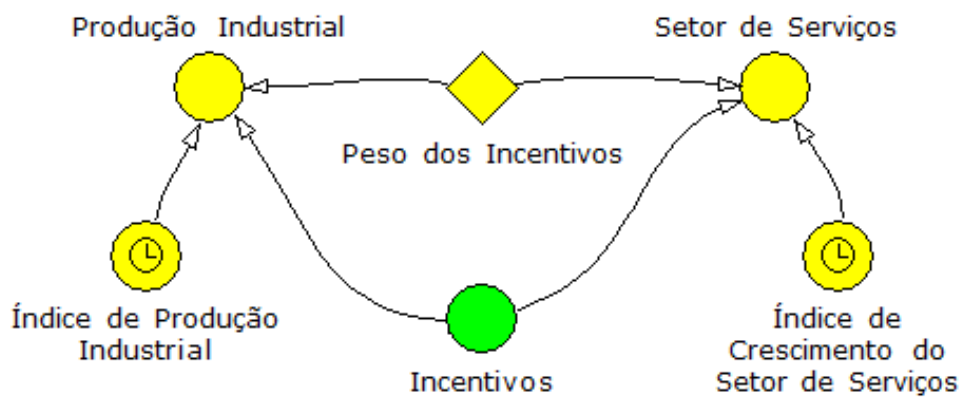
$$FEE = 0,69673 * CM * VT * (1 + TB) * (1 + BaT) \text{ [R\$]} \quad (12)$$

0,69673 é o valor da tarifa de energia elétrica praticada atualmente, CM é o valor da variável consumo médio, VT representa a evolução das tarifas de EE, TB é o valor da variável Tarifa Branca e BaT é o valor da variável Bandeira Tarifária.

4.5.3 Submodelo computacional – Produção Industrial e Setor de Serviços

O submodelo que relaciona as variáveis ligadas à Produção Industrial e Setor de Serviços é apresentado na Figura 14. A variável Incentivos tem seu valor descrito na seção 4.5.1. Os valores das variáveis Índice de Produção Industrial, Índice de Crescimento de Setor de Serviços e Peso dos Incentivos estão descritos na seção 4.4.

Figura14: Submodelo computacional – Produção Industrial e Setor de Serviços.



Fonte: O autor.

As Equações (13) e (14) apresentam o método de cálculo das variáveis Produção Industrial (PI) e Setor de Serviços (SS), respectivamente.

$$PI = (1 + \text{IndPI}) * (1 + \text{Peso In}) * \frac{\text{Incentivos}}{0,05905} [\%] \quad (13)$$

IndPI é o valor do Índice de Produção Industrial, Peso In é o valor do Peso dos Incentivos e 0,05905 é o valor atual da variável incentivos. Desta forma, a alteração da variável Incentivos influencia no crescimento da Produção Industrial de acordo com o Peso dos Incentivos.

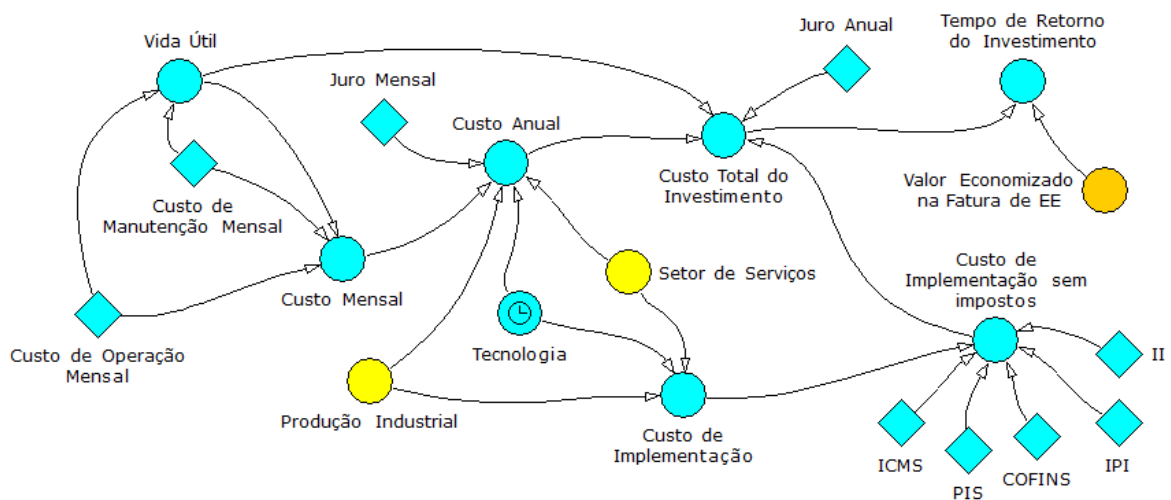
$$SS = (1 + \text{IndCSS}) * (1 + \text{Peso In}) * \frac{\text{Incentivos}}{0,05905} [[\%] \quad (14)$$

IndCSS é o valor do Índice de Crescimento do Setor de Serviços, Peso In é o valor do Peso dos Incentivos e 0,05905 é o valor atual da variável incentivos. Desta forma, a alteração da variável Incentivos influenciará no Crescimento do Setor de Serviços de acordo com o Peso dos Incentivos.

4.5.4 Submodelo computacional – Custos e Tempo de Retorno

O submodelo que relaciona as variáveis ligadas aos Custos e Tempo de Retorno é apresentado na Figura 15.

Figura15: Submodelo computacional – Custos e Tempo de Retorno.



Fonte: O autor.

As variáveis Produção Industrial e Setor de Serviços têm seus valores descritos na seção 4.5.3. A variável Valor Economizado na Fatura de EE é descrita na seção 4.5.2. Os valores das variáveis Custo de Operação Mensal, Custo de Manutenção Mensal, Juro Mensal, Juro Anual, Tecnologia, ICMS, PIS, COFINS, IPI e II estão descritos na seção 4.4.

As Equações (15), (16) e (17) apresentam o método de cálculo das variáveis Vida Útil, Custo Mensal e Custo Anual, respectivamente.

$$VU = 12 + (CMM - COM) * 0,01 \frac{ano}{R\$} [ano] \quad (15)$$

O tempo de vida médio dos equipamentos é de 12 anos, CMM é o valor do custo de Manutenção Mensal e COM é o valor do Custo de Operação Mensal.

$$CM = CMM + COM + VU * 0,01 \frac{R\$}{ano} [R\$] \quad (16)$$

CMM é o valor do custo de Manutenção Mensal, COM é o valor do Custo de Operação Mensal e VU é o valor da Vida Útil.

$$CA = \frac{CM \times \left[\frac{(1+JM)^{12} - 1}{JM} \right]}{(0,2*PI+0,8*SS)*Tec} [R\$] \quad (17)$$

CM é o valor do Custo Mensal, JM é o valor do Juro Mensal, PI é o valor da Produção Industrial, SS é o valor da variável Setor de Serviços e Tec é a previsão de evolução da Tecnologia.

As Equações (18) a (21) apresentam o método de cálculo das variáveis Custo de Implementação, Custo de Implementação sem Impostos, Custo Total do Investimento e Tempo de Retorno do Investimento.

$$CI = \frac{R\$ 19727,62}{(0,2*SS+0,8*PI)*Tec} [R\$] \quad (18)$$

O custo médio dos equipamentos e instalação é de 19.727,62, SS é o valor da variável Setor de Serviços, PI é o valor da Produção Industrial e Tec é a previsão de evolução da Tecnologia.

$$CII = \frac{CI}{ICMS+PIS+COFINS+II+IPI} [R\$] \quad (19)$$

CI é o valor da variável Custo de Implementação e ICMS, PIS, COFINS, II e IPI são os percentuais de impostos que incidem sobre os produtos e serviços.

$$CTI = CII + CA * \left[\frac{(1+JA)^{\frac{VU}{1ano}} - 1}{JA*(1+JA)^{\frac{VU}{1ano}}} \right] [R\$] \quad (20)$$

CII é o valor da variável Custo de Implementação sem Impostos, CA é o valor do Custo Anual e JA é o valor do Juro Anual.

$$TRI = \frac{CTI}{VE \times 12} [\text{ano}] \quad (21)$$

CTI é o Custo Total do Investimento, VE é a variável Valor Economizado na Fatura de EE e 12 é a quantidade de meses em um ano. O Tempo de Retorno do Investimento foi calculado de forma simples, através do método de Payback simples.

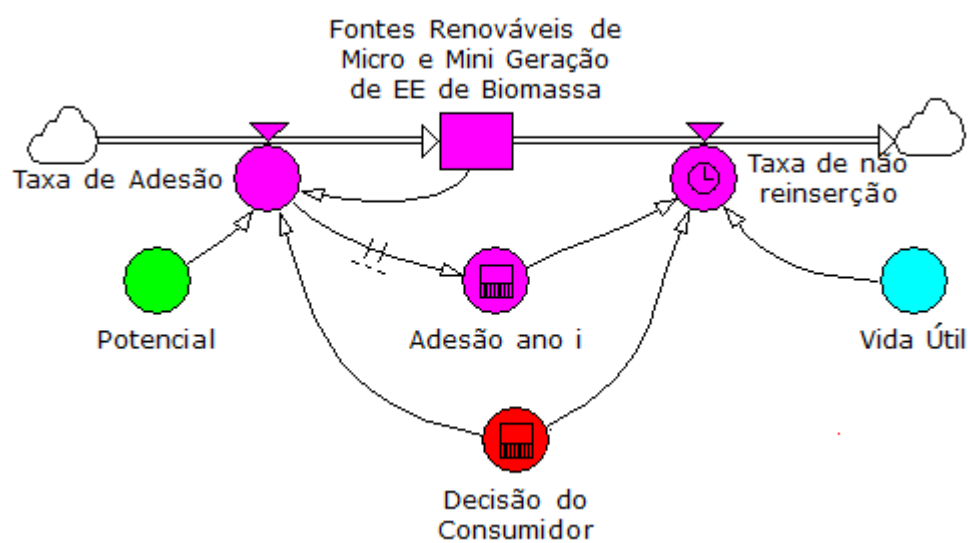
4.5.5 Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica de biomassa

As variáveis que compõem o modelo computacional relacionadas às Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica de Biomassa são apresentadas na Figura 16.

As Equações (22) a (25) apresentam o método de cálculo das variáveis Taxa de Adesão, Adesão ano i , Taxa de não reinserção e Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE, respectivamente.

A variável Decisão foi descrita na parte introdutória deste capítulo. A variável Potencial tem seu equacionamento descrito na seção 4.5.1 e a variável Vida Útil está descrita na seção 4.5.4.

Figura 16: Submodelo computacional - Fontes renováveis de micro e mini geração de energia elétrica de biomassa.



Fonte: O autor.

$$TA = (PO - FRMMG) \times \frac{DC}{1ano} \text{ [kWh/ano]} \quad (22)$$

PO é o valor da variável Potencial, FRMMG é o valor da variável Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa e DC é o valor da Decisão do Consumidor.

$$Ai = Delay(TA; 12) \text{ [kWh/ano]} \quad (23)$$

TA é o valor da Taxa de Adesão e 12 é o valor médio da Vida Útil. Desta forma, a variável Adesão no ano i recebe o valor da Taxa de Adesão de 12 anos atrás.

$$TNR = TA \times \left(\frac{1-DC}{100} \right) \text{ [kWh/ano]} \quad (24)$$

TA é o valor da Taxa de Adesão e DC é o valor da Decisão do consumidor. A variável Taxa de não reinserção somente tem seus valores contabilizados quando a diferença de tempo entre o ano na simulação e o ano inicial da simulação for maior que o valor da variável Vida Útil.

$$FRMMG = \int (TA - TNR) dt \text{ [kWh]} \quad (25)$$

TA e TNR são os valores das variáveis Taxa de Adesão e Taxa de não reinserção a cada ano, respectivamente. Desta forma, a variável Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa realiza a integração no período de simulação, da diferença entre o potencial que foi instalado menos o potencial que não foi reinserido a cada ano.

5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados, obtidos através de simulações do cenário atual e demais cenários, os quais são apresentados a seguir. Além das simulações, foram realizados testes de sensibilidade, cujo objetivo é validar a influência de cada variável no modelo, e avaliar aquelas que contribuem de forma mais significativa para a decisão do consumidor, e por consequência, para as fontes renováveis de micro e minigeração.

5.1 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Com o objetivo de observar as variáveis que possuem maior influência no modelo, contribuindo assim de forma mais significativa para a quantidade de energia das Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa, foram realizadas simulações modificando o valor de cada variável em -40%, -20%, +20% e +40% do valor utilizado no cenário atual.

Quadro 8: Valores apurados para as Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa com o decremento no valor das variáveis.

Variáveis	-40%		-20%		0%
	[KWh]	[%]	[KWh]	[%]	[KWh]
Variação tarifas	0,00	-100,00	42.951.193,24	-53,00	91.390.601,49
Fatura de EE	0,00	-100,00	42.951.225,87	-53,00	91.390.601,49
Consumo médio	0,00	-100,00	42.951.225,87	-53,00	91.390.601,49
Tecnologia	54.834.313,76	-40,00	73.112.457,63	-20,00	91.390.601,49
Potencial	54.834.360,89	-40,00	73.112.481,19	-20,00	91.390.601,49
Publicidade	72.473.523,81	-20,70	82.049.998,83	-10,22	91.390.601,49
Cultura	85.518.402,15	-6,43	88.466.062,25	-3,20	91.390.601,49
Tempo de retorno do investimento	96.039.112,95	5,09	91.390.625,05	0,00	91.390.601,49
Custo de implementação	91.829.495,10	0,48	91.390.622,56	0,00	91.390.601,49
Custo de implementação sem impostos	91.829.495,10	0,48	91.390.622,56	0,00	91.390.601,49
Custo total do investimento	91.829.495,10	0,48	91.390.622,56	0,00	91.390.601,49
Vida útil	91.390.605,44	0,00	91.390.603,33	0,00	91.390.601,49

Fonte: O autor.

Desta forma, foi possível ordenar as variáveis em ordem decrescente de contribuição, facilitando a observação do comportamento que cada relação no modelo possa ter com resultado final. O Quadro 8 apresenta o ordenamento das variáveis mais

significativas, para as simulações de -40% e -20%, e o Quadro 9 apresenta os resultados para incrementos de 20% e 40% no valor das variáveis.

Quadro 9: Valores apurados para as Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa com o incremento no valor das variáveis.

Variáveis	0%	20%		40%	
	[KWh]	[KWh]	[%]	[KWh]	[%]
Variação tarifas	91.390.601,49	134.369.215,76	47,03	172.504.428,60	88,76
Fatura de EE	91.390.601,49	134.369.197,90	47,03	172.504.401,18	88,76
Consumo médio	91.390.601,49	134.369.197,90	47,03	172.504.401,18	88,76
Tecnologia	91.390.601,49	109.668.745,35	20,00	127.946.889,22	40,00
Potencial	91.390.601,49	109.668.721,79	20,00	127.946.842,08	40,00
Publicidade	91.390.601,49	100.501.170,70	9,97	109.387.409,49	19,69
Cultura	91.390.601,49	94.292.201,37	3,17	97.171.044,59	6,32
Tempo de retorno do investimento	91.390.601,49	91.390.577,92	0,00	91.390.554,36	0,00
Custo de implementação	91.390.601,49	91.390.580,42	0,00	91.390.559,35	0,00
Custo de implementação sem impostos	91.390.601,49	91.390.580,42	0,00	91.390.559,35	0,00
Custo total do investimento	91.390.601,49	91.390.580,42	0,00	91.390.559,35	0,00
Vida útil	91.390.601,49	91.402.517,91	0,01	91.415.263,59	0,03

Fonte: O autor.

Dos quadros 8 e 9 observa-se a maior influência das variáveis relacionadas à fatura de energia elétrica no valor apurado para as Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa. Decrementos de 40% no valor das variáveis Variação tarifas, Fatura de EE e Consumo médio reduzem por completo a projeção de geração de energia, ao passo que incrementos de mesma grandeza, proporcionam aumento de 88,76% nos valor das Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa.

5.2 CENÁRIOS

Além do panorama atual, foram estimadas e alteradas algumas variáveis, conforme cada novo cenário, facilitando a observação de supostos comportamentos, que poderão ocorrer caso sejam ampliados e/ou criados determinados incentivos.

- **Cenário 1: Atual.** Para esse cenário, foram utilizados os valores e pesos apresentados no Capítulo 4, observando assim, uma previsão de como pode ser o comportamento dos consumidores frente à possibilidade de se tornarem prosumidores. No Quadro 10 são apresentados os dados do cenário atual.

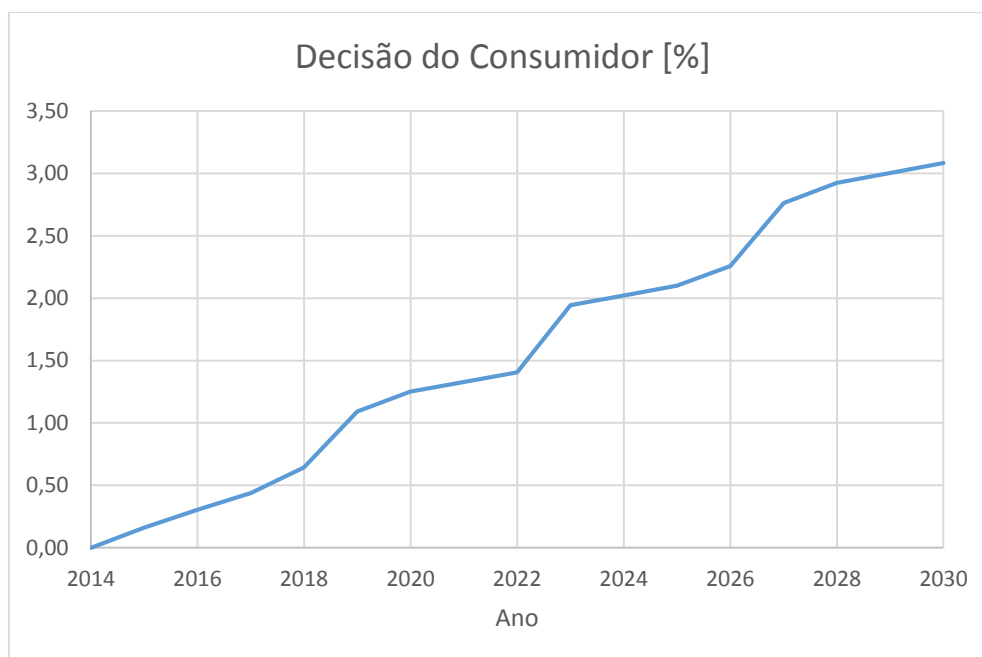
Quadro 10: Valores referentes ao Cenário Atual.

Ano	Decisão do Consumidor [%]	Fontes Renováveis [GWh]
2014	0,00	0,00
2015	0,16	0,00
2016	0,30	0,43
2017	0,44	1,28
2018	0,64	2,59
2019	1,09	4,57
2020	1,25	8,02
2021	1,33	12,26
2022	1,41	16,84
2023	1,94	21,79
2024	2,02	29,11
2025	2,10	36,83
2026	2,26	44,96
2027	2,76	54,25
2028	2,92	65,76
2029	3,00	78,05
2030	3,08	91,39

Fonte: O autor.

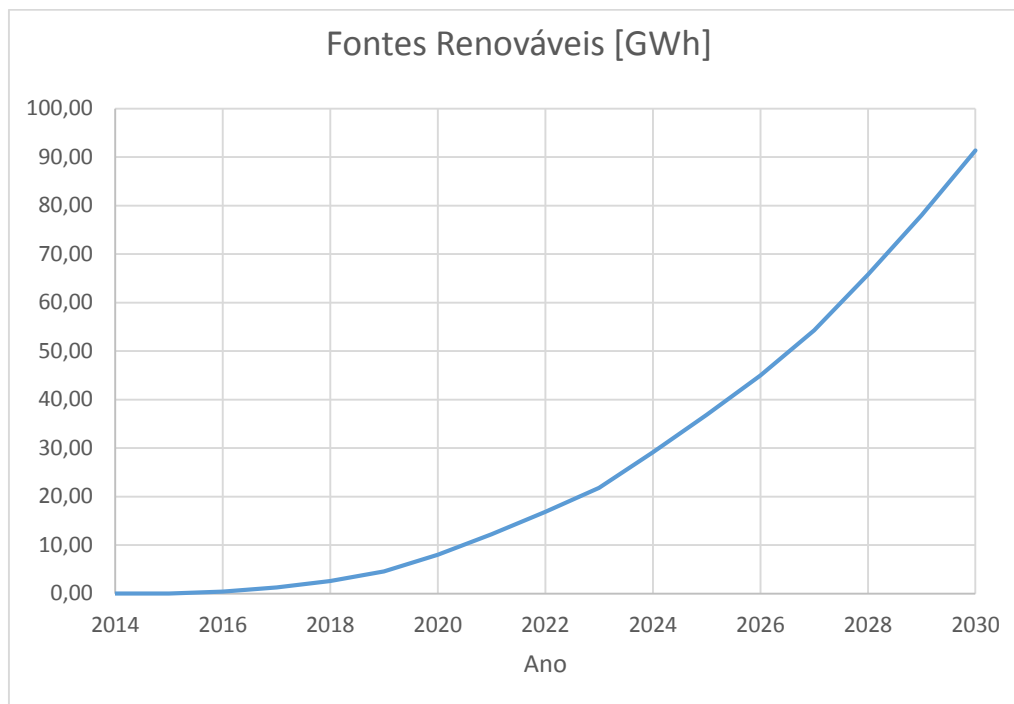
Nas Figuras 17 e 18 são apresentados os gráficos referentes à Decisão do Consumidor e às Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa, respectivamente.

Figura 17: Decisão do Consumidor no cenário atual.



Fonte: O autor.

Figura 18: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa no cenário atual.



Fonte: O autor.

O comportamento apresentado na Figura 18, tem uma evolução exponencial, com uma adesão restrita inicialmente. Conforme ocorre o aumento da fatura de energia elétrica e o fomento por alternativas renováveis de geração, a quantidade de sistemas de micro e minigeração instalados tende a ter forte avanço, porém, não deve ser superior à 15% do potencial disponível que possa ser utilizado.

Ainda, foram simulados outros cenários, onde em cada um deles, foram alterados os valores de determinadas variáveis, de modo a compreender melhor a influência de cada uma dessas, e prever comportamentos que podem acontecer, caso sejam adotados os respectivos incentivos.

- **Cenário 2: Custos reduzidos.** Para este cenário foram incentivadas as variáveis ICMS, IPI e Peso dos incentivos. Entre os anos de 2015 e 2020 foi prevista uma redução do ICMS para 5% e do IPI para 0%, e incremento do Peso dos incentivos para 80%. Entre os anos de 2021 e 2025 foi previsto ICMS de 10%, IPI de 3% e Peso dos incentivos de 40%. Entre os anos de 2025 e 2030 foram retirados os incentivos adicionados anteriormente.

- **Cenário 3: Economizando mais.** Para este cenário foram incentivadas as variáveis ICMS Tarifa, Tarifa Prêmio e Bandeira Tarifária. Entre os anos de 2015 e 2020 foi prevista redução do ICMS Tarifa para 0% e incremento da Tarifa Prêmio para 140% e da Bandeira Tarifária para 3,5%. Entre os anos de 2021 e 2025 foi previsto ICMS Tarifa de 8%, Tarifa Prêmio de 125% e Bandeira Tarifária de 2%. Entre os anos de 2025 e 2030 foi estimado o ICMS Tarifa de 15%, retirado o incentivo na Tarifa Prêmio e Bandeira Tarifária a 1%.
- **Cenário 4: Estou consciente.** Neste cenário, buscou-se fomentar um maior número de variáveis, com evolução dos níveis de Publicidade e Cultura. Entre os anos de 2015 a 2020 utilizou-se os valores de 20% para cultura, 10% para ICMS, 2% para o IPI, 25% de Publicidade, 0% de ICMS Tarifa, Tarifa Prêmio em 120% e Peso dos incentivos em 20%. Entre os anos de 2020 a 2025 utilizou-se os valores de 20% para cultura, 7% para ICMS, 0% para o IPI, 30% de Publicidade, 5% de ICMS Tarifa, Tarifa Prêmio em 140% e Peso dos incentivos em 40%. Entre os anos de 2025 a 2030 utilizou-se os valores de 20% para cultura, 13% para ICMS, 3% para o IPI, 25% de Publicidade, 8% de ICMS Tarifa, Tarifa Prêmio em 110% e Peso dos incentivos em 25%.

De modo a facilitar a visualização das variáveis incentivadas e sua evolução, nos Quadros 11, 12 e 13 é apresentado um comparativo entre as variáveis que compõem os cenários descritos. Nas Figuras 19 e 20 são apresentados os gráficos referentes à Decisão do Consumidor e às Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa, respectivamente, para os novos cenários simulados.

Quadro 11: Comparativo entre as variáveis de cenários no período de 2015 a 2020.

Variáveis	Atual	Custos Reduzidos	Economizando mais	Estou consciente
ICMS	17%	5%	17%	10%
IPI	9,88%	0%	9,88%	2%
Peso dos Incentivos	0%	80%	0%	20%
ICMS Tarifa	25%	25%	0%	0%
Tarifa Prêmio	0%	0%	40%	20%
Bandeira Tarifária	0%	0%	4%	0%
Publicidade	5%	5%	5%	25%
Cultura	10%	10%	10%	20%

Fonte: O autor.

Quadro 12: Comparativo entre as variáveis de cenários no período de 2021 a 2025.

Variáveis	Atual	Custos Reduzidos	Economizando mais	Estou consciente
ICMS	17%	10%	17%	7%
IPI	9,88%	3%	9,88%	0%
Peso dos Incentivos	0%	40%	0%	40%
ICMS Tarifa	25%	25%	8%	5%
Tarifa Prêmio	0%	0%	25%	40%
Bandeira Tarifária	0%	0%	2%	0%
Publicidade	5%	5%	5%	30%
Cultura	10%	10%	10%	20%

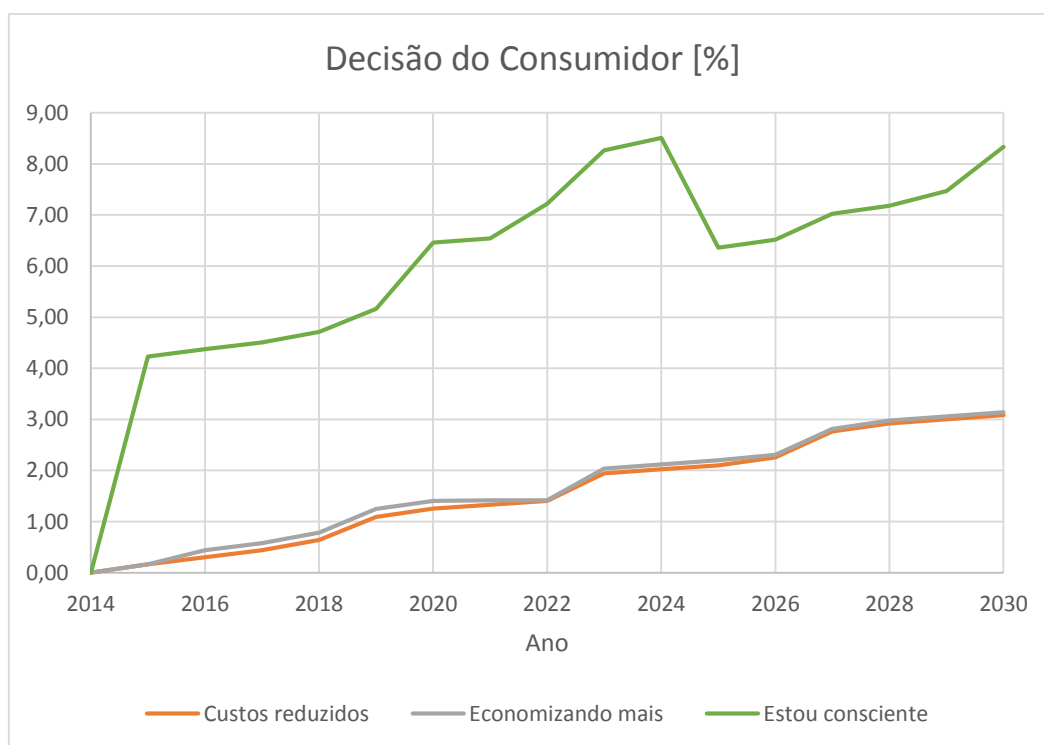
Fonte: O autor.

Quadro 13: Comparativo entre as variáveis de cenários no período de 2026 a 2030.

Variáveis	Atual	Custos Reduzidos	Economizando mais	Estou consciente
ICMS	17%	17%	17%	13%
IPI	9,88%	10%	9,88%	3%
Peso dos Incentivos	0%	0%	0%	25%
ICMS Tarifa	25%	25%	15%	8%
Tarifa Prêmio	0%	0%	0%	10%
Bandeira Tarifária	0%	0%	1%	0%
Publicidade	5%	5%	5%	25%
Cultura	10%	10%	10%	20%

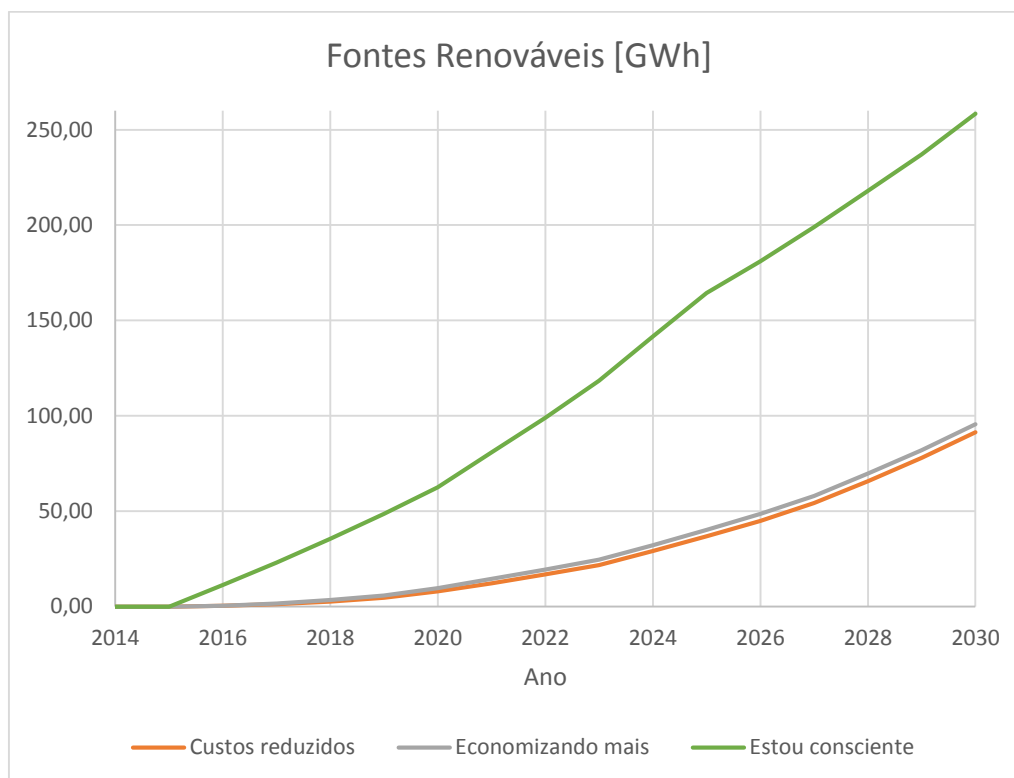
Fonte: O autor.

Figura 19: Decisão do Consumidor para os demais cenários.



Fonte: O autor.

Figura 20: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa nos demais cenários.



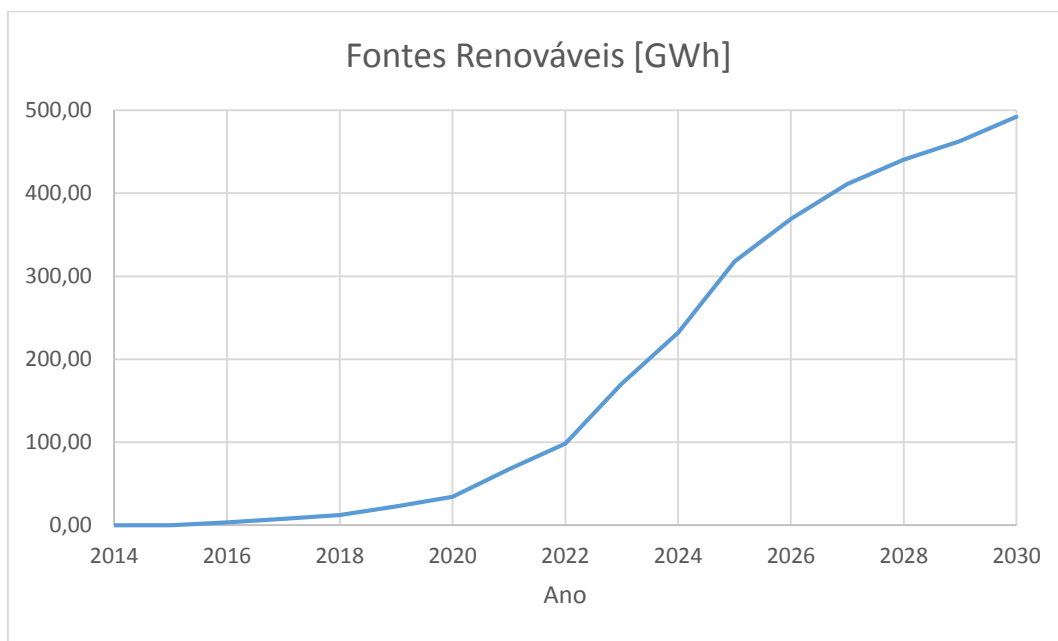
Fonte: O autor.

Verificando o comportamento das novas simulações, observa-se que o cenário “Estou consciente”, possui índices de crescimento muito superiores aos demais. Esta dinâmica deve ser atribuída principalmente à evolução dos níveis de publicidade, os quais apresentaram relevância no modelo. Neste sentido, políticas de favorecimento da viabilidade econômica deverão ser praticadas em conjunto com campanhas publicitárias, esclarecendo à população, principalmente aos consumidores da zona rural (onde se encontra a maior produção dos resíduos), sobre a possibilidade de geração própria de energia elétrica.

Com o objetivo de visualizar a melhoria que pode ocorrer na adesão às Fontes Renováveis de Micro e Minigeração, caso a evolução da Renda e dos Índices de Educação fosse maior que a esperada, foi realizada uma última simulação, onde foram incentivadas além da Contribuição da Renda e da Consciência Ecológica, as variáveis ICMS Tarifa, Tarifa Prêmio e Publicidade.

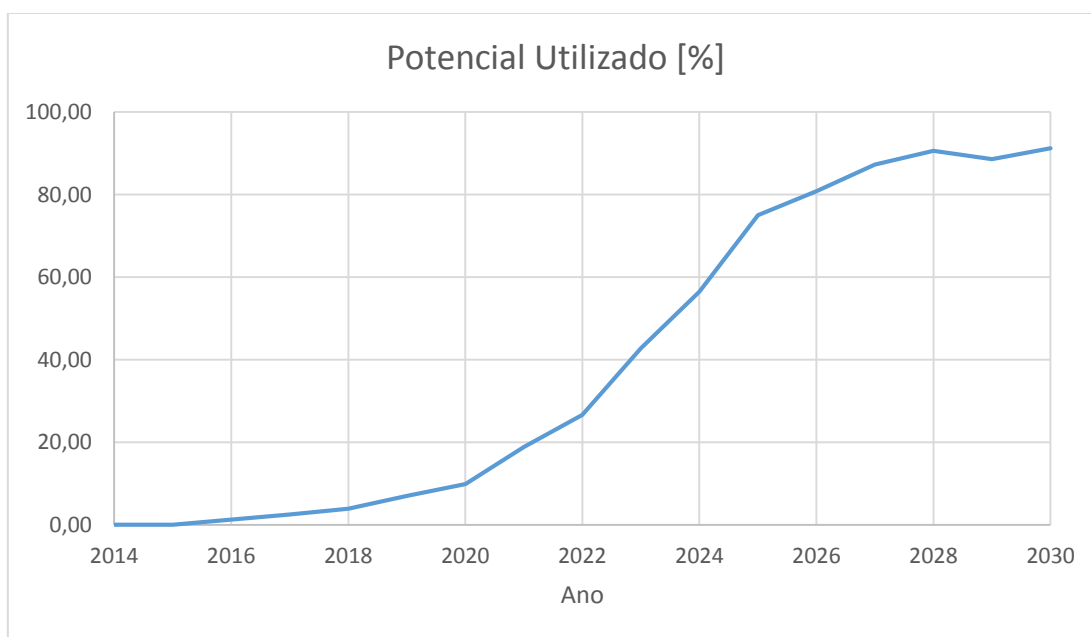
Nas Figuras 21 e 22 são apresentados os gráficos referentes às Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa e do Potencial utilizado em termos percentuais do Potencial disponível, respectivamente, para a última simulação realizada.

Figura 21: Fontes Renováveis de Micro e Minigeração de EE de Biomassa para a simulação com melhoria da Renda e Índice de Educação.



Fonte: O autor.

Figura 22: Potencial Utilizado em termos percentuais para a simulação com melhoria da Renda e Índice de Educação.



Fonte: O autor.

Ao comparar o gráfico da Figura 22 com o Modo de Referência apresentado na seção 4.2 (Figura 7), verifica-se semelhança entre estes. Dessa forma, pode ser dito que o modelo desenvolvido apresenta um comportamento compatível com o esperado, validando assim os resultados encontrados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

A necessidade de diversificação da matriz energética brasileira e o aumento da demanda por energia elétrica, indicam que alternativas de geração e a implementação de fontes renováveis deverão ser contemplados nas políticas energéticas a serem adotadas.

Visto que há um potencial relevante de fontes renováveis de biomassa disponível para ser utilizado, estudos ligados ao tema micro e minigeração são fundamentais para fomentar este assunto, e constituem papel importante na tomada de decisão quanto às ações que podem ser criadas para que os resultados esperados sejam alcançados.

Este trabalho abordou os aspectos principais da regulamentação atual vigente, apresentando os conceitos de micro e minigeração distribuída e as regras que descrevem o sistema de compensação de energia e seus mecanismos. Foram ainda pesquisadas as características da fonte energética objeto deste estudo, a biomassa, e suas principais formas de aproveitamento.

O modelo proposto constituiu-se de uma importante ferramenta para o estudo do problema, pois além da pesquisa realizada durante o processo de construção, possibilitou a ampliação do pensamento sistêmico, ao serem observadas cada interação particular com o todo. Ao relacionar as variáveis que compõem o comportamento da decisão do consumidor, o modelo possibilita a análise de cada uma destas na influência dos resultados finais. Cabe ainda ressaltar, o pioneirismo de estudos como este, tendo em vista a recente publicação da REN 482, a partir da qual criou-se a possibilidade de injeção da micro e minigeração de energia elétrica nas redes das empresas distribuidoras.

A partir das simulações realizadas pode-se concluir que, iniciativas que aumentem a motivação dos consumidores para se tornarem prosumidores deverão ser incentivadas, de modo a possibilitar que uma parcela mais significativa do potencial existente de biomassa seja aproveitada.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

Dentro do modelo desenvolvido, existe a possibilidade de criação de submodelos, que tenham o objetivo de analisar de forma mais detalhada o comportamento de algumas variáveis. Um dos submodelos possíveis poderia ser criado para modelar o comportamento da Tarifa Branca e das Bandeiras Tarifárias com relação às mudanças que estas acarretarão na fatura de energia elétrica.

Com relação ao potencial disponível, poderiam ser realizados estudos que objetivem descrever de forma mais completa aspectos como o tipo de criação e peso médio dos animais e aproveitamentos alternativos da biomassa vegetal que ocasionem o não aproveitamento desta para fins de geração de energia elétrica. Em busca de “feedbacks” que possibilitem a manutenção dos pesos das variáveis na Decisão do Consumidor, necessitam serem realizadas pesquisas contínuas sobre os aspectos que tem motivado os consumidores que resolveram aderir à micro e minigeração distribuída.

ANEXO A - CONCEITOS DE DINÂMICA DE SISTEMAS

O conceito de Dinâmica de Sistemas (DS) foi concebido por Jay Forrester e consolidada em 1961 com a publicação do livro *Industrial Dynamics*. Posteriormente, Peter Senge, engenheiro formado em Stanford e orientado de Forrester, trabalhou na década de 70 na realização de seminários com executivos, introduzindo a prática do pensamento sistêmico dinâmico no seio das grandes organizações [22].

Dinâmica de Sistemas é uma ferramenta de que tem como objetivo identificar as variações de um sistema ao longo do tempo. Esta abordagem tem como principal premissa o fato de que o comportamento de um sistema é determinado por sua estrutura interna [23]. Para isso, é necessário observar como se estabelece a interação entre as variáveis do sistema. Desta forma se pode analisar sua evolução ao longo do tempo, testar os diferentes tipos de comportamento que o sistema real pode experimentar, tornando viável a identificação e avaliação de melhorias potenciais, através da adoção de um ou mais pontos de alavancagem [24].

A adaptação dos métodos da engenharia de controle à abordagem de DS visa permitir sua aplicação a problemas econômicos e sociais de elevada complexidade, uma representação visual das equações algébricas e diferenciais, que caracterizam a estrutura de sistemas, e a possibilidade de visualização, também, do comportamento dinâmico dos sistemas, através de métodos similares aos usados na análise de sistemas técnicos [25]

De acordo com SENGE [31], o paradigma convencional, de dividir os sistemas em partes e estudar essas partes isoladamente, pode não ser a melhor técnica para análise de sistemas. As conexões e interações são, normalmente, mais importantes. A DS representa um avanço na análise de problemas, pois explicita e modela os mecanismos de realimentação entre as partes.

Portanto, a DS deve buscar construir um modelo representativo do sistema, para que se tenha uma simulação real e possível do seu comportamento ao longo do tempo, podendo dessa maneira, avaliar abordagens de ordem política. Quando novas informações são geradas, é possível se avaliar qual o impacto da decisão passada no sistema em questão [24]. A modelagem da DS está orientada para mapear a estrutura, e por

intermédio da simulação, verificar o impacto das decisões, e testar diferentes políticas e soluções para operação do sistema [23].

Segundo Schuch [25], há diversas facilidades que são oferecidas pela DS, dentro dessas se podem destacar a possibilidade de tratar aspectos de longo e curto prazo num mesmo modelo; a representação completa de relações complexas e não-lineares; a possibilidade de representar variáveis sociais e psicológicas; e a facilidade com que os efeitos de alternativas políticas podem ser testados.

➤ CONHECIMENTO DO SISTEMA

Um sistema pode ser caracterizado por seu estado, que é o conjunto de propriedades relevantes num dado período. As variáveis externas devem também ser consideradas, pois as mudanças no ambiente externo podem induzir alterações no estado do sistema [25].

Um modelo pode ser definido como uma representação externa e explícita de parte da realidade percebida pela pessoa que deseja usar aquele modelo para entender, mudar, gerenciar e controlar parte daquela realidade [26]. Dessa maneira, se devem definir os objetivos do modelo desejado. Portanto, para se construir um sistema real e possível busca-se o reconhecimento dos fatores que exercem influência significativa em seu comportamento.

Assim, esta primeira etapa consiste em listar todas as variáveis que são significativas ao sistema, sempre em vista dos objetivos procurados.

➤ ESPECIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DINÂMICO (MODO DE REFERÊNCIA)

Tendo sido realizada a compreensão do sistema, deve-se definir com precisão e descrever os aspectos do problema de forma clara, concisa e precisa. Este passo envolve a descrição do comportamento dinâmico a ser estudado. A partir dessa descrição do comportamento temporal das principais variáveis de interesse deverá ser estimado um gráfico, o qual é dito modo de referência, e serve como uma imagem aproximada dos gráficos que deverão ser obtidos a partir do modelo principal [27].

Se o fenômeno possui algum histórico, o modo de referência deverá ser representado considerando o comportamento histórico registrado, o qual é o que se deseja reproduzir com o modelo. Caso sejam modeladas situações futuras, o modo de referência é mais genérico, porém deverá ser capaz de abranger, através das correspondentes variações dos parâmetros, o comportamento a ser verificado pelo modelo [27].

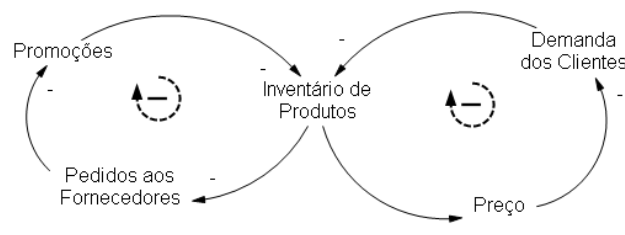
Como em uma empresa, onde os funcionários mais experientes conseguem prever como será o comportamento de um determinado evento, é essencial na Dinâmica de Sistemas que se tenha o modo de referência para que se possa embasar e validar os resultados encontrados.

➤ MODELO TEÓRICO – DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Nesta etapa, já é conhecido às variáveis do modelo e se torna necessário realizar as relações entre estas. É essencial identificar e definir as características do sistema, determinando as relações causa-efeito e as estruturas de realimentação. Tal tarefa utiliza a técnica dos chamados Diagramas de Laço Causal (DLC), os quais são diagramas de natureza qualitativa que possibilitam uma maior compreensão do comportamento do sistema devido à simplicidade com que seus elementos e a interação entre eles são representados de maneira estruturada [28].

De acordo com Sterman [29], os diagramas de laço causal cumprem um importante papel na modelagem dos sistemas por servir como um esboço das hipóteses causais e possibilitar que os pressupostos estruturais dos sistemas sejam explicitamente comunicados. A Figura A.1 apresenta um modelo e as relações causais entre às variáveis de interesse, explicitando o laço de realimentação entre as mesmas.

Figura A.1: Abordagem Qualitativa - Diagrama de laço Causal



Fonte: Adaptado de Kauffman [30]

Neste modelo, pode-se identificar três tipos de ligações em um DLC, citadas a seguir:

- **Ligação Causal:** É a influência direta de uma variável sobre a outra (causa-efeito). Sua representação no DLC é indicada por uma seta que sai da variável causal e chega à variável afetada. Na ponta da seta é indicada se a relação é de reforço (+) ou de equilíbrio (-);
- **Corrente Causal:** Uma variável será causal quando afetar uma outra variável, porém, ela torna-se uma variável afetada se for influenciada por uma terceira variável [25];
- **Laço Causal:** Os sistemas reais possuem características de realimentação onde as variáveis afetadas podem influenciar as variáveis causais, representando uma sucessão de relações causa-efeito circulares [25]. Para se verificar se a realimentação é positiva ou negativa, faz-se necessário identificar as ações que o originam. Com isto, basta verificar a quantidade de relações negativas. Se o número de relações for ímpar, o laço é do tipo equilíbrio, se o número de relações for par, o laço é do tipo reforço.

➤ ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

Tendo sido identificadas as variáveis presentes no modelo e as suas respectivas interações, faz-se necessária realizar uma estimação dos valores dos parâmetros daquelas variáveis que são consideradas constantes, assim como dos pesos de cada variável auxiliar e a ponderação das relações.

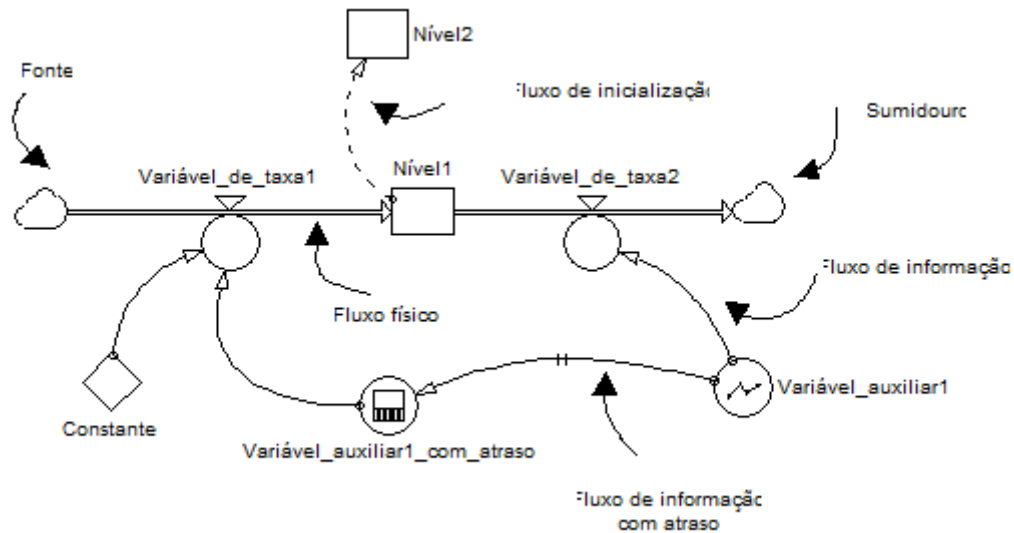
Além disso, ao se trabalhar o modelo e realizar as simulações, torna-se necessária a correção de eventuais variáveis que tenham sido mal dimensionadas.

➤ MODELO COMPUTACIONAL – DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXOS

O modelo computacional tem por objetivo transformar a análise qualitativa realizada até então descrita em uma análise quantitativa. Para isso, é utilizada a técnica de Diagrama de Estoque e Fluxos (DEF).

Os estoques e fluxos são responsáveis por retardos; eles dão inércia e memória aos sistemas; eles podem ampliar ou atenuar distúrbios; e são fundamentais na formulação dinâmica produzida por sistemas [31]. Para este tipo de análise há símbolos padronizados, conforme é apresentado na Figura A.2, os quais são detalhados a seguir.

Figura A.2: Símbolos para DEF



Fonte: Adaptado de Schuch [25]

- **Níveis:** As variáveis de nível são representadas por um retângulo. Todas as equações de níveis envolvem integrações e só podem ser conectados a outras variáveis por intermédio de uma variável de taxa. Dentro de cada variável de nível há uma equação que a representa;
- **Taxas:** As variáveis de taxa (derivadas) são representadas por uma válvula. Estas variáveis controlam as taxas com que as variáveis de níveis se alteram, e podem receber entrada de constantes, variáveis auxiliares e variáveis de nível. Dentro de cada variável de taxa há uma equação que a representa;
- **Auxiliares:** As variáveis auxiliares são representadas por um círculo. Estas variáveis controlam as variáveis de taxa. Dentro de cada variável auxiliar há uma equação que a representa;
- **Constantes:** As constantes são representadas por um losango e possui um valor inalterado durante todo o intervalo de simulação;
- **Linhas de Fluxo:** As linhas de fluxo podem ser divididas em fluxos conservativos (físicos) e fluxos não conservativos (informação). Os fluxos físicos representam quantidades conservativas, que podem ser movidas de um lugar para outro no

sistema. Os fluxos de informação, não conservativos, que realizam a interconexão entre os fluxos físicos, ou seja, auxiliam na tomada de decisão. As linhas pontilhadas representam fluxos de inicialização de variáveis de nível, as linhas cheias para os fluxos de informação e as linhas duplas para os fluxos físicos [25];

- **Delay:** O delay é representado por dois traços que cortam as linhas de fluxo. Tem por objetivo atrasar a influência de uma variável na outra;
- **Retirada da informação:** É representada por quatro arestas desenhadas ao redor da variável a qual foi retirada a informação. Este recurso não altera a informação da variável, apenas é utilizado para otimizar a representação gráfica;
- **Fontes e Sumidouros:** São representados por uma nuvem. A fonte (origem) e o sumidouro (destino) representam os limites do modelo.

➤ SIMULAÇÕES

As simulações consistem na representação gráfica e numérica das variáveis de interesse. Estas podem ser nomeadas para uma análise de intervalos de tempo igualmente espaçados e determinados pelo usuário, bem como o tempo de estudo.

Há ainda a possibilidade de se realizar uma interface gráfica com o usuário, de modo que este pode atribuir, através de botões, valores desejados as variáveis de interesse e assim, a cada passo de simulação, pode-se alterar os valores de entrada (constantes) conforme as políticas escolhidas.

➤ ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade permite estudar a estabilidade da solução em função da possível variação dos seus parâmetros, permitindo detectar a relevância dos dados. De modo geral, a análise de sensibilidade é utilizada para: (1) tomar melhores decisões, (2) decidir quais dados estimados devem ser refinados antes de tomar uma decisão e, (3) concentrar-se nos elementos críticos durante a implementação [32].

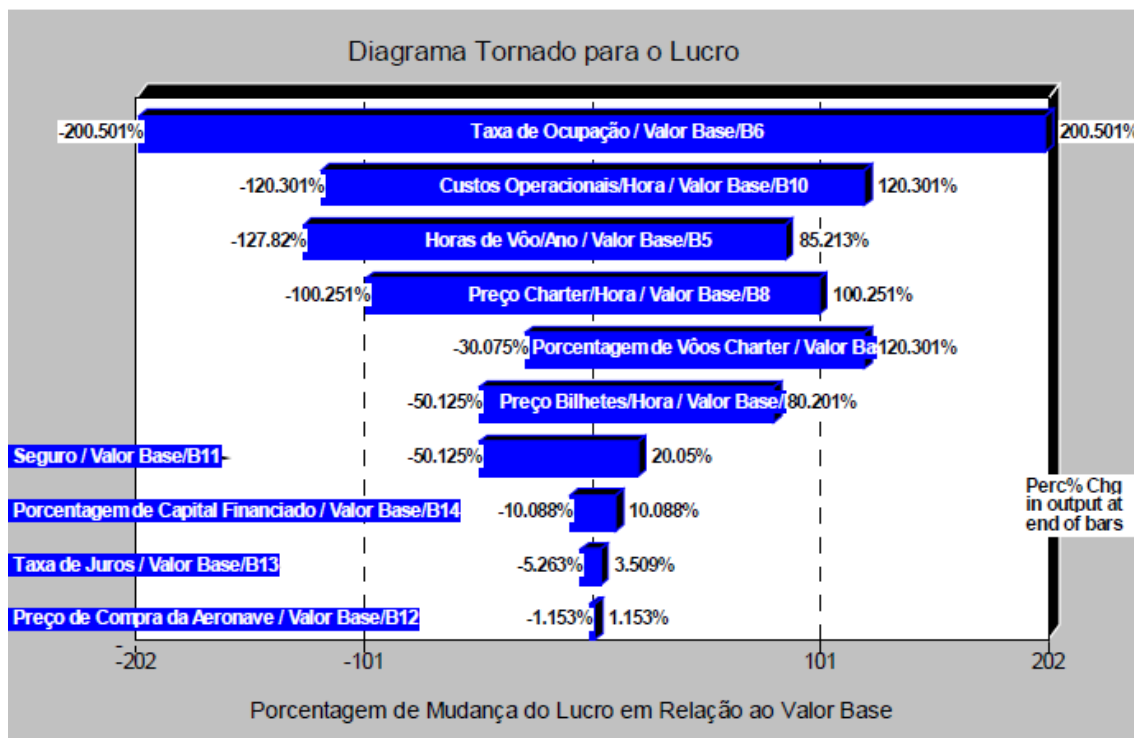
Por outro lado a análise de sensibilidade pode ser realizada considerando dois aspectos: (a) examinando o impacto de mudanças in base-case assumptions. Por exemplo, a sensibilidade do valor da variável dependente devido à mudanças dos valores das variáveis independentes, e (b) examinando o impacto do valor do pay-off devido à

mudanças dos valores das probabilidades de ocorrência dos eventos aleatórios num problema de análise de decisão [33].

Neste relatório será abordado o método do Diagrama Tornado, que consiste na análise do valor da variável dependente em função das variáveis independentes, estas definidas em um intervalo. Para se utilizar este método de análise deve-se atentar para os valores assumidos pelas variáveis independentes; a sensibilidade dessas mudanças no resultado final; e a maior variação do resultado final pelo impacto das variáveis independentes.

Calculadas as extensões totais de todas as variáveis independentes, estrutura-se um gráfico com o eixo horizontal representando a variação no resultado final e o eixo vertical definido pelo resultado calculado com o valor-base da variável dependente [33]. A Figura A.3 apresenta uma distribuição qualquer, a qual se destaca que as extensões das variáveis são barras horizontais, limitadas por seus valores no eixo horizontal.

Figura A.3: Exemplo de Diagrama Tornado



Fonte: Adaptado de Silva; Belderrain [33]

Segundo Maani e Cavana [34] as seguintes etapas devem ser realizadas para o teste de sensibilidade:

- Selecionar os parâmetros ou grupos de parâmetros que se considera que mais afetam o comportamento do modelo;
- Modificar os valores de cada grupo separadamente a partir de uma certa percentagem (por exemplo, mais 10% ou mais 25%) de cada vez e ir rodando as simulações;
- Identificar aqueles parâmetros que, quando modificados, afetam significativamente o comportamento do modelo;
- Analisar se as mudanças de comportamento são justificáveis a partir da teoria ou do senso comum.

➤ **TESTE DE POLÍTICAS**

O teste de políticas abrange o processo de tomada de decisão e a avaliação de conteúdo, bem como dos seus impactos sobre a resposta do modelo. O processo de elaboração de políticas públicas envolve uma fase na qual é preciso compreender a realidade na qual se pretende atuar e definir o problema a ser enfrentado, a partir da formulação de um modelo causal que consiste em hipóteses e pressupostos sobre determinados fenômenos sociais [35].

Essas políticas constituem muitas vezes as bases para definição de planos de ação que estabelecem as diretrizes para programas, que por sua vez, são implementados na forma de projetos [36]. Dessa maneira, se verificam as políticas necessárias a fim de chegar ao objetivo proposto.

ANEXO B – CÁLCULO DO POTENCIAL INICIAL

A metodologia utilizada para realizar o cálculo do potencial disponível no início do período de simulação foi baseada no Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas [37], realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, IPEA. Complementarmente, foi utilizado o Atlas de Bioenergia do Brasil [38], elaborado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa, CENBIO.

Inicialmente foi realizado um levantamento referente a quantidade de animais criados, assim como a produção anual de produtos de lavoura permanente e temporária, dentro da área de concessão da CEEE-D. Estes dados foram obtidos do Censo agropecuário 2006 [17], por fornecer maior detalhamento, quando específica, além da quantidade de animais e produção, o número de estabelecimentos que contribuíram para este potencial. A Equação (B.1) apresenta o método de cálculo para a biomassa vegetal.

$$Pot\ veg = \frac{P * \%R * PCI * \eta}{0,860} \text{ [kWh/ano]} \quad (B.1)$$

Pot veg é o potencial energético gerado a partir de resíduos no ano (KWh), P é a produção total da cultura em toneladas, %R é a porcentagem de resíduos sobre a produção total da cultura, PCI é o poder calorífico inferior em kcal/kg, η é a eficiência de conversão, utilizada como sendo de 15%, e 0,860 é o fator de conversão de kcal/kg para kWh/kg.

No Quadro B.1 são apresentados os valores utilizados no cálculo do potencial vegetal. A produção total refere-se ao valor apurado em todos os 72 municípios pertencentes à área de concessão da CEEE-D. No entanto, o cálculo do potencial foi realizado primeiramente para cada cidade, e então limitado pelo consumo médio de 274,14 KWh por estabelecimento, tendo em vista que a análise objetiva verificar a micro e mini geração, e dificilmente um consumidor irá produzir mais energia elétrica do que lhe é necessário. Alguns produtos não foram incluídos no cálculo, pois existem outros destinos comerciais, como é o caso da banana, laranja e arroz.

Quadro B.1: Dados necessários para o cálculo do potencial vegetal.

Produto	P [toneladas]	%R [%]	PCI [kcal/Kg]
Café	8	50	3800
Cana-de-açúcar	108708	30	3641
Feijão	1486	53	3700
Milho	341666	58	3570
Soja	202376	73	3300
Trigo	13138	60	3750

Fonte: O autor.

A Equação (B.2) apresenta o método de cálculo para a biomassa animal.

$$Pot\ ani = \frac{Pm * Dej * 347 * Quant * Pb * Conc * PCI * 0,35 * \eta}{PE * 3,789} \text{ [kWh/ano]} \quad (B.2)$$

Pot ani é o potencial energético gerado a partir de resíduos no ano (KWh), Pm é o peso médio de cada animal em toneladas, Dej é a quantidade de dejetos gerados em um dia por quilo de animal, 347 é o número de dias em que foi considerado o aproveitamento dos dejetos, Quant é a quantidade total de cada tipo de animal, Pb é a produção de biogás em Kg por quilograma de esterco, Conc é a concentração de metano no biogás, PCI é o poder calorífico inferior do metano, utilizado como sendo 33,8 [MJ/m³ch₄], 0,35 é a eficiência de coleta do gás, η é a eficiência elétrica, utilizada como sendo de 28%, PE é o peso específico do metano, utilizado como sendo 0,716 e 3,789 é o fator de conversão para kWh.

No Quadro B.2 são apresentados os valores utilizados no cálculo do potencial animal. A quantidade total refere-se ao valor apurado em todos os 72 municípios pertencentes à área de concessão da CEEE-D. No entanto, o cálculo do potencial foi realizado primeiramente para cada cidade, e então limitado pelo consumo médio de 274,14 KWh por estabelecimento, tendo em vista que a análise objetiva verificar a micro e mini geração, e dificilmente um consumidor irá produzir mais energia elétrica do que lhe é necessário.

Algumas espécies de animais não foram incluídas no cálculo, pois não foi possível mensurar informações referentes aos dejetos que podem ser aproveitados, como é o caso do gado de corte, equinos, asininos, muares, caprinos e ovinos, devido ao fato de estas criações serem predominantemente do tipo extensivas, ou seja, criadas “ao pasto”.

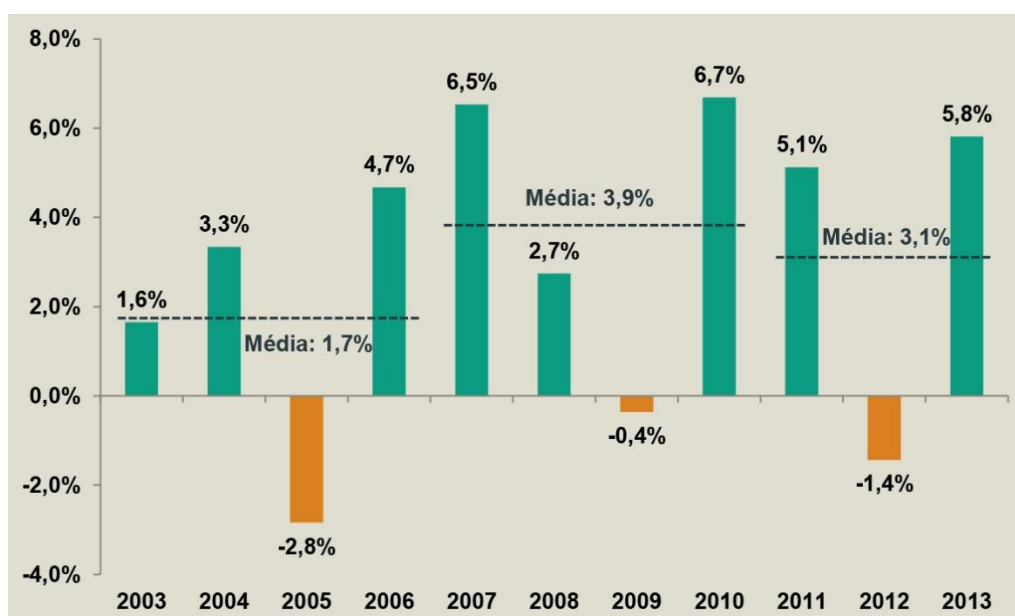
Quadro B.2: Dados necessários para o cálculo do potencial animal.

Espécie	Pm [Kg]	Dej [%]	Quant [n° cabeças]	Pb [kg biogás/kg esterco]	Conc [%]
Bovino	450	8,6	393355	0,037	60
Bubalino	450	8,6	2181	0,037	60
Suínos	45,55	8,4	235918	0,062	66
Aves	0,6195	8,5	303145	0,055	60

Fonte: O autor.

Como o período de simulação iniciou-se no ano de 2014, o potencial calculado necessitou ser atualizado para os dias atuais, utilizando para tanto os índices de crescimento do PIB no Rio Grande do Sul dos anos de 2007 a 2013, conforme apresentado na Figura B.1.

Figura B.1: Crescimento Anual do PIB RS vs Média anual por Administração.



Fonte: CDL POA [39].

Calculado o valor de cada tipo de potencial e tendo sido feita a limitação pelo consumo e a evolução do crescimento pelo PIB RS, o potencial total de biomassa apurado foi de 260,73 GWh, no início de 2014.

REFERÊNCIAS

- [1] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. 2013. Disponível em:
<www.epe.gov.br/Estudos/Documents/PDE2022.pdf>. Acesso em: 26 de agosto de 2014.
- [2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa 482**. 2012. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 12 de junho de 2014.
- [3] _____. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST**. 2012. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 02 de setembro de 2014.
- [4] _____. **Resolução Normativa nº 517**. 2012. Disponível em:
<www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>. Acesso em: 14 de junho de 2014.
- [5] _____. **Resolução Normativa nº 414**. 2010. Disponível em:
<www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 11 de agosto de 2014.
- [6] _____. **Resolução Normativa nº 418**. 2012. Disponível em:
<www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012418.pdf>. Acesso em: 11 de agosto de 2014.
- [7] _____. **Resolução Normativa nº 479**. 2012. Disponível em:
<www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012479.pdf>. Acesso em: 11 de agosto de 2014.
- [8] _____. **Espaço do consumidor, Tarifa Branca**. 2014. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=781>>. Acesso em: 08 de setembro de 2014.
- [9] _____. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2. ed.** 2002. Disponível em:
<[www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 13 de setembro de 2014.
- [10] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Série Energias Renováveis, Biomassa, 1. ed.** 2007. Disponível em:
<<http://www.cerpch.unifei.edu.br/cartilhas.html>>. Acesso em: 15 de setembro de 2014.

[11] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Energias Renováveis, Biomassa**. 2014. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em 12 de setembro de 2014.

[12] Blog FRAGMAQ. **Biomassa, Biomassa vegetal e animal**. 2012. Disponível em: <<http://www.agmaq.com.br/blog/biomassa/biomassa-vegetal-e-animal/>>. Acesso em 24 de setembro de 2014.

[13] INSTITUTO WINROCK. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. 2008. Disponível em: <www.ieham.org/html/docs/Manual_Biodigestao.pdf>. Acesso em 24 de setembro de 2014.

[14] INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Biocombustíveis**. 2014. Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/biocombustiveis/biomassa>>. Acesso em 23 de setembro de 2014.

[15] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. 2008. Disponível em: <<http://livroaberto.ibict.br/handle/1/863>>. Acesso em 25 de setembro de 2014.

[16] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Uso de biomassa florestal para geração elétrica em grande escala**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t2363s/t2363s0m.htm>>. Acesso em 25 de setembro de 2014.

[17] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 2006**. 2009. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/232DX>>. Acesso em 12 de agosto de 2014.

[18] FARIA, E.M. **Estudo da inserção de mini e microgeração fotovoltaica distribuída na projeção de demanda da classe residencial**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

[19] LAUTENSCHLEGER, A.H. **Projeção de demanda de energia elétrica da classe residencial considerando a inserção de micro e minigeração fotovoltaica**. 2013.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

[20] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010**. 2013. Disponível em: <www.censo2010.ibge.gov.br>. Acesso em 14 de agosto de 2014.

[21] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Seminário Micro e Minigeração Distribuída – Impactos da Resolução Normativa n. 482/2012**. 2014. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/hotsite/mmgd/>>. Acesso em 14 de outubro de 2014.

[22] VILLELA, P. R.C. **Introdução à dinâmica de sistemas**. Juiz de Fora. 2005.

[23] JÚNIOR, J.V.M.; OLIVEIRA, F.P.S.; SOUZA, R.L.R.; ANEZ, M.E.M. **Simulação da dinâmica do “jogo da cerveja” através do software de modelagem e simulação empresarial SIMADM**. Bauru. 2006.

[24] FERNANDES, A DA CRUZ. **Scorecard dinâmico – em direção à integração da dinâmica de sistemas com o balanced scorecard**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2003.

[25] SCHUCH, G B. **Um modelo para estudos da demanda de energia elétrica em ambiente competitivo**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2000.

[26] RIBEIRO, LUIZ M. F. **Dinâmica de sistemas: Uma ferramenta de experimentação e aprendizado organizacional**. Itajubá. 2002.

[27] ROJASRIVERO, D.; PERDOMO, A.; BARÓN, N. **Teoría General de Sistemas**. 2014. Disponível em: <<http://tgs7233.galeon.com/dinamica.htm>>. Acesso em 28 de setembro de 2014.

[28] ANDRADE, A. L. **Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional**. Revista Eletrônica de Administração, 5. ed., v. 3, n. 1, jun. 1997. Disponível em: <<http://read.adm.ufrgs.br/read05/artigo/andrade.htm>>. Acesso em 28 de set. de 2014.

- [29] STERMAN, J. D. **Business dynamics: system thinking and modeling for a complex world.** Boston: McGrawHill, 2000.
- [30] KAUFFMAN, D L. **Introduction to system thinking.** New York: Future Systems, 1981.
- [31] SENGE, P M. **A quinta disciplina – arte, teoria e prática da organização de aprendizagem.** São Paulo: Best Seller, 1990.
- [32] ESCHENBACH, T. G. **Spiderplots versus Tornado diagrams for Sensitivity Analysis. Interfaces.** 1992.
- [33] SILVA, R.M.; BELDERRAIN, M.C.N. **Considerações sobre análise de sensibilidade em análise de decisão.** 2005. Disponível em: <<http://www.bibl.ita.br/xencita/Artigos/63.pdf>>. Acesso em 20 de set. de 2014.
- [34] MAANI, K.E.; CAVANA, R.Y. **Systems Thinking and Modeling: understanding Chance and Complexity.** Pearson Education New Zeland, 2004.
- [35] DROR, Y. **Public policymaking re-examined.** Oxford, U.K.: Transaction Publishers, 1983.
- [36] ALVEZ, L.B. **Aplicação da dinâmica de sistemas no planejamento de projetos de desenvolvimento: projetos de habitação social.** Florianópolis, 2008.
- [37] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas.** 2012. Disponível em: <www.ipea.gov.br/agencia/index.php?option=com_content&view=article&id=15493>. Acesso em 20 de setembro de 2014.
- [38] CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). **Atlas de Bioenergia do Brasil.** 2012. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/destaques/2012/atlasbioenergia2012.htm>>. Acesso em 21 de setembro de 2014.

[39] CÂMARA DE DIRIGENTES LOJISTAS (CDL). **Crescimento Anual do PIB RS vs Média anual por Administração**. 2014. Disponível em: <<http://www.cdlpoa.com.br/artigo-economia/agropecuaria-faz-pib-gaucho-crescer-58-em-2013/>>. Acesso em 21 de setembro de 2014.

[40] POWERSIM SOFTWARE. **Powersim Studio 10 Academic**.