

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

AUGUSTO SCAPINI ALLES

**MODELO PARA ESTUDOS DE POLÍTICAS DE MIGRAÇÃO
DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS PARA O MERCADO
LIVRE**

Porto Alegre
2018

AUGUSTO SCAPINI ALLES

**MODELO PARA ESTUDOS DE POLÍTICAS DE MIGRAÇÃO
DE CONSUMIDORES RESIDENCIAIS PARA O MERCADO
LIVRE**

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 Dra. Gladis Bordin

Porto Alegre
2018

AUGUSTO SCAPINI ALLES

**MODELO PARA ESTUDOS DE POLÍTICAS DE MIGRAÇÃO DE CONSUMIDORES
RESIDENCIAIS PARA O MERCADO LIVRE**

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

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

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

Paulo Roberto Eckert (Prof. Dr.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Cristiano Baumgarten (Eng.) – SEMAE – Rio Grande do Sul

Ao meu pai, Roberto Afonso Alles, à minha mãe,
Maria Isabel Scapini Alles, aos meus dois irmãos
e à Anita, por todo apoio que me deram.

RESUMO

O mercado livre de energia elétrica foi instituído no Brasil no ano de 1995, com a Lei nº 9.074/95, e desde então sofreu inúmeras mudanças. Atualmente, no mercado livre de energia brasileiro podem participar consumidores que apresentarem uma demanda superior a 500 kW, os quais podem se tornar consumidores especiais. O que acaba por deixar de fora a parcela de consumidores de pequeno porte. Tendências mundiais apontam que todos consumidores se tornarão livres no futuro, uma vez que alguns países desenvolvidos, todos os consumidores podem participar do mercado livre, e acredita-se que isso também ocorrerá no Brasil. Diante disso, a presente monografia apresenta a construção de um modelo através da técnica de Dinâmica de Sistemas, visando identificar os fatores e políticas mais influentes na tomada de decisão dos consumidores residenciais quanto à migração para o mercado livre, perante um cenário no qual o consumidor possa se tornar livre. Para a realizações de testes no modelo, foram utilizados cenários diversos, que simulam a tomada de decisão do consumidor, englobando não apenas fatores técnicos e econômicos, mas também fatores comportamentais. Os resultados obtidos mostram que políticas de conscientização a respeito do mercado livre, através de *marketing* e incentivos, são os principais fatores que inicialmente têm uma maior influência na tomada de decisão dos consumidores residenciais subclasse B1.

Palavras-chave: consumidor residencial, mercado livre de energia, dinâmica de sistemas, migração.

ABSTRACT

The free energy market established in Brazil in 1995, under Law 9.074 / 95, had numerous changes. At present, in the Brazilian energy market only consumers that present a demand higher than 500 kW can participate, as a special consumer. Which ends up leaving aside the share of small consumers. Global trends point out that all consumers will become free in the future, since some developed countries has all its consumers in the free market, and it is believed that this will also occur in Brazil. Thus, this bachelor thesis presents the construction of a model through the technique of Systems Dynamics, aiming to assist and present the most influential factors and policies in the decision making of residential consumers regarding the migration to the free market, in a scenario in which the consumer can become free. For the realization of tests in the model, several scenarios were used, which simulate consumer decision in those scenarios, encompassing not only technical and economic factors, but also behavioral and environmental factors. The results obtained show that policies to raise awareness about the free market, through marketing and incentives, are the main factors that initially have a greater influence in the decision making of residential consumers subclass B1.

Keywords: energy market. system dynamics.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MOTIVAÇÃO	12
1.2	CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	12
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Geral	14
1.3.2	Específicos	14
1.4	METODOLOGIA DE PESQUISA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	16
2.1	CONSUMIDOR RESIDENCIAL EM OUTROS PAISES	16
2.2	CONSUMIDOR RESIDENCIAL BRASILEIRO	17
2.2.1	Grupos, Subgrupos, classes e subclasses	17
2.2.2	Tarifação subgrupo B1 - residencial	19
2.2.3	Consumidor residencial no contexto atual	21
2.3	MERCADO LIVRE	23
2.3.1	Mercado livre de energia	23
2.3.2	Funcionamento	23
2.3.3	Agentes do mercado livre	25
3	DINÂMICA DE SISTEMAS	27
3.1	COMPREENSÃO DO SISTEMA	28
3.2	MODO DE REFERÊNCIA	28
3.3	DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL	28
3.4	DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO	31
3.5	ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS	32
3.6	SIMULAÇÃO DO MODELO	32
3.7	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	33
3.8	TESTE DE POLÍTICAS	33
4	MODELO PROPOSTO	34
4.1	CONHECENDO O SISTEMA	34
4.2	MODO DE REFERÊNCIA	35
4.3	DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL	38
4.4	DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO	41

4.4.1	Comercio e produção de medidores, custo inicial da migração, incentivos e retorno sobre o investimento	42
4.4.2	Consumidores no ACR, publicidade e comodidade	46
4.4.3	Escolaridade e cultura.....	48
4.4.4	Decisão do consumidor e taxa de adesão	49
4.5	ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS	50
4.6	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	53
5	TESTES DE POLÍTICAS	60
5.1	CENÁRIO 1: CONSUMIDOR RESIDENCIAL COMO LIVRE ESPECIAL.....	60
5.1.1	Referência.....	60
5.1.2	Otimista	61
5.1.3	Pessimista	62
5.2	CENÁRIO 2: CONSUMIDOR RESIDENCIAL COMO LIVRE	63
5.2.1	Referência.....	64
5.2.2	Otimista	64
5.2.3	Pessimista	65
5.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS	66
6	CONCLUSÕES.....	68
6.1	TRABALHOS FUTUROS	68
7	REFERÊNCIAS	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AUC	<i>Alberta Utilities Comision</i>
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CFURH	Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CMO	Custo Marginal de Operação
DS	Dinâmica de Sistemas
DEF	Diagrama de Estoque e Fluxo
DLC	Diagrama de Laço Causal
EER	Energia de Reserva
ESS	Encargos de Serviços do Sistema
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
MCP	Mercado de Curto Prazo
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIS	Programa de Integração Social
PLD	Preço de Liquidação de Diferenças
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Tarifa de Energia
TFSEE	Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Divisão dos grupos de atendimento	17
Figura 2: Subdivisão do grupo A.....	18
Figura 3: Subdivisão do grupo B.....	18
Figura 4: Divisão do subgrupo B1.....	19
Figura 5: Divisão do subgrupo B2.....	19
Figura 6: Divisão do subgrupo B4.....	19
Figura 7: Composição da tarifa de energia elétrica	20
Figura 8: Composição da tarifa de energia elétrica	25
Figura 9: Exemplo de laço de realimentação.....	27
Figura 10: Laço de realimentação	29
Figura 11: Simbologias para relações de causa e efeito entre as variáveis	30
Figura 12: Diagrama de laço causal	30
Figura 13: Diagrama de estoque e fluxo.....	31
Figura 14: Expansão no mercado	36
Figura 15: Modo de referência	37
Figura 16: Diagrama de laço causal	38
Figura 17: Laço de realimentação 1	39
Figura 18: Laço de realimentação 2	40
Figura 19: Laço de realimentação 3	41
Figura 20: Diagrama de estoque e fluxo.....	41
Figura 21: DEF do setor da indústria, comércio e retorno sobre o investimento	42
Figura 22: DEF relacionando a publicidade e comodidade.....	46
Figura 23: DEF entre a em relação de escolaridade e comodidade.....	48
Figura 24: DEF da taxa de adesão e decisão do consumidor	49
Figura 25: Valores do ‘Marketing’ na análise de sensibilidade	53
Figura 26: Análise de sensibilidade - Marketing.....	53
Figura 27: Valores do ‘Incentivo’ na análise de sensibilidade.....	54
Figura 28: Análise de sensibilidade - Incentivos.....	55
Figura 29: Valores da ‘Tarifa de Transporte’ na análise de sensibilidade	56
Figura 30: Análise de sensibilidade – Tarifa de transporte	56
Figura 31: Valores do ‘Escolaridade’ na análise de sensibilidade	57
Figura 32: Análise de sensibilidade – Escolaridade	57

Figura 33: Valores do ‘Consumo médio’ na análise de sensibilidade.....	58
Figura 34: Análise de sensibilidade – Consumo médio	59
Figura 35: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Referência).....	61
Figura 36: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Otimista)	62
Figura 37: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Pessimista)	63
Figura 38: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Referência)	64
Figura 39: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Otimista).....	65
Figura 40: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Pessimista).....	66
Figura 41: Comparação entre os cenários	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Evolução da escolaridade	51
Quadro 2: Evolução da tarifa de transporte	52
Quadro 3: Análise de sensibilidade - Marketing	54
Quadro 4: Análise de sensibilidade - Incentivos	55
Quadro 5: Análise de sensibilidade – Tarifa de transporte.....	56
Quadro 6: Análise de sensibilidade - Escolaridade	58
Quadro 7: Análise de sensibilidade – Consumo médio.....	59
Quadro 8: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Referência).....	60
Quadro 9: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Otimista)	61
Quadro 10: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Pessimista)	62
Quadro 11: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Referência).....	64
Quadro 12: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Otimista)	65
Quadro 13: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Pessimista)	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 MOTIVAÇÃO

Atualmente, no Brasil, o consumidor residencial não pode escolher de quem comprar sua energia elétrica, sendo atendido pela distribuidora, à qual está submetido de acordo com a região onde está localizado. Cada consumidor paga apenas uma tarifa de energia elétrica, na qual está incluso o preço repassado pela distribuidora referente a geração, o custo da transmissão, distribuição e o consumo.

Este modelo de tarifação para consumidores residenciais tem sido aplicado. Entretanto, tendências mundiais mostram que os consumidores cativos em um período futuro migrarão para o mercado livre, como é o caso de países como Canadá, Itália, Alemanha, etc., onde cada consumidor pode escolher de onde quer comprar sua energia. Nesse novo modelo, no qual cada consumidor escolhe onde comprar sua energia, ele pode escolher se quer comprar de fontes renováveis ou não, adequar seu consumo ao modo de vida, possuindo assim uma maior liberdade. De todo modo, essa possibilidade só é possível onde os consumidores sejam livres, o que não é o caso do Brasil.

Segundo ABRACEEL (2015), a migração para o mercado livre acarreta em uma redução no custo da energia elétrica. Essa estimativa de redução do preço se deve ao funcionamento de um mercado competitivo, pois a concorrência, em qualquer setor da economia, gera um melhor serviço e preços mais baixos (KOTLER, 1996). No setor elétrico, pode-se esperar o mesmo efeito: a livre escolha da compra da energia elétrica geraria uma concorrência entre comercializadoras, e, com isso, o preço da energia elétrica tenderia a ser reduzido.

Desta forma, este trabalho visa identificar fatores que induzem a migração do consumidor residencial para o mercado livre, abordando as variáveis mais significativas para que o consumidor queira se tornar um consumidor livre de energia.

1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Tradicionalmente os consumidores residenciais brasileiros são cativos da distribuidora de energia elétrica local, sendo sua tarifa aplicada apenas devido a seu consumo de energia elétrica e regulada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Nesse tipo de sistema, os consumidores cativos não têm opção de escolher seu fornecimento de

energia, de modo que, se estiverem insatisfeitos com o valor pago pela energia elétrica, a única forma de alteração seria mudar-se de região de concessão.

Assim como o serviço de telefonia já fora estatal, quando se ter uma linha telefônica era um privilégio que poucos possuíam e que aos poucos foi se tornando um serviço privado, cada vez mais acessível, sendo atualmente o serviço de telefonia controlado por empresas privadas tendo apenas um órgão governamental para fiscalizar o serviço. O mesmo tem acontecido em vários países do mundo com a energia elétrica, como por exemplo, Alemanha, Inglaterra e Suíça.

A ANEEL, atualmente por meio da Nota Técnica N° 5/2017AREGE/SE (MME, 2017), propõe a redução da demanda instalada para que o consumidor possa migrar para o mercado livre de energia, de 500kW para 75kW (MME, 2017). Dessa forma, mais consumidores poderão migrar para o mercado livre, e com o tempo esta carga mínima será gradualmente reduzida como já tem sido feito, uma vez que, a carga mínima para a migração para o mercado livre iniciou com 3000kW e atualmente é de 500kW. Essa nota também aborda a tarifa branca, propondo a sua implementação como obrigatória, antes facultativa, a todos os consumidores residenciais. 3000kW A tarifa branca é uma tarifa horo sazonal, na qual, dependendo do horário, o consumidor pagará mais caro pela energia elétrica, o que irá forçar a uma reeducação dos consumidores quanto ao uso consciente da energia elétrica (ANEEL, 2018c).

Da mesma forma que a tarifa branca atualmente é facultativa e, posteriormente, será obrigatória a todos consumidores, a migração dos consumidores residenciais ao mercado livre também poderá se dar deste modo, pois uma migração gradual dos consumidores residenciais ao mercado livre será facilitada e com uma maior aceitação.

A migração dos consumidores residenciais ao mercado livre engloba vários outros fatores, como a adequação da rede de distribuição, transformando-a em uma rede inteligente (do inglês *smart grid*), bem como a troca dos medidores de energia elétrica de cada residência, a fim de possibilitar a coleta da informação de quanta energia fora consumida e em qual hora do dia (RIGODANZO, 2015). Além disso, seria necessário adotar políticas de aceitação, com a finalidade de informar os consumidores sobre o mercado livre de energia através de propagandas e publicidades, além de definir como seria a compra dessa energia por parte dos consumidores residenciais, pois a mesma poderia ocorrer de inúmeras formas. Tal estudo aprofundado demandaria um tempo maior do que o disponível, motivo pelo qual este

trabalho visa abordar as variáveis mais significativas à adoção deste novo sistema de tarifação de energia à classe consumidora residencial, subgrupo B1.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Geral

- Elaborar um modelo para estudo dos fatores principais e das políticas que levariam a migração dos consumidores residenciais ao mercado livre de energia.

1.3.2 Específicos

- Apresentar os principais conceitos da Dinâmica de Sistemas, visando sua aplicação na projeção do comportamento do consumidor residencial perante o mercado livre de energia
- Estudo da situação atual da classe residencial, subgrupo B1, em relação a regulamentação do mesmo no cenário atual de distribuição de energia.
- Desenvolver um modelo computacional para analisar os fatores mais relevantes que levariam os consumidores residenciais classe B1 a migrarem para o mercado livre de energia.

1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho também propõe a construção de um modelo que permita simular as variáveis mais significativas na adesão dos consumidores residenciais ao mercado livre. O modelo é construído com base na técnica de Dinâmica de Sistemas. Esta técnica permite a análise do modelo através de relações causais realimentadas para avaliar as variáveis em conjunto, analisando o impacto que cada uma tem na decisão do consumidor (SENIGE, 1990). O modelo é implementado com uso do *software* Powersim (POWERSIM, 2018).

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto de sete capítulos, incluindo este capítulo introdutório.

O Capítulo 2 apresenta uma visão geral do consumidor residencial em outros países, o consumidor residencial frente ao sistema elétrico brasileiro e o funcionamento do mercado livre de energia brasileiro, buscando contextualizar o tema sob análise.

No Capítulo 3 serão apresentadas considerações sobre Dinâmica de Sistema, no qual são apresentados os principais passos para a criação de um modelo segundo essa técnica.

O Capítulo 4 descreve o modelo proposto e suas etapas de construção.

No Capítulo 5, são analisadas políticas que podem alavancar à migração de consumidores residenciais para o mercado livre. O modelo desenvolvido é utilizado para testar as políticas e seus efeitos sobre a reação do consumidor.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho.

2 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este capítulo apresenta uma visão geral do consumidor residencial em outros países, o consumidor residencial frente ao sistema elétrico brasileiro e o funcionamento do mercado livre de energia brasileiro, buscando contextualizar o tema sob análise.

2.1 CONSUMIDOR RESIDENCIAL EM OUTROS PAISES

Em geral, em países da União Europeia, Canadá e Estados Unidos da América, os consumidores residenciais têm a opção de escolher de quem comprarão sua energia. Normalmente a venda da energia é realizada da mesma forma que é realizada a venda de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), na qual o consumidor escolhe a sua fornecedora de gás. Em alguns países, como no caso do Canadá, empresas oferecem pacotes onde o atendimento da demanda elétrica da residência é atendido pela mesma empresa que fornece o GLP (AUC, 2017).

Assim, este trabalho segue a tendência dos consumidores residenciais de migrar para o mercado livre de energia, que será contextualizada com exemplos de países onde os consumidores residenciais são livres.

O Canadá é um dos países onde os consumidores residenciais tem a opção de escolha do fornecedor de energia. O consumidor canadense pode escolher comprar energia de um revendedor, que, por sua vez, compra energia de um leilão de energia. Esses revendedores são comumente conhecidos no Canadá como provedores de energia a taxa regulada (do inglês *regulated rate option*), por terem suas taxas reguladas pela AUC (do inglês *Alberta Utilities Commission*). Alternativamente, os consumidores podem comprar energia de um revendedor competitivo, que, por sua vez, não é regulado pela AUC, e neste caso o preço é firmado por um contrato com a estrutura de preços pela energia elétrica pré-estabelecidas (AUC, 2017).

A Inglaterra também faz parte dos países onde a eletricidade é produzida, vendida e distribuída por empresas privadas. As empresas não necessariamente precisam atuar nos três ramos ao mesmo tempo, de forma que podem se especializar em apenas um segmento, enquanto outras empresas podem atuar nos três. Uma vez que o setor privado controla a geração, venda e distribuição da energia, os consumidores podem escolher de qual empresa comprarão sua energia, decidindo assim se preferem escolher pela empresa com o preço mais atrativo ou maior confiabilidade. O governo, nesse cenário, tem uma parcela mínima na negociação, sendo responsável pela regulação do mercado livre de energia através do escritório de mercado de gás e energia (do inglês, *Office of Gas and Electricity*) (EU, 2017).

A Alemanha, assim como a maioria dos países da Europa, possui um livre mercado de energia elétrica, no qual empresas privadas coordenam a geração, distribuição e venda de energia elétrica. Os consumidores residenciais têm uma gama de escolha de empresas que vendem energia elétrica, que comumente são as mesmas responsáveis pelo abastecimento de GLP nas residências. Desta forma, cabe aos consumidores escolherem a empresa que mais lhes agrada, para que possa firmar um contrato com a mesma para suprir o abastecimento de energia elétrica a sua residência (GTAI, 2017).

Com base nestas experiências internacionais, este trabalho visa estudar os principais fatores que levariam à migração dos consumidores para o mercado livre no Brasil. Os fatores são simulados com uso de um ambiente computacional de Dinâmica de Sistemas, como visto no Capítulo 3.

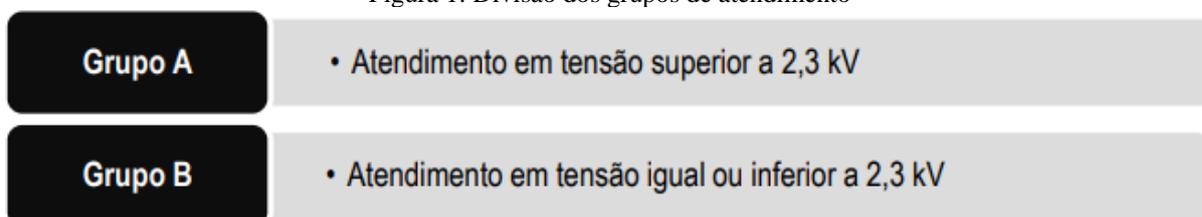
2.2 CONSUMIDOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

Esta seção aborda a situação atual dos consumidores residenciais no sistema elétrico brasileiro, descrevendo inicialmente a divisão dos grupos de atendimento nos quais o consumidor residencial se encontra e como o mesmo é tarifado.

2.2.1 Grupos, Subgrupos, classes e subclasses

No sistema elétrico brasileiro os consumidores são divididos em grupos e subgrupos, em classes e subclasses, para facilitar na formação da tarifa de energia elétrica que cabe a cada um. A primeira divisão feita é a respeito da tensão de atendimento de cada consumidor, ilustrada na Figura 1.

Figura 1: Divisão dos grupos de atendimento



Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

Dentro de cada grupo é feita uma nova divisão. A subdivisão do grupo A1 é feita a partir da tensão de fornecimento, dividindo-se cada consumidor de acordo com a tensão em que o mesmo é atendido, ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Subdivisão do grupo A

Subgrupo A1	• Atendimento em tensão igual ou superior a 230 kV
Subgrupo A2	• Atendimento em tensão de 88 kV a 138 kV
Subgrupo A3	• Atendimento em tensão de 69 kV
Subgrupo A4	• Atendimento em tensão de 2,3 kV a 44 kV
Subgrupo AS	• Atendimento em tensão inferior a 2,3 kV (sistema subterrâneo)

Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

Diferentemente da subdivisão feita no grupo A, a subdivisão do grupo B é feita de acordo com a região de atendimento. Dessa forma seu subgrupo está relacionado à classe de atendimento, ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Subdivisão do grupo B

Subgrupo B1	• Atendimento Residencial
Subgrupo B2	• Atendimento Rural
Subgrupo B3	• Atendimento Demais Classes
Subgrupo B4	• Atendimento da Iluminação Pública

Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

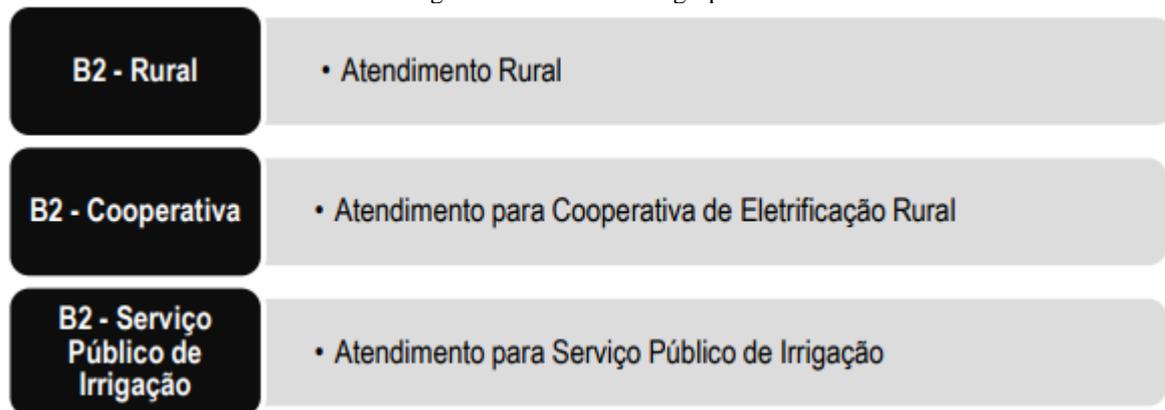
Dentro dos subgrupos do grupo B, há ainda uma diferenciação por subclasse, que visa uma diferenciação da tarifa final para cada consumidor, ilustrado nas Figuras 4 a 6.

Figura 4: Divisão do subgrupo B1



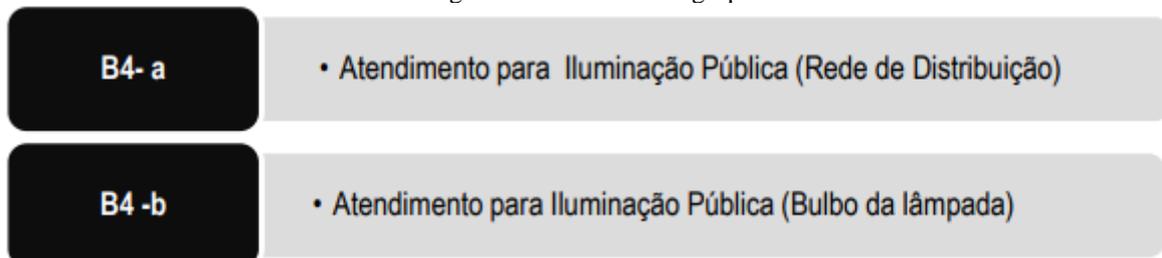
Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

Figura 5: Divisão do subgrupo B2



Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

Figura 6: Divisão do subgrupo B4



Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

2.2.2 Tarifação subgrupo B1 - residencial

A tarifa de energia elétrica para consumidores residenciais é composta pela soma do custo de geração, transmissão, distribuição e encargos setoriais, ilustrado na Figura 7. Além disso, há também a cobrança por parte do governo do PIS (Programa de Integração Social), COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social), ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços) e a contribuição para a iluminação pública (ANEEL, 2015a).

Figura 7: Composição da tarifa de energia elétrica



Fonte: adaptado de ANEEL (2010)

A energia gerada cobrada na tarifa de energia elétrica é um valor apenas repassado ao consumidor, uma vez que a compra dessa energia ocorre através de leilões de energia, nos quais as distribuidoras são responsáveis pela compra. Esses leilões têm por intuito a concorrência entre as geradoras, a fim de oferecer uma energia de menor custo (ABRACEEL, 2015).

O transporte de energia, que consiste em um monopólio natural da transmissão e distribuição é regulamentado pela ANEEL. Dessa forma, cabe à ANEEL a regulamentação para que as tarifas efetivamente se relacionem com os serviços prestados. A transmissão é o transporte da energia gerada até a distribuidora, enquanto a distribuição até os consumidores é de responsabilidade das distribuidoras (BORDIN, 2000; ANEEL, 2015a; ANEEL, 2017).

Segundo a ANEEL (2015a), os tributos e os encargos setoriais são instituídos por lei, os encargos setoriais estão:

- Conta de Desenvolvimento Energético – CDE;
- Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA;
- Compensação Financeira pela Utilização de Recursos Hídricos – CFURH;
- Encargos de Serviços do Sistema – ESS;
- Energia de Reserva – EER;
- Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica – TFSEE;
- Pesquisa e Desenvolvimento – P&D;
- Programa de Eficiência Energética – PEE;
- Contribuição ao Operador Nacional do Sistema – ONS.

Ainda segundo ANEEL (2015a), quando a tarifa de energia elétrica é aplicada ao consumidor residencial, ele paga pela geração da energia, ou Tarifa de Energia (TE), os serviços de transmissão e distribuição de energia, chamados de Tarifa de Uso do Sistema de transmissão (TUST) e Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), além dos encargos setoriais e impostos.

As bandeiras tarifárias entraram em vigor em 2015, visando auxiliar no uso consciente da energia elétrica de acordo com a situação de geração no país. As bandeiras tarifárias são compostas de três cores, verde, amarelo e vermelho, que fazem analogia a um semáforo de trânsito, cada bandeira indica se há acréscimo no valor da tarifa por cada quilowatt consumido e quanto será o acréscimo. As bandeiras apresentam as seguintes características, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2015a):

- **Bandeira verde:** condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo.
- **Bandeira amarela:** condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,020 para cada quilowatt-hora (kWh) consumido.
- **Bandeira vermelha - Patamar 1:** condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,030 para cada quilowatt-hora kWh consumido.
- **Bandeira vermelha - Patamar 2:** condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,035 para cada quilowatt-hora kWh consumido.

2.2.3 Consumidor residencial no contexto atual

No contexto atual, o consumidor residencial tem um comportamento passivo referente a aplicação da tarifa. No entanto, tendências mundiais, abordadas na Seção 2.1, mostram que o consumidor residencial tende a uma mudança de comportamento. Essa nova tendência de comportamento refletiu nesses países na migração dos mesmos para o mercado livre de energia.

Como já mencionado, a tarifa de energia elétrica pode ter seu valor alterado de acordo com as bandeiras tarifárias, que são um primeiro passo na mudança de comportamento e mentalidade de consumo de energia elétrica por parte dos consumidores residenciais.

Outra política que atualmente não está em vigor a todos os consumidores, sendo apenas facultativa, é a chamada tarifa branca, que consiste em uma tarifa horo sazonal cuja função é a alteração do custo do quilowatt-hora dependendo do horário de consumo. Essa medida também visa o uso consciente da energia elétrica, uma vez que o consumo de energia elétrica se eleva muito nos chamados horários de pico. Diante disso, essa tarifa tem o intuito de suavizar esse pico de consumo que ocorre durante as horas de máxima demanda do sistema elétrico. A implementação de novidades no setor elétrico inicia como facultativa e se torna obrigatória, como ocorreu com as bandeiras tarifárias (ANEEL, 2018c). Do mesmo modo, conforme a consulta pública 33, acerca da proposta de aprimoramento do marco legal do setor

elétrico constante na Nota Técnica N° 5/2017AREGE/SE, a tarifa branca já tem sua implementação sendo discutida e poderá entrar em vigor no ano de 2021 para todos consumidores (MME, 2017).

À medida que os consumidores começam a se conscientizar sobre o uso de energia elétrica e a compreender como o mercado de energia funciona, a migração para o mercado livre poderá ser feita de forma gradual, similar à implementação das bandeiras tarifárias e tarifa branca, essa última ainda em processo de implementação. Em uma primeira etapa, os consumidores poderão escolher se permanecem no Ambiente de Contratação Regulada (ACR), como consumidores cativos, sendo atendidos pela distribuidora ao qual estão ligados, ou então participar do Ambiente de Contratação Livre (ACL), na condição de consumidores livres.

Neste sentido, se faz necessário analisar o possível comportamento do consumidor cativo com possibilidade de migrar para o mercado livre. Contudo, primeiro se faz necessário o entendimento de como está estruturado o mercado livre brasileiro, o que será abordado no próximo subcapítulo.

2.3 MERCADO LIVRE

Este subcapítulo tem como intuito apresentar resumidamente o funcionamento do mercado livre no Brasil, descrevendo quem pode participar e como funciona a compra de energia elétrica.

2.3.1 Mercado livre de energia

No mercado livre de energia, ou ACL, o consumidor pode escolher livremente de quem comprará energia. O preço pago por esta energia e a quantidade de energia são negociadas no ato da compra, podendo escolher quanta energia se deseja comprar de acordo com a demanda de cada um e a um preço determinado no momento da compra. Dessa forma, o consumidor saberá quanta energia ele dispõe em um período e qual o preço pagará por ela ao longo do tempo determinado em contrato (ABRACEEL, 2017b).

A migração para o mercado livre tem como principal objetivo a redução da tarifa de energia, a qual gira em torno de 18% em relação ao mercado cativo e é alcançada porque a energia é diretamente negociada com fornecedores de energia. Estes podem ser usinas geradoras convencionais, que vendem a energia que produzem ou negociam com comercializadores, que, por sua vez, repassam a energia comprada ou lastro de energia, que fora negociada nos leilões de energia controlados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). As geradoras buscam obter o maior preço pelo kWh vendido, e os consumidores buscam minimizar os custos do mesmo com a maior confiabilidade possível, cabe aos comercializadores de energia encontrar o valor onde ambas as partes estejam satisfeitas, assumindo muitas vezes para si os riscos da compra ou venda de energia. Com um papel muito importante, é devido aos comercializadores que o preço da energia está sempre no equilíbrio entre geradores e consumidores, assim viabilizando a competição justa (ABRACEEL, 2015).

2.3.2 Funcionamento

Devido ao fato de cada consumidor poder negociar energia com o fornecedor que desejar, há a possibilidade de que um consumidor da região sul negocie sua energia com um revendedor da região norte. Entretanto, sua energia não será necessariamente fornecida por esta usina da região norte, pois outras usinas da sua região suprirão seu consumo local, o que se deve ao fato de que, no Brasil, existe o Sistema Interligado Nacional (SIN), no qual todas

as principais geradoras e consumidores de energia estão conectados, permitindo assim o livre fluxo de energia pelo Brasil (ABRACEEL, 2015).

O fluxo de energia entre cada região é controlado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS), que pode otimizar os fluxos de carga no sistema elétrico, bem como exercer o controle da geração de energia através do despacho ou não despacho das usinas ligadas ao SIN.

Segundo a ABRACEEL (2015; 2017b), tendo em vista que os contratos de geração e consumo de energia elétrica e os contratos de compra e venda de energia elétrica não têm ligação direta entre si, pode ocorrer que uma usina geradora produza menos ou mais energia que deveria, ou um consumidor utilize mais ou menos energia. Essas diferenças entre a energia que consta no contrato e a energia que de fato foi produzida ou consumida é controlada pela CCEE. A CCEE compara os valores contratuais com os valores realizados, assim calculando a diferença que ocorreu, a qual pode retornar da forma de crédito ou débito. Essas diferenças encontradas são, então, liquidadas no Mercado de Curto Prazo (MCP), de acordo com o Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) conforme a equação (1).

$$MCP \times PLD = \text{valor da diferença [R\$]} \quad (1)$$

O preço do PLD pode variar semanalmente entre seu valor máximo e mínimo, que são definidos anualmente pela ANEEL, enquanto o ajuste de preço semanal do PLD depende diretamente do Custo Marginal de Operação (CMO). Por exemplo, se um consumidor contratar $100 \frac{MWh}{mês}$, mas seu consumo no mês foi de $110 \frac{MWh}{mês}$, ele está com um excedente de consumo de $10 \frac{MWh}{mês}$. Portanto, esse consumidor deverá pagar esta diferença de consumo multiplicada pelo valor atual do PLD diretamente à CCEE. Para evitar de pagar esse acréscimo, o consumidor tem um prazo de 9 dias úteis para poder negociar a compra dessa energia no mercado de curto prazo, que pode ser negociado com qualquer agente vendedor. Vale ressaltar que o contrário também é válido: se um consumidor contratar menos energia que a consumida, o mesmo pode ter a diferença obtida através da liquidação de diferença multiplicada pelo valor do PLD, ou então negociar diretamente este excedente no mercado de curto prazo de acordo com o que desejar (ABRACEEL, 2015).

2.3.3 Agentes do mercado livre

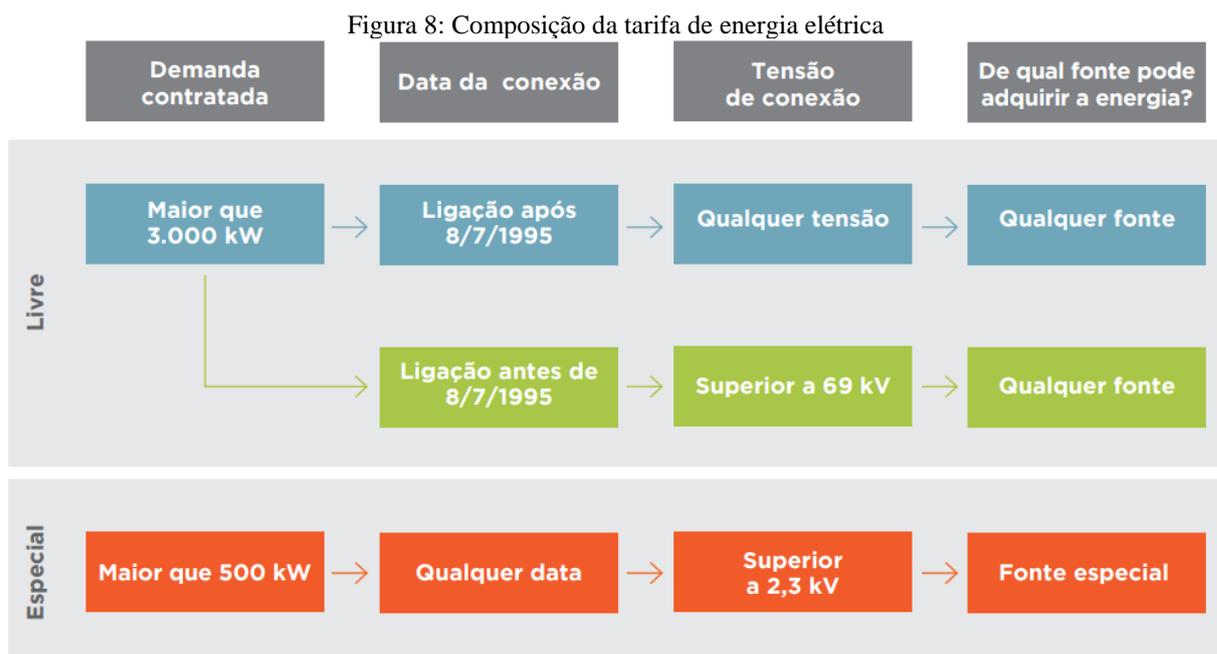
O mercado livre de energia do Brasil, atualmente, não é disponível a todos os consumidores, eis que há uma exigência de demanda mínima que deve ser atendida pelo consumidor a fim de poder migrar para esse mercado.

No mercado livre, os consumidores são divididos em dois tipos, os consumidores livres “tradicionais” e os consumidores livre “especiais”. Esta divisão é feita a partir da demanda contratada, na qual consumidores com carga mínima instalada de 500 kW até 3000 kW são classificados como consumidores especiais, e aqueles com demanda maior que 3000 kW são classificados como consumidores “livres tradicionais” (ABRACEEL, 2015).

Os consumidores livres “tradicionais” que migraram para o mercado livre de energia antes de 8/7/1995 devem ser atendidos com uma tensão no alimentador superior a 69 kV, enquanto os que migraram após 8/7/1995 tem tensão mínima igual ou superior a 2,3 kV. Ambos podem escolher livremente de onde querem comprar sua energia, embora consumidores especiais fiquem retidos a poder comprar apenas de fontes incentivadas.

Consumidores livres especiais podem ser atendidos em qualquer tensão acima de 2,3 kV, mas, diferentemente dos consumidores tradicionais, consumidores especiais somente podem comprar energia de fontes incentivadas, tais como pequenas centrais hidroelétricas, eólica, solar, biomassa, que são as chamadas fontes especiais de energia.

A Figura 8 exemplifica quais consumidores podem migrar para o mercado livre.



Fonte: ABRACEEL (2015)

Consumidores que não atendam o quesito de demanda mínima também podem migrar para o mercado livre de energia, através da comunhão de carga. Para tanto, devem estar em uma área contígua (sem separação por vias públicas) ou, então, que as unidades detenham o mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ). Com isso, basta que a soma das demandas por unidades, seja, na mesma área contígua ou unidades com o mesmo CNPJ, maior que 500 *kW*, para que esses consumidores possam migrar para o mercado livre como consumidores especiais por comunhão de carga. Por exemplo, uma empresa que possui 5 unidades, cada uma com demanda contratada de 100 *kW*, poderá migrar para o mercado livre de energia se todas as unidades possuírem o mesmo CNPJ (ABRACEEL, 2015).

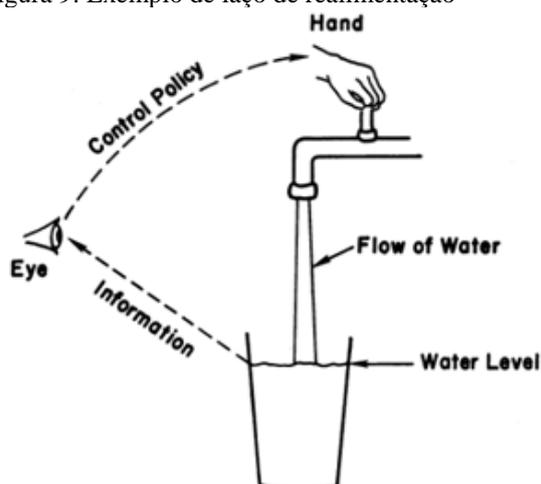
3 DINÂMICA DE SISTEMAS

A técnica da Dinâmica de Sistemas (DS) surgiu nos anos 50, criado por Jay W. Forrester. Inicialmente Forrester queria analisar processos administrativos em grandes corporações, e, para isso, utilizou de técnicas de engenharia e ciência para analisar os laços de realimentações que aconteciam em tais processos. No ano de 1961, nasce a técnica de dinâmica de sistemas com o lançamento do livro de Jay W. Forrester, intitulado “*Industrial Dynamics*”. Nos anos 70, Peter Senge, orientado de Forrester, deu continuidade a DS realizando seminários com executivo de empresas, com o intuito de introduzir o pensamento sistêmico (VILLELA, 2005).

De acordo com Senge (1990), a DS trata da compreensão dos sistemas. A ideia inicial, de que é necessário reduzir um sistema em várias partes para poder compreendê-lo, é errada, pois, segundo ele, um sistema deve ser visto como um todo e não pode ser dividido. Portanto, deve-se encontrar a alavancagem do sistema e os laços de realimentação que unem cada uma das suas partes para, então, poder avaliá-lo.

Segundo Forrester (2009; 1992), nenhum sistema é completamente linear, a sociedade está rodeada por infinitos sistemas com elevada complexidade. Um exemplo cotidiano, dado por Forrester (2009), é o simples ato de encher um copo de água, conforme a Figura 9.

Figura 9: Exemplo de laço de realimentação



Fonte: Forrester (2009)

O exemplo na Figura 9 não apresenta a complexidade da maioria dos sistemas na realidade. O exemplo de um copo sendo completado com água pode ser facilmente

compreendido, entretanto, quando se analisa um exemplo mais complexo, com inúmeras variáveis e laços de realimentação, ao olhar para o sistema não será possível antecipar o que irá acontecer. Nesse caso, somente por simulações computacionais poderá ser antecipado o comportamento desses sistemas (FORRESTER, 2009).

Na sequência do estudo, são apresentados resumidamente os passos para construção do modelo proposto.

3.1 COMPREENSÃO DO SISTEMA

Compreender um sistema é fundamental para que se possa construir um modelo seguindo os princípios da DS. A compreensão de algo, por sua vez, vêm de inúmeros fatores, como a observação, a discussão, experiências anteriores, testes empíricos, dentre outros. Para Senge (1990), esse é o primeiro passo, que posteriormente leva à construção do diagrama de laço causal (DLC), que auxilia visualmente na compreensão das interações entre cada variável do sistema, o que será abordado a seguir.

3.2 MODO DE REFERÊNCIA

Segundo Ford (1999), o primeiro passo para a DS é a compreensão do sistema. Após isso, deve-se construir um modo de referência, que é um gráfico a ser desenhado a partir da observação do problema. Nesse gráfico, são apresentadas as principais variáveis (ou a principal variável) e é possível demonstrar o comportamento que se espera delas. Geralmente esses gráficos são expressos para demonstrar o crescimento, decaimento ou o quanto algo ultrapassa o limite (*overshoot*).

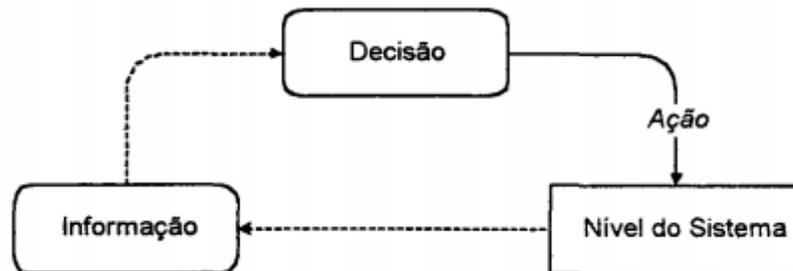
3.3 DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

A característica principal da DS é a caracterização a partir da identificação de laços causais. Tais laços realimentados são um caminho fechado que conectam os níveis do sistema, a informação do nível, a uma decisão, a tomada da decisão que por sua vez retorna ao nível (BORDIN, 2010).

O Nível (nível verdadeiro) do sistema é o gerador de informação (nível aparente), que pode não ser o nível verdadeiro, uma vez que pode apresentar um atraso e/ou ruído. Vale ressaltar que o nível verdadeiro não está ligado diretamente à tomada de decisão, eis que ele gera informação, e o processo decisório está ligado diretamente a informação gerada. A Figura 10 apresenta um esquema simplificado de um laço de realimentação, pois um sistema

realimentado contém atrasos, distorções e múltiplos laços de realimentações interligados. Cada laço possui dois elementos que o compõe: as variáveis de nível e as variáveis de taxa (BORDIN, 2000).

Figura 10: Laço de realimentação



Fonte: Bordin (2000)

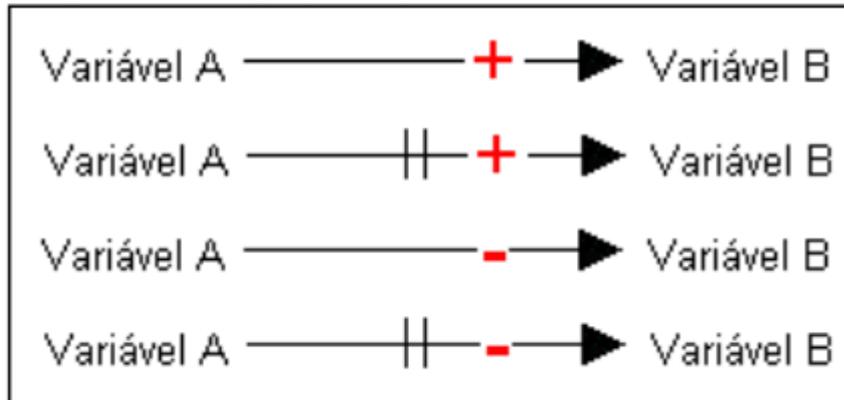
Segundo Bordin (2000), as variáveis de nível descrevem a situação do sistema em qualquer instante de tempo. As variáveis de nível não podem variar instantaneamente, uma vez que as mesmas só podem ser alteradas pelas variáveis de taxa, assim essas duas variáveis promovem a continuidade do sistema ao longo do tempo. Um exemplo simples para a compreensão destas variáveis é a quantidade de gasolina em um carro: o volume de gasolina no tanque do carro seria a variável de nível, que, por sua vez, só poderia ser alterada pelo consumo de combustível ou abastecimento de combustível do carro, que são as variáveis de taxa. Nota-se que as variáveis de taxa são as responsáveis por ditarem a velocidade com que as variáveis de nível variam, e as variáveis de taxa dependem apenas dos valores das variáveis de nível e constantes, sendo desse modo independentes de valores passados das variáveis de nível.

O DLC, por sua vez, é formado por estruturas de laços de realimentação. Os DLC de um sistema têm por finalidade uma representação das relações de causa-efeito entre os elementos, e dessa forma é possível ter uma visão geral da estrutura de causa-efeito do sistema. Desse modo, tem-se que a base para a construção de modelos usando a técnica de DS é a construção dos DLC que representem o sistema (BORDIN, 2000).

Segundo Villela (2005), os diagramas causais servem para descrever uma situação-problema de acordo com a opinião de cada um dos observadores. Dentro do contexto de cada problema, esses modelos buscam explicar as relações de causa-efeito.

Para desenhar um DLC usualmente são seguidas 4 formas de relações de causa e efeito entre as variáveis. A Figura 11 mostra as simbologias utilizadas para as possíveis relações de causa e efeito.

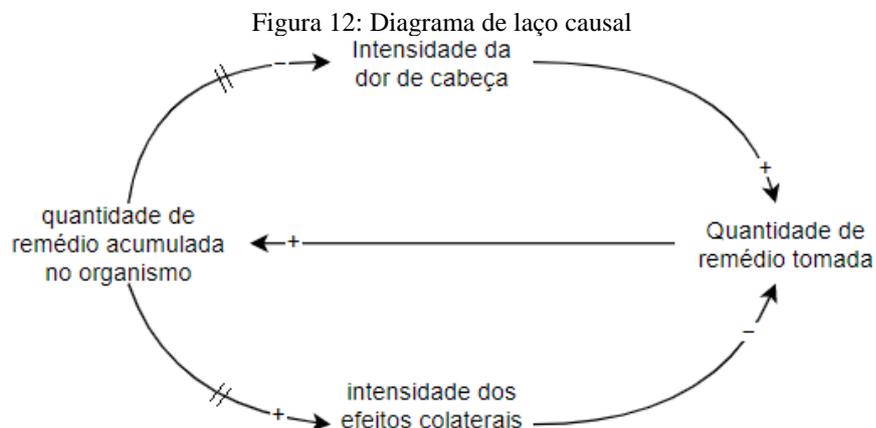
Figura 11: Simbologias para relações de causa e efeito entre as variáveis



Fonte: Villela (2005)

A simbologia empregada segue um simples raciocínio, no qual os sinais de adição e subtração indicam como uma variável afeta a outra, ou seja, se A influencia positivamente (+) a variável B, ou então, se A influencia negativamente (-) a variável B. As barras paralelas significam que há um atraso na informação, ou seja, se há barras paralelas significa que a influência de A em B não é imediata (VILLELA, 2005)

Para Villela (2005), os DLCs servem como início da discussão de uma situação problema. Uma maneira de abordagem simples, possibilitando uma maior troca de informações entre as pessoas, compartilhando ideias e enriquecendo o modelo. A Figura 12 apresenta um exemplo de DLC a respeito do uso de analgésicos e as causas-efeitos que isto acarreta.

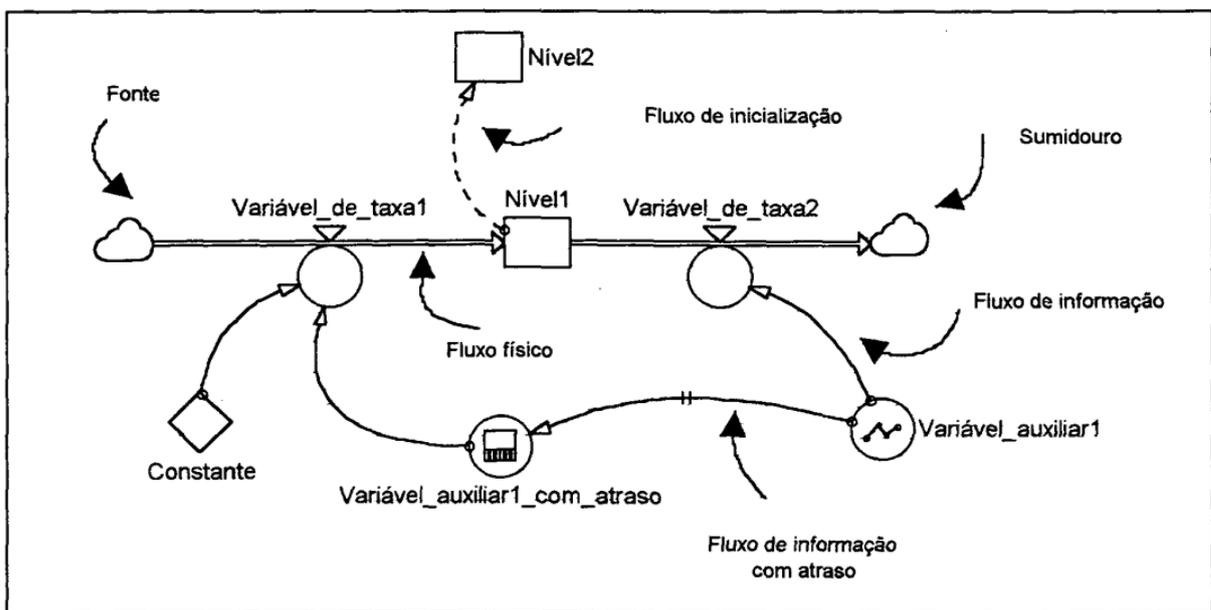


Fonte: adaptado de Villela (2005)

3.4 DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO

O modelo de estoque e fluxo representam quantitativamente os modelos causais, que são semelhantes aos modelos anteriores, entretanto diferem, pois, as relações são expressas através de formulas lógico-matemáticas (VILLELA, 2005). Segundo Bordin (2000), a simbologia para a representação de um Diagrama de Estoque e Fluxo (DEF) é padronizada. A Figura 13 apresenta as simbologias que são descritas a seguir.

Figura 13: Diagrama de estoque e fluxo



Fonte: Bordin (2000)

- Níveis (retângulos): variáveis de nível são representadas por retângulos, assim como qualquer equação que envolva integração. Variáveis de nível são conectadas uma a outra através de variáveis de taxa. Cada variável de nível possui uma equação que a representa.
- Taxas (válvula): as variáveis de taxa são responsáveis pelo controle da variação com que as variáveis de nível variam. Por esta razão, as mesmas recebem a simbologia de uma válvula, e a cada variável de taxa é sempre associada uma equação que a representa.
- Auxiliares (círculos): as variáveis auxiliares servem para o caso de uma variável de taxa ser muito complexa. Dessa forma, se subdivide a variável de taxa criando uma variável auxiliar, que por sua vez possui a simbologia de um círculo.

- Linhas de fluxo (linhas pontilhadas, cheias ou duplas): fluxo nada mais é do que uma unidade de grandeza por uma unidade de tempo, como por exemplo pedras por segundo. O fluxo pode ser dividido em dois tipos, o fluxo conservativo (físico) e o fluxo não conservativo (informação). Os fluxos físicos, que podem ser movidos de um lugar ao outro, são representados por linhas duplas. Já os fluxos de informação, que servem para auxiliar na tomada de decisão, são representados por linhas cheias.
- Retirada de informação: é um recurso que não altera o valor da variável, serve apenas para uma otimização gráfica da variável, sua representação é feita com um círculo na região externa do símbolo da variável que cede a informação.
- Parâmetros (losango): parâmetros são constantes que têm seu valor inalterado durante toda a simulação.

Fontes e sumidouros (nuvem): fontes e sumidouros não exercem uma influência sobre o sistema. A fonte é a origem do sistema e o sumidouro seria o destino. Assim, ambos representam os limites do modelo e ambos são representados como uma nuvem.

3.5 ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

Uma parte crucial da DS é o entendimento do sistema e a compreensão da causa da situação-problema, a qual vem através da observação e geração de hipóteses, e através da discussão deve-se sempre buscar o aperfeiçoamento do modelo. À medida que o modelo vai sendo construído e testado, inconsistências podem ocorrer, motivo pelo qual é sempre importante retornar ao início e analisar possíveis alavancagens que não foram observadas anteriormente (FORRESTER, 1992).

3.6 SIMULAÇÃO DO MODELO

Segundo Forrester (1992), a simulação do modelo pode ser realizada logo após a definição dos parâmetros e descrição do modelo. Na DS, critérios lógicos de um modelo computacional também devem ser atendidos, como todas variáveis serem definidas, nenhuma variável ser repetida, sem equações simultâneas e a utilização de unidades consistentes de medidas. Segundo ele, ainda, os *softwares* de DS já realizam tais verificações.

Devido à complexidade deste método de análise, seguidamente os resultados da simulação não serão realistas, o que força a retomar a descrição do problema e o refinamento das equações. A simulação, por sua vez, tem o intuito de mostrar como as dificuldades são

apresentadas num sistema real, mostrando como chegar ao presente, para que então mostre o caminho para o aprimoramento (FORRESTER, 1992).

É válido ressaltar que, segundo Forrester (1992), não há como garantir a validade de uma teoria que tenta reproduzir o comportamento do mundo real, podendo-se alcançar apenas um grau de confiança que é proporcional ao tempo empregado para a criação do modelo.

3.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade tem como principal função a identificação dos parâmetros mais significativos em um sistema. Modificando os parâmetros para mais e para menos, é possível ver o resultado que este parâmetro causou na variável final de interesse.

Segundo Baumgarten (2014), há alguns passos que devem ser seguidos para a correta realização da análise de sensibilidade, que são:

- Selecionar os parâmetros ou grupos de parâmetros que se considera que mais afetam o comportamento do modelo;
- Modificar cada parâmetro com uma certa porcentagem, a fim de verificar o resultado encontrado na variável de interesse;
- Identificar os parâmetros que mais afetam o modelo;
- Através de teoria, avaliar se as mudanças encontradas são justificáveis.

3.8 TESTE DE POLÍTICAS

Esta etapa serve para entender qual política é mais significativa, tem uma maior consequência no resultado. Há inúmeras formas de identificação, seja por testes exaustivos através das mudanças dos parâmetros ou por experiência do analista, dentre outras. Em sistemas mais complexos, haverá muitos critérios concorrentes, e isso pode acarretar que o desempenho mais favorável possa depender de várias mudanças simultâneas no modelo (FORRESTER, 1992).

4 MODELO PROPOSTO

Este capítulo tem o intuito de descrever o modelo proposto, apresentando o passo a passo utilizado na construção do mesmo.

4.1 CONHECENDO O SISTEMA

Como dito no Capítulo 3, a dinâmica de sistema se baseia na observação de um fenômeno para, então, transcrever o mesmo em um modelo computacional. Nesta etapa, busca-se descrever as principais variáveis que influenciam a tomada de decisão do consumidor para a entrada no mercado livre.

- **Incentivos:** podem ser a forma inicial que o governo terá para atrair as pessoas para o mercado livre de energia.
- **Custo inicial da migração:** é o custo associado a troca do atual sistema de medição por um equipamento de medição inteligente.
- **Fatura de energia elétrica:** a fatura de energia elétrica é afetada por inúmeros fatores, como já abordado anteriormente, e é um critério importante na tomada de decisão do consumidor.
- **Preço de compra da energia elétrica:** é o preço praticado diretamente com as geradoras de energia, que são repassados aos consumidores pelas empresas comercializadoras.
- **Tarifa transporte:** de acordo com a regulamentação, poderá tornar a migração para o mercado livre mais atrativa, devido ao uso de fontes incentivadas por seus adeptos.
- **Empresas comercializadoras de energia:** são as empresas que ofertam a energia elétrica para os consumidores do mercado livre. À medida que os consumidores residenciais migrarem para o mercado livre, mais empresas surgirão.
- **Empresas de medidores inteligentes:** empresas que são habilitadas e capacitadas para a construção de medidores inteligentes, capazes, além de medir o consumo, serem integrados a uma rede inteligente (do inglês *smart grid*).
- **Regulamentação:** a regulamentação tem um papel fundamental, dependendo de medidas governamentais assumidas, o que pode tornar a migração para o mercado livre atrativa ou não.

- **Retorno sobre o investimento:** trata-se da apuração do lucro contábil dividido pelo investimento (KASSAI, 2000).
- **Publicidade:** a publicidade, em um primeiro momento, tem um papel fundamental para que as pessoas adquiram conhecimento sobre essa nova forma de gerir sua fatura de energia elétrica.
- **Marketing:** representa o porcentual do mercado potencial que se deseja atingir.
- **Comodidade:** é a inércia que o consumidor em geral tem para aderir a um novo produto ou serviço.
- **Escolaridade:** fator importante que contribui com o nível de conhecimento e interesse em temas atuais e a busca por novas tecnologias, além de que um maior grau de escolaridade tende a contribuir com a consciência ecológica.
- **Cultura:** faz alusão à resistência em geral dos brasileiros a aderirem a novas tecnologias.
- **Decisão do consumidor pelo ACL:** representa o quão favorável a migração pode ser de acordo com a visão do consumidor.

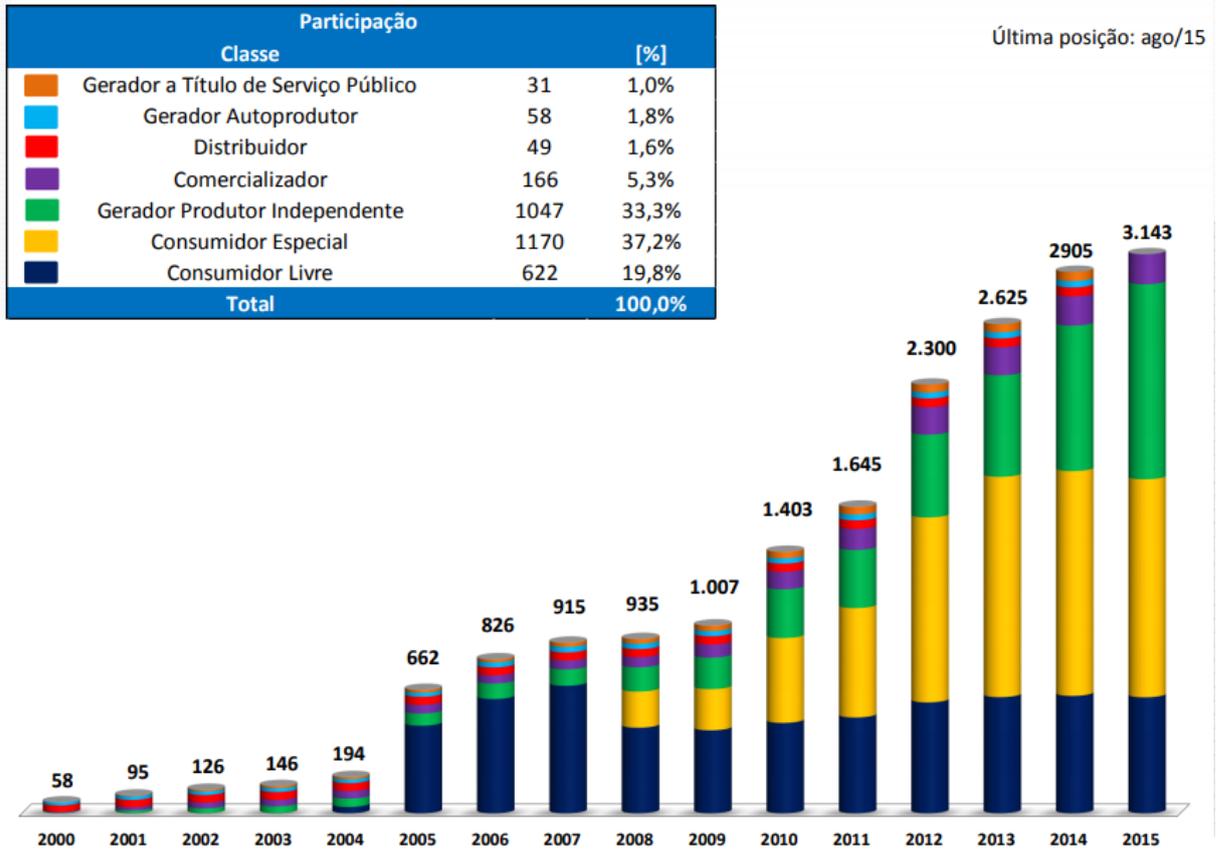
4.2 MODO DE REFERÊNCIA

Para a construção do modo de referência, é necessário identificar a variável de maior importância no sistema. Neste trabalho, a variável mais importante é o número de consumidores que migram para o mercado livre, sendo que tal migração é motivada por fatores como comodidade, regulamentação, fatura da energia elétrica, dentre outros descritos anteriormente. É esperado que haja, em um primeiro momento, uma certa resistência do consumidor à migração para o ACL. Essa resistência pode ser observada nos anos 2000 até 2003, quando uma forte regulamentação, falta de informações e desconfiança fizeram com que apenas três consumidores industriais migrassem para este novo modelo de mercado. Ao longo do tempo e com as novas facilidades na regulamentação, houve no decorrer dos anos seguintes até 2007, um aumento no número de consumidores livres (ALTIERI, 2015).

No ano de 2007, houve alteração da legislação e foi então instituído os consumidores especiais, que não necessitam de uma demanda instalada de energia tão elevada, porém ficam restritos, a comprar energia de fontes incentivadas, que tem parte da tarifa subsidiada. Com a criação dos consumidores especiais e as facilidades que surgiram para a migração, houve um

crescimento tanto nos consumidores especiais quanto nos consumidores livres. A Figura 14 apresenta a evolução no número de consumidores ao longo dos tempos (ALTIERI, 2015).

Figura 14: Expansão no mercado



Fonte: adaptado de Altieri (2015)

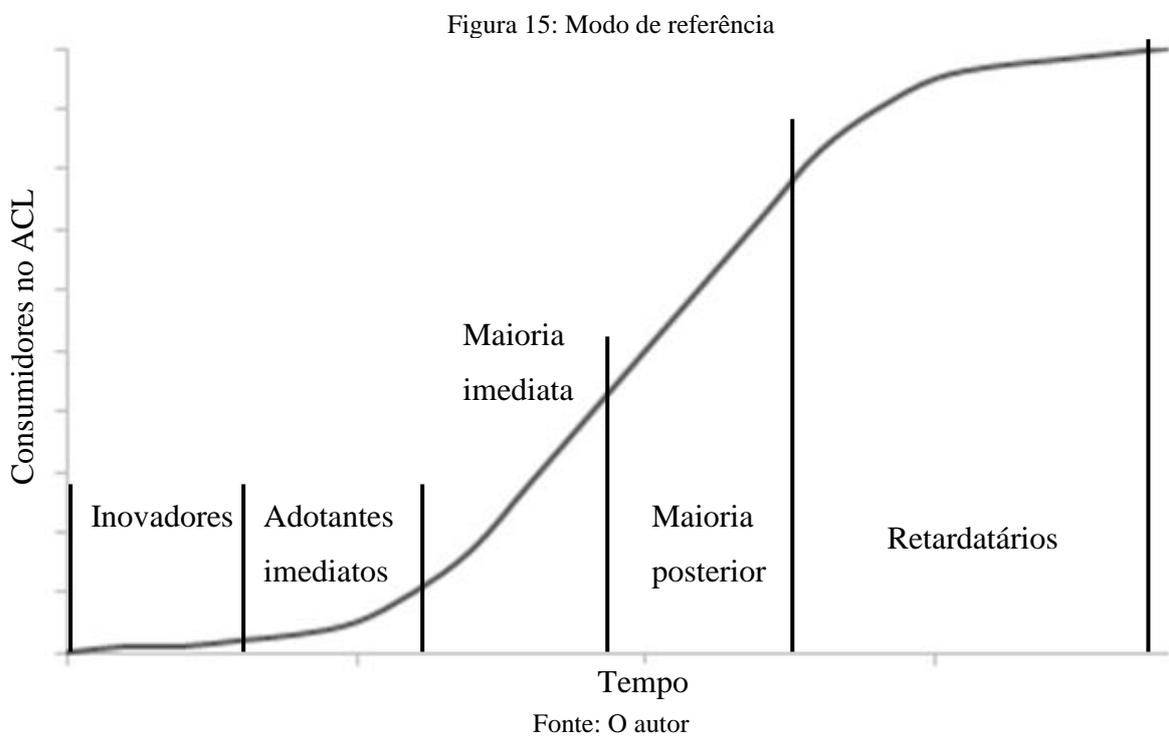
No Brasil, há o que se chama de tarifa social, voltada a pessoas de baixa renda inscritas no Cadastro Único, conforme requisitos estabelecidos pela Lei nº 12.212/10 (BRASIL, 2010). Diante disso, partiremos do princípio que, durante o horizonte de estudo, essa parcela de consumidores não poderá migrar ao mercado livre.

Por se tratar de uma situação que ainda não existe no Brasil, buscou-se de métodos matemáticos para se explicar como poderá ocorrer a adoção dos consumidores residenciais ao mercado livre de energia. Segundo Rogers (2003), há diferentes parcelas de consumidores, cada consumidor ao qual terá diferentes percepções de negócios, deste modo, Rogers (2003) em sua tese defende que o processo de decisão de inovação se baseia em cinco etapas:

1. Conhecimento;
2. Persuasão;
3. Decisão;

4. Implementação;
5. Confirmação.

De acordo com Roger (2003), as pessoas também podem ser divididas em categorias, conforme seu processo de adoção de inovações. As 5 categorias propostas por Rogers (2003) são os inovadores (2,5%), adotantes imediatos (13,5%), maioria imediata (34%), maioria posterior (34%) e os retardatários (16%), desta forma uma curva de algo inovador seguiria uma curva logística (curva S). Partindo deste princípio, foi construído o modo de referência para o sistema em análise e apresentado na Figura 15.

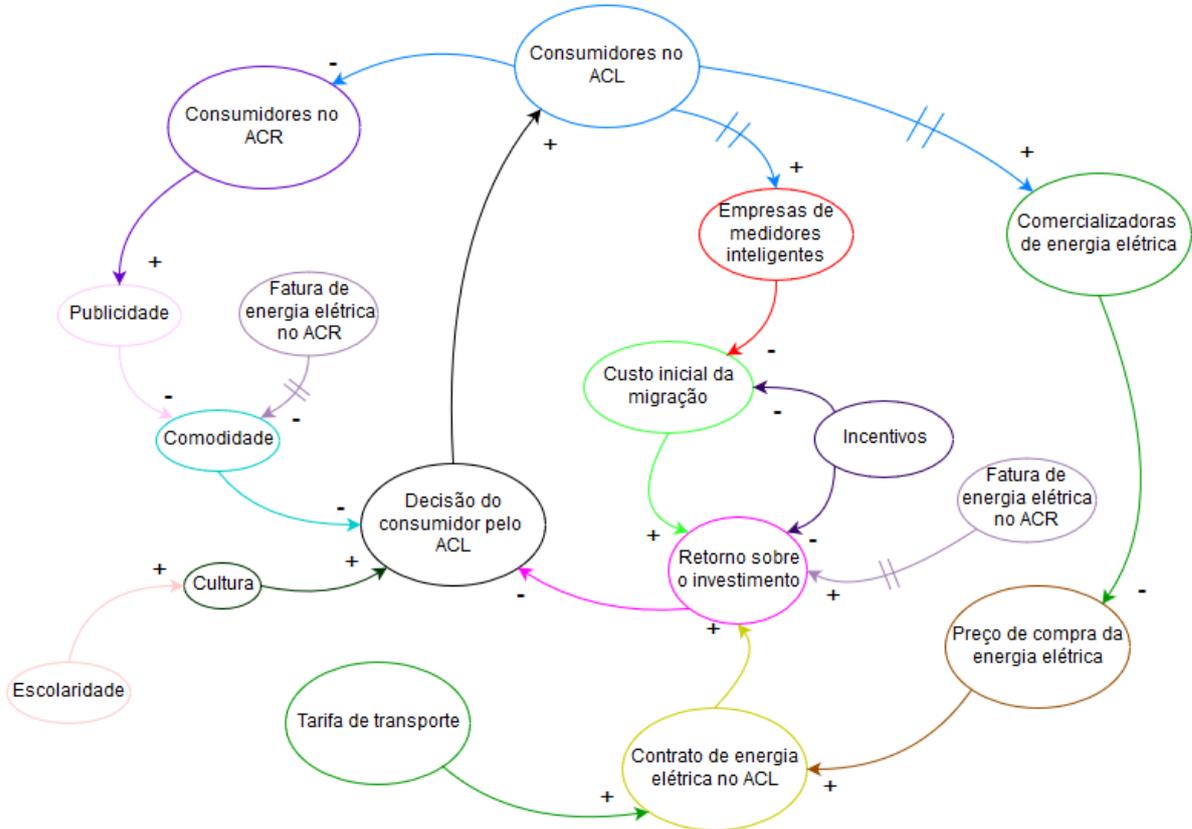


4.3 DIAGRAMA DE LAÇO CAUSAL

Como abordado na no Capítulo 3, o DLC trata de apresentar a relação causa e efeito entre variáveis umas nas outras. O DLC tem como objetivo principal auxiliar na construção do modelo, permitindo que seja visualizada a interação de cada variável com as demais de acordo com a simbologia apresentada na no Capítulo 3.

Na Figura 16 é apresentado o DLC do problema sob análise. Nele pode-se observar as principais relações entre as variáveis e como cada uma interage com as demais, apresentando de forma simplificada as interações entre cada uma das variáveis.

Figura 16: Diagrama de laço causal



Fonte: O autor

A partir da Figura 16, pode-se observar laços de realimentação, os quais podem ser positivos ou negativos, assim como na teoria de controle de sistemas. Se um sistema possui uma característica onde as realimentações positivas dominam, o mesmo tende à instabilidade, já se o sistema possui uma característica de possuir uma dominância por realimentações negativas, o sistema tenderá a estabilidade.

Para facilitar a análise do DLC, a Figura 17 apresenta o Laço 1 isolado do resto do diagrama. Nele é apresentado que o aumento da “Decisão do consumidor pelo ACL” levará a

um maior “Número de consumidores no ACL”, logo, com o passar do tempo, ou seja, com um certo atraso, o mercado irá se adaptar surgindo um maior número de “Comercializadoras de energia elétrica”. Conseqüentemente, pela lei da oferta e demanda, espera-se uma redução no “Preço de compra da energia elétrica”, levando assim pela redução no “Retorno sobre o investimento”, tornando a migração atrativa, o que fará com que os consumidores optem pelo mercado livre de energia. Ao analisar os sinais deste laço pode-se concluir que o mesmo se trata de um laço de realimentação positiva, pois o número de sinais negativos é par.

Figura 17: Laço de realimentação 1

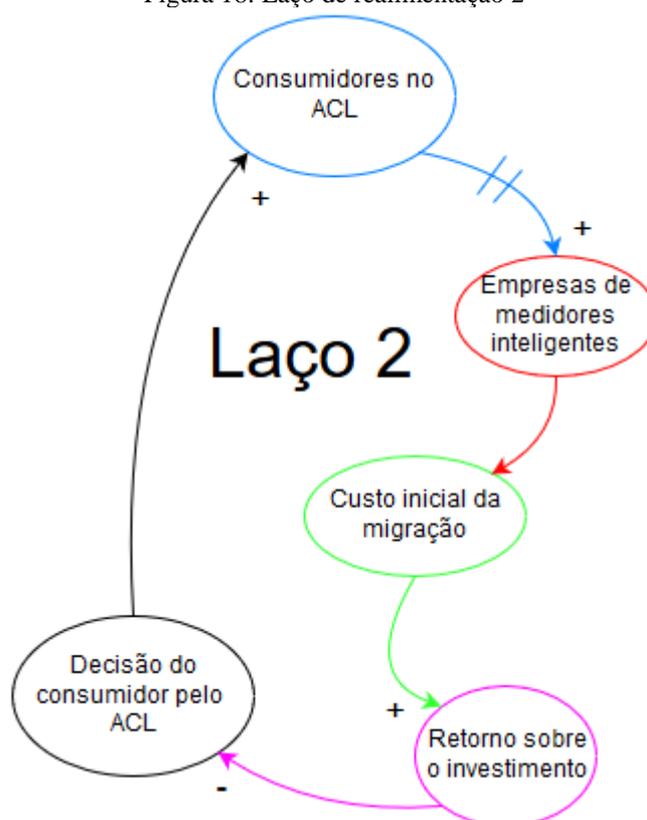


Fonte: O autor

O Laço 2, apresentado na Figura 18, mostra que o aumento do “Número de consumidores no ACL” torna mais atrativo para que “Empresas de medidores inteligentes” se especializem na construção e montagem dos mesmos, o que acarretará no aumento da oferta de empresas que se especializam na confecção de medidores inteligentes para atender estes

consumidores. Analogamente ao Laço 1, o aumento da oferta ocasiona uma livre concorrência entre as “Empresas de medidores inteligentes” e tendências de mercado apontam então para a redução dos “Custos iniciais da migração”, devido à redução dos custos dos medidores e possivelmente instalação. O “Custo inicial de migração”, por sua vez, é um fator que influencia negativamente na decisão do consumidor a respeito de migrar para o mercado livre. O Laço 2 é um laço de realimentação positiva. A Figura 18 apresenta o Laço 2.

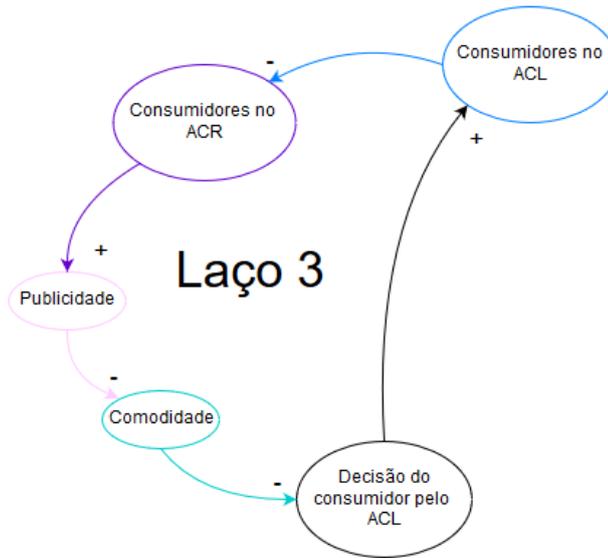
Figura 18: Laço de realimentação 2



Fonte: O autor

A Figura 19 apresenta o Laço 3 de realimentação. Este laço trata da relação entre o “Número de consumidores no ACL” e o “Número de consumidores no ACR”. Com o aumento do “Número de consumidores no ACL”, haverá uma redução do “Número de consumidores no ACR”, por sua vez, afeta diretamente as políticas tomadas sobre propagandas e “Publicidade” para atrair os consumidores para o mercado livre, o que gera uma redução da “Comodidade” nos consumidores. Essa “Comodidade” representa a inércia que os brasileiros têm a aderirem a novas tecnologias ou ideias. O Laço 3, é um laço de realimentação negativa, sendo este laço responsável por conferir estabilidade ao sistema.

Figura 19: Laço de realimentação 3

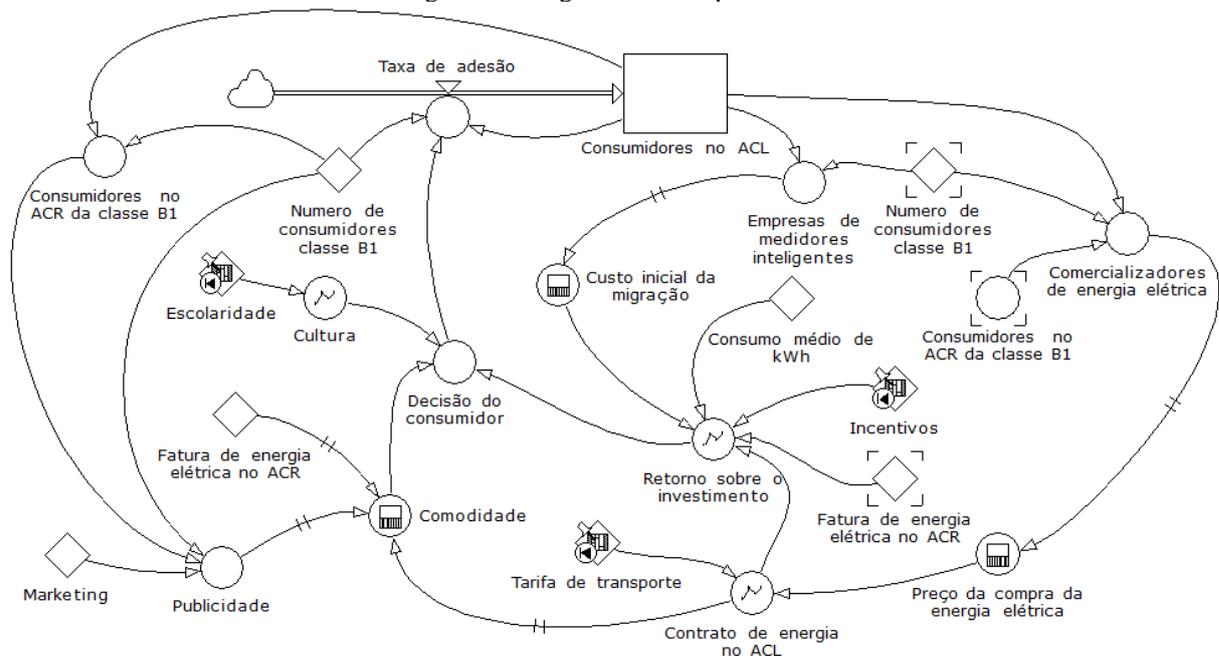


Fonte: O autor

4.4 DIAGRAMA DE ESTOQUE E FLUXO

O modelo computacional, representado no DEF e implementado no *software* Powersim Studio 10 (POWERSIM, 2018), devido a disponibilidade do mesmo para fins acadêmicos, a simplicidade para a sua utilização e familiaridade. A Figura 20 apresenta a estrutura global do modelo implementado.

Figura 20: Diagrama de estoque e fluxo



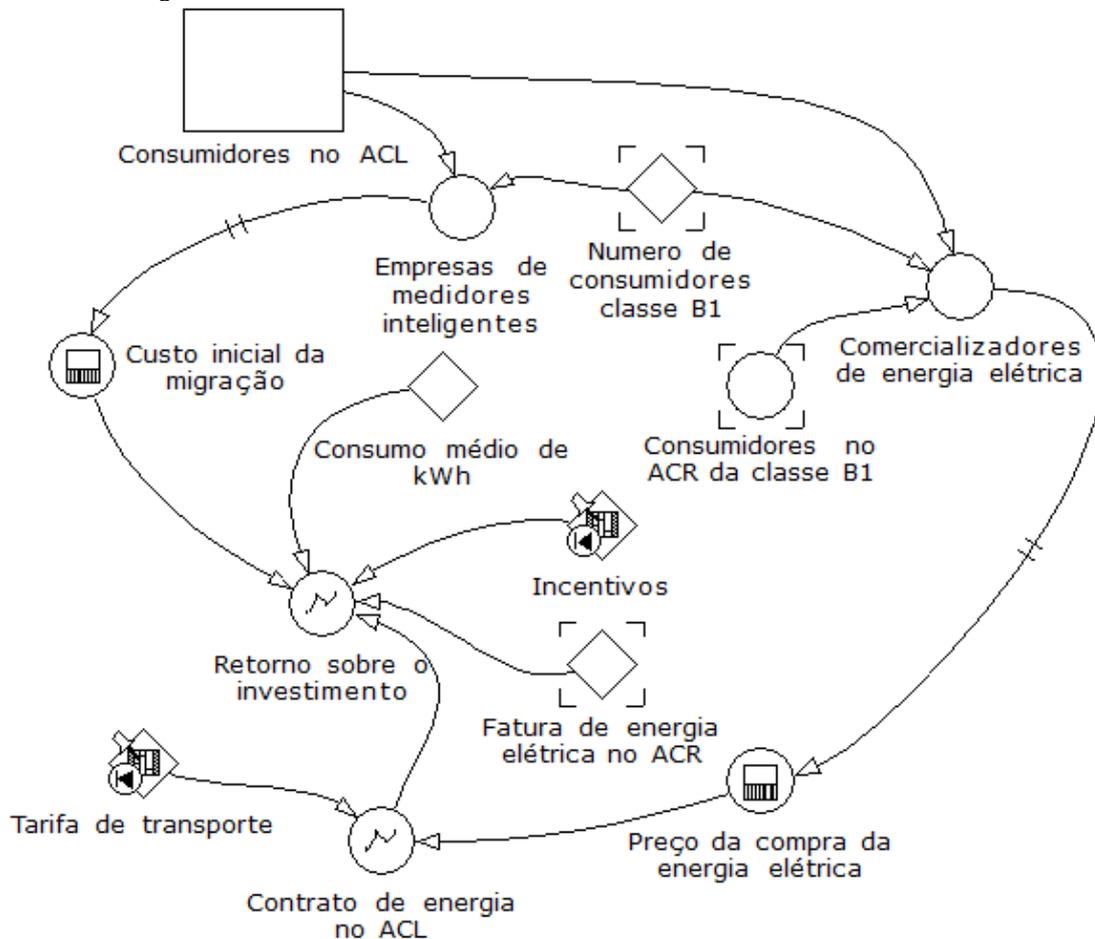
Fonte: O autor

Nas próximas seções, são apresentadas as variáveis e suas interações, bem como a formulação matemática.

4.4.1 Comercio e produção de medidores, custo inicial da migração, incentivos e retorno sobre o investimento

A relação entre estas variáveis foi detalhada na Seção 4.3, e a Figura 21 apresenta o submodelo computacional relacionado às variáveis relacionadas ao setor industrial, comercial, à fatura de energia elétrica no ACR, tarifa de transporte, contrato de energia no ACL, custo inicial da migração e incentivos.

Figura 21: DEF do setor da indústria, comercio e retorno sobre o investimento



Fonte: O autor

O parâmetro “Incentivos” terá seus valores alterados a cada ano, tendo um peso maior no início e ao longo da simulação será reduzido. Essa redução nos incentivos é esperada à medida que mais consumidores já participam do mercado livre. Os valores desta constante são apresentados na Seção 4.5.

A variável “Empresas de medidores inteligentes” (EMI) tem por finalidade representar o crescimento desta parte do setor industrial, de acordo com o índice de crescimento do setor industrial no país, juntamente com a redução monetária, devido a condições de simulação do *software* utilizado, se fez necessário a ponderação de acordo com o *step* de simulação, ponderado pelo número de “Consumidores no ACL” (ConsACL) e o número de consumidores totais (Const), dado condições atuais do setor industrial é considerado neste um *delay* de 12 meses, que refere-se ao tempo entre, a percepção dos empresários de uma oportunidade de negócio, e seu tempo de implementação. A equação (2) apresenta sua relação e unidade.

$$EMI = 600 * \frac{ConsACL}{Const} [R\$] \quad (2)$$

Onde:

EMI são as empresas de medidores inteligentes.

ConsACL é o número de consumidores no ACL.

Const é o número total de consumidores.

A variável “Custo inicial da migração” (*CIM*), depende de incentivos que o governo poderá ou não oferecer, dependendo também do custo inicial da migração, que está ligado diretamente ao custo inicial dos medidores inteligentes, que segundo Rigodanzo (2015) será de aproximadamente R\$ 800,00 para os consumidores residenciais. A equação do *CIM* é mostrada em (3).

$$CIM = 800 - EMI [R\$] \quad (3)$$

Onde:

CIM é o custo inicial da migração.

EMI são as empresas de medidores inteligentes.

A variável “Comercializadores de energia” (CE), assim como o *CIM*, depende diretamente do “Número de consumidores no ACL” (*ConsACL*). No ano de 2017, o mercado de comercializadores de energia cresceu 19,5%, totalizando 223 comercializadoras de energia e entre os anos de 2012 e 2017 o mercado de comercializadoras cresceu aproximadamente 50% (ABRACEEL, 2018). Observa-se, portanto, que este setor tem apresentado um crescimento constante de aproximadamente 16% ao ano, tendo-se um número de “Consumidores totais” (Const) fixo fazendo uma ponderação de acordo com a inserção de novos “Consumidores no ACL” (*ConsACL*) dividido pelo “Número de consumidores no ACR”

(*ConsACR*), ou seja, à medida que mais e mais consumidores migrem para o ACL este mercado tende a reduzir seu crescimento anual até atingir seu limite de crescimento. Analogamente às “Empresas de medidores inteligentes”, esta recebe um *delay* de oito meses, referente ao tempo da percepção de negócio e implementação do mesmo. A formulação da variável *CE* é apresentada na equação (4).

$$CE = 16\% * \left(\frac{ConsB1 - ConsACL}{ConsACR} \right) [\%] \quad (4)$$

Onde:

CE refere-se aos comercializadores de energia.

ConsACL é o número de consumidores no ACL.

ConsACR é o número de consumidores no ACR.

ConsB1 é o número total de consumidores do subgrupo B1.

O “Preço da compra da energia elétrica” (PCEE) é definido no ato do contrato, entretanto, partindo da premissa que essa variável é dependente do número de ofertantes de energia (“Comercializadores de energia” (CE)), tem-se que seu valor poderá reduzir ou aumentar conforme a demanda. Sabendo que, em média, o preço do *kWh* no mercado livre é 20% mais barato que no mercado regulado, e tendo como preço do *kWh* em bandeira verde no ACR de R\$ 0,525 segundo o ranking das tarifas da Aneel (2018b), pode-se concluir que o preço médio praticado pelo *kWh* no mercado livre é de aproximadamente R\$ 0,42 (ANEEL, 2018a). Entretanto, o reajuste anual do preço da energia elétrica no Brasil é de 16%¹. A formulação para o PCEE é apresentada na equação (5), tendo como constante multiplicando de 0,368, deste modo na primeira iteração o valor da variável PCEE será de 0,42 [R\$/*kWh*].

$$PCEE = 0,368 * (1 - CE + 16\%)[R\$/kWh] \quad (5)$$

Onde:

PCEE é o preço de compra da energia elétrica.

CE refere-se aos comercializadores de energia.

Para a formulação do “Contrato de energia no ACL” (CEnoACL) são considerados inúmeros fatores no momento da contratação. Neste trabalho, para fins de simplificação, considera-se somente as “Tarifas de transporte” (TT) e o “preço de compra da energia elétrica” (PCEE). A constante “Tarifa de transporte” (TT) refere-se às tarifas de uso do

¹ O valor de 16% foi calculado pelo autor, a partir do relatório de consumo e receita, emitido pela ANEEL.

sistema de transmissão (TUST) e a tarifa do uso do sistema de distribuição (TUSD). Para consumidores no ACL que optem por comprar energia de fontes incentivadas, o valor da tarifa de transporte pode ser reduzido de 10%, 50%, 80% até 100%. Atualmente, consumidores que demandem menos que 500 kW são obrigados a comprar de fontes incentivadas, o que será o caso dos consumidores do subgrupo B1 quando puderem realizar a migração. Os valores desta constante são apresentados na Seção 4.5. Assim, tem-se que a formulação do “Contrato de energia no ACL” (CE_{noACL}) é dada pela equação (6).

$$CE_{noACL} = PCEE + TT \text{ [R\$/kWh]} \quad (6)$$

Onde:

CE_{noACL} refere-se ao Contrato de energia no ACL.

$PCEE$ é o preço de compra da energia elétrica.

TT refere-se às tarifas de transporte, TUSD e TUST.

Para a formulação do “Retorno Sobre Investimento” (ROI), segue o modelo apresentado por Kassai (2000), onde a expressão utilizada trata da simples apuração dos dados contábeis, ou seja, a divisão dos lucros pelo investimento. Nesse caso, tem-se que o lucro é o valor do preço por quilo watt no mercado regulado, ou “Fatura de energia elétrica no ACR” (Fat_{ACR}), menos o valor praticado no mercado livre, ou “Contrato de energia no ACL” (CE_{noACL}), tudo isso multiplicado pelo “consumo médio dos brasileiros” (kW_{Med}) dividido pela subtração do “custo inicial da migração” (CIM) pelos “Incentivos” (IC). A equação (7) apresenta a formulação para a variável ROI.

$$ROI = \frac{(Fat_{ACR} - CE_{noACL}) * kW_{Med}}{CIM - IC} [\%] \quad (7)$$

Onde:

ROI é o retorno sobre o investimento.

Fat_{ACR} é o preço do kWh aplicado no ACR.

CE_{noACL} é o preço pelo kWh praticado no ACL.

kW_{Med} é o consumo médio dos brasileiros na classe residencial.

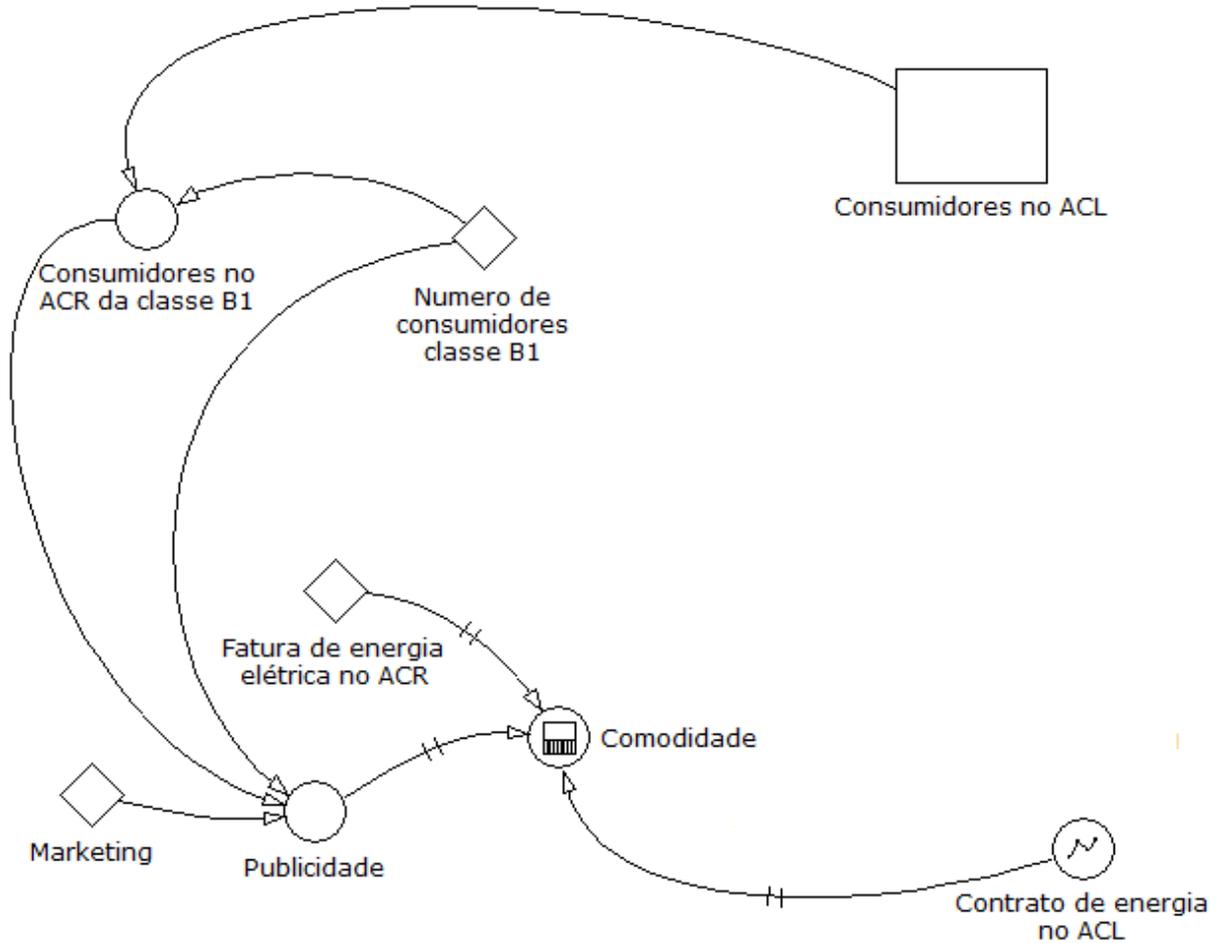
CIM é o custo inicial da migração.

IC são incentivos.

4.4.2 Consumidores no ACR, publicidade e comodidade

A relação entre estas variáveis foi detalhada na Seção 4.3, desta forma a Figura 22 apresenta apenas o submodelo computacional relacionando estas variáveis.

Figura 22: DEF relacionando a publicidade e comodidade



Fonte: O autor

O número de “Consumidores no ACR da classe B1” ($ConsACR$) é diretamente medido pelo total de “Número de consumidores da classe B1” ($ConsB1$), menos o “Número de consumidores no ACL” ($ConsACL$), conforme a equação (8).

$$ConsACR = ConsB1 - ConsACL [cons] \quad (8)$$

Onde:

$ConsACL$ é o número de consumidores no ACL.

$ConsACR$ é o número de consumidores no ACR.

$ConsB1$ é o número total de consumidores do subgrupo B1.

A “Publicidade” (PB) muitas vezes pode tornar uma ideia nova mais aceitável ou não. No contexto da energia elétrica não é diferente, tendo como mercado o número total de consumidores de energia elétrica do subgrupo B1, do qual o mercado potencial seriam apenas os consumidores que não participam da tarifa social, uma vez que, pela baixa renda e outros fatores, os mesmos não seriam capazes de migrar para o mercado livre.

Segundo Kotler (1996), a demanda total de mercado não é um número fixo, mas sim uma função, chamada de função demanda de mercado, que neste refere-se a “Publicidade”. Ainda, para o autor (KOTLER, 1996), sabe-se que, em se tratando de mercado, ocorrem vendas sem que haja quaisquer gastos para estimular a demanda. No início, elevados gastos com *marketing* podem gerar uma taxa de demanda crescente, entretanto, mantendo esses níveis de gastos, com o decorrer do tempo, essa taxa tenderia a se tornar uma taxa decrescente. Isso se deve ao fato de que existe um limite superior para a demanda de mercado, conhecido como potencial de mercado.

A publicidade feita não tem impacto imediato, deste modo é aplicado um *delay* de dois anos sobre esta variável, seguindo o exemplo do início do mercado livre no Brasil, entre a publicação da lei de criação do mercado e sua operação efetiva. Desse modo, a equação (9) apresenta a função demanda de mercado, onde a primeira parcela desta função é o ‘Marketing’ (*Marketing*) que é definido na Seção 4.5, e ponderados pelo “Número de consumidores da classe B1” (ConsB1) e “Consumidores no ACR da classe B1” (ConsACR).

$$PB = Marketing * \frac{ConsB1 + ConsACR}{2 * ConsB1} [\%] \quad (9)$$

Onde:

PB refere-se à publicidade.

Marketing é referente a parcela do mercado potência que se deseja atingir.

ConsACR é o número de consumidores no ACR.

ConsB1 é o número total de consumidores do subgrupo B1.

A “Comodidade” (CM), é afetada por inúmeros fatores, como confiabilidade da rede, índice de satisfação com o atendimento da concessionária, dentre outros, porém fatores como este não afetarão a comodidade neste cenário, uma vez que a distribuidora de energia será a mesma. Assim, a comodidade será majoritariamente influenciada pela “Publicidade” (PB) e pela diferença do valor pago no ACR pelo ACL, ou seja, “Fatura de energia no ACR”

(FatACR) dividido pelo “Contrato de energia no ACL” (*CEnoACL*) . A equação (10) apresenta a formulação para a variável comodidade, tendo os valores dentro da equação ponderados de acordo com o peso que cada parcela apresenta, tais pesos foram definidos com base nas simulações realizadas.

$$CM = 0,7 * PB + 0,3 * \frac{FatACR}{CEnoACL} [\%] \quad (10)$$

Onde:

CM é a comodidade.

PB refere-se à publicidade.

FatACR é o preço do kWh aplicado no ACR.

CEnoACL refere-se ao Contrato de energia no ACL.

4.4.3 Escolaridade e cultura

A relação entre estas variáveis foi detalhada na Seção 4.3, desta forma a Figura 23 apresenta apenas o submodelo computacional relacionando estas variáveis.

Figura 23: DEF entre a em relação de escolaridade e comodidade



Fonte: O autor

O fator “Escolaridade” (ESC) e o índice de educação são descritos na Seção 4.5.

A variável “Cultura” (CT), está relacionada a consciência ecológica de cada um, e, desse modo, ela é diretamente relacionada com o índice de escolaridade e educação de cada consumidor, uma vez que a energia do mercado livre por ser proveniente, da totalidade, de fontes renováveis para consumidores com um baixo consumo de energia. A equação (11) apresenta a formulação da variável CT.

$$CT = \frac{Indice\ de\ Educa\c{c}\tilde{a}\tilde{o}\ * ESC}{100} [\%] \quad (11)$$

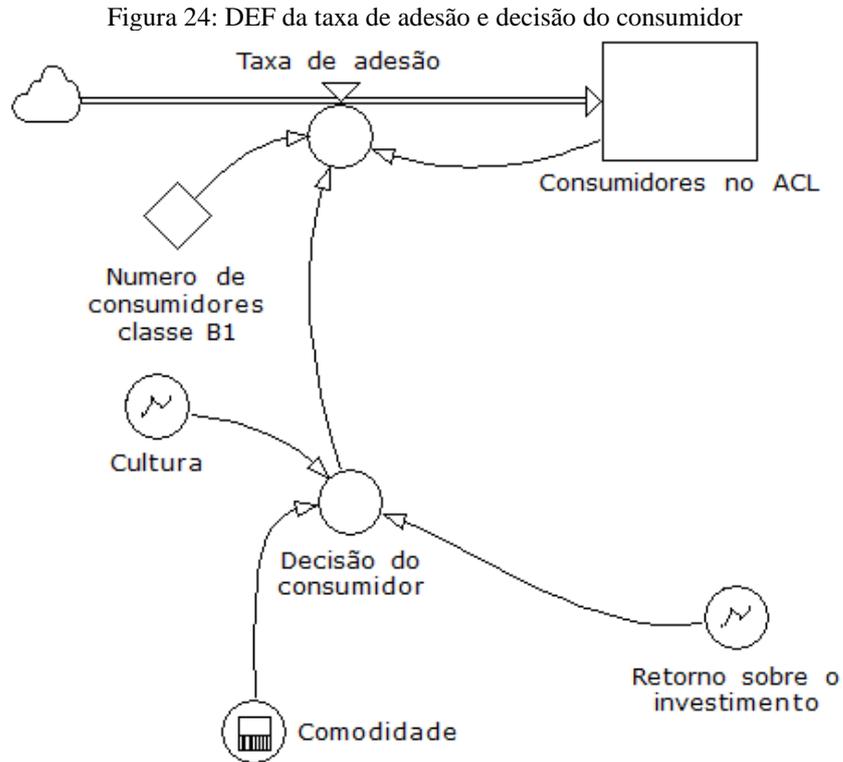
Onde:

CT é a variável cultura.

ESC é a escolaridade.

4.4.4 Decisão do consumidor e taxa de adesão

A relação da variável “Decisão do consumidor” (DC) com as demais foi melhor detalhada na Seção 4.3, desta forma a Figura 24 apresenta apenas o submodelo computacional relacionando estas variáveis.



Fonte: O autor

A variável “decisão do consumidor” (DC) é responsável por ponderar a influência de cada uma das demais variáveis na taxa de adesão dividido pelo número de meses no ano. Diante disso, a equação (12) apresenta a expressão para o cálculo da DC.

$$DC = \frac{(0,1 * CT + 0,7 * ROI - 0,2 * CM)}{12} [\%] \quad (12)$$

Onde:

DC é a decisão do consumidor.

CT é a variável cultura.

ROI é o retorno sobre o investimento.

CM é a comodidade.

A “taxa de adesão” (TA) é uma variável de taxa, responsável por processar os valores recebidos. A equação (13) apresenta a formulação da TA.

$$TA = (ConsB1 - ConsACL) * DC [Consumidores] \quad (13)$$

Onde:

TA é a taxa de adesão dos consumidores.

DC é a decisão do consumidor

ConsACL é o número de consumidores no ACL.

ConsB1 é o número total de consumidores do subgrupo B1.

Neste cenário, é considerado que não há consumidores do subgrupo B1 no mercado livre de energia, deste modo a variável “Consumidores no ACL” (ConsACL) apresenta valor inicial nulo e é representada pela equação (14).

$$ConsACL = \int TA * dt [consumidores] \quad (14)$$

Onde:

ConsACL é o número de consumidores no ACL.

TA é a taxa de adesão dos consumidores.

4.5 ESTIMAÇÃO DOS PARÂMETROS

Esta seção aborda a estimação dos parâmetros do modelo proposto, ou seja, apresenta os valores estimados de acordo com fontes, sempre que possível, ou hipótese, a partir da observação do evento a ser compreendido.

A seguir são apresentados os valores de cada variável, juntamente com o método utilizado para sua estimação.

- **Número de consumidores classe B1:** este parâmetro da entrada no modelo computacional do número total de consumidores residenciais do subgrupo B1 no Brasil. Nele, foram desconsiderados os consumidores inscritos na tarifa social. O número estimado de consumidores residenciais do subgrupo B1,

sem contar com a tarifa social, é de 61.730.806 consumidores² (ANEEL, 2018a).

- **Consumo médio dos brasileiros:** este parâmetro pode ser obtido na tabela fornecida pela ANEEL com o relatório completo, assim como fora obtido o número de consumidores da classe B1. Nessa tabela, o consumo médio de energia dos brasileiros é de 369 kWh (ANEEL, 2018a).
- **Fatura de energia elétrica no ACR:** é o custo praticado da tarifa média por residência do consumidor brasileiro incluindo os impostos e tarifas de transporte. Segundo o próprio relatório da Aneel (2018b), a tarifa média do consumidor brasileiro do subgrupo B1 em 2018 foi de R\$ 0,525. Essa constante apresenta um *delay* em sua formulação, isto se deve ao hábito do consumidor no acompanhamento de sua fatura de energia elétrica. Neste trabalho, por hipótese, é aplicado um *delay* de 4 meses.
- **Escolaridade e índice de educação:** a constante índice de educação apresenta seu valor como sendo de 54%, que representa o percentual de pessoas acima de 25 anos que possuem o ensino médio completo segundo os dados do IBGE (2018a). Já a escolaridade representa o aumento percentual anual do índice de educação no Brasil, segundo o IBGE (2018b) entre os anos de 2007 até 2014, este índice passou de 33,6% para 42,5%, representando um aumento anual de aproximadamente 1,125% ao ano. Diante disso, o Quadro 1 apresenta os valores da variável durante o horizonte de estudo.

Quadro 1: Evolução da escolaridade

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Valor	1,00	1,11	2,23	3,34	4,45	5,56	6,68	7,79	8,90	10,01
Ano	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Valor	11,13	12,24	13,35	14,45	15,56	16,66	17,77	18,88	19,99	21,10

Fonte: O autor

- **Tarifa de transporte:** a tarifa de transporte atualmente representa 17% da fatura de energia elétrica (ANEEL, 2015a), e é formada a partir da TUST e TUSD. Desse modo, este parâmetro terá seu valor alterado ao longo do horizonte de estudo, tendo como valor inicial 0%, devido a subsídios já

² Este número foi retirado do próprio site da Aneel, que divulga um relatório completo contendo o consumo por classe e região, bem como o total de unidades consumidoras, tarifa média paga, dentre outros.

empregados pelo consumo de energia renováveis de energia para consumidores no ACL, e, ao passar dos anos, seu valor será reduzido até 50% do valor da tarifa de transporte. Logo, utilizando o valor médio da tarifa dos consumidores residenciais classe B1, multiplicados por 17%, representando a parcela referente a tarifa de transporte, pode-se estimar o valor médio pago referente a TUSD e TUSD dos consumidores do subgrupo B1. Por fim, o Quadro 2 apresenta o valor da tarifa de transporte ao longo do horizonte de estudo.

Quadro 2: Evolução da tarifa de transporte

Ano	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Valor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ano	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
Valor	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089

Fonte: O autor

- **Incentivos:** este parâmetro indica o estímulo governamental dado aos consumidores que migrarem para o mercado livre, relacionado ao custo inicial da migração. Seu valor inicial será considerado como 40%, entretanto seu valor pode ser modificado de acordo com a equação (15) e alterado durante a simulação.

$$IC = \{IC \in Q \mid 0\% \leq IC \leq 100\%\} \quad (15)$$

Onde:

IC são incentivos.

- **Marketing:** este parâmetro representa a política adotada referente a campanhas governamentais a respeito da divulgação do mercado livre de energia, pode variar de 0% até 100%, de acordo com a equação (16), representando assim, o *marketing* adotado para atingir um percentual do mercado potencial. Por padrão, se adotou 40% de *marketing*.

$$Marketing = \{PB \in Q \mid 0\% \leq PB \leq 100\%\} \quad (16)$$

Onde:

Marketing é referente a parcela do mercado potencial que se deseja atingir.

4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

A análise de sensibilidade tem por objetivo verificar o impacto dos parâmetros perante suas variações, analisando assim a estabilidade do sistema juntamente com as suas variáveis mais impactantes.

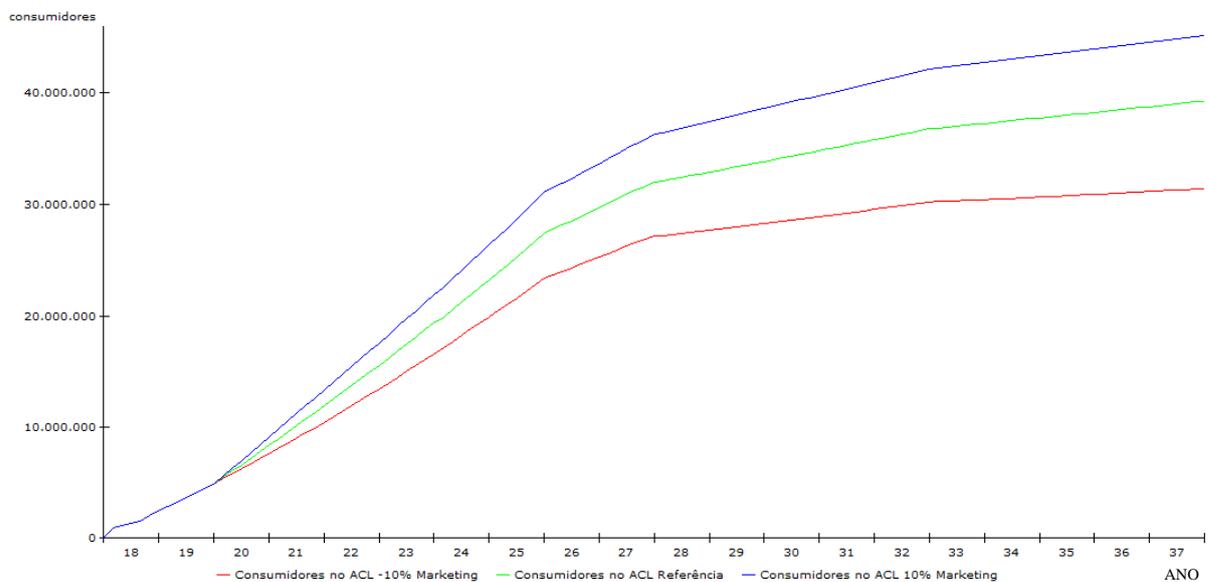
O primeiro parâmetro avaliado foi o 'Marketing', através do *software* Powersim Studio 10, para a análise de sensibilidade este parâmetro foi variado em +10% (Azul) e -10% (Vermelho) de seu valor base (Verde) conforme apresentado na Figura 25 e 26.

Figura 25: Valores do 'Marketing' na análise de sensibilidade



Fonte: O autor

Figura 26: Análise de sensibilidade - Marketing



Fonte: O autor

Para uma melhor interpretação dos valores, o Quadro 3 apresenta o número de consumidores ao final do ano de 2037.

Quadro 3: Análise de sensibilidade – Marketing

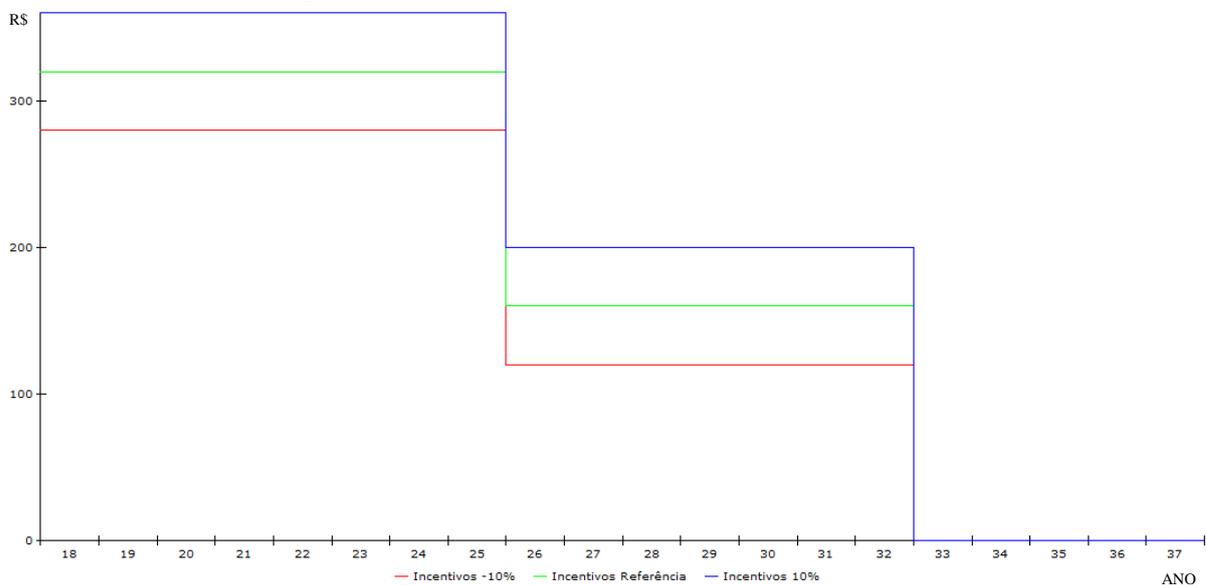
<i>Marketing</i>	Número de consumidores no ACL
50%	45.091.922
40%	39.218.805
30%	31.407.369

Fonte: O autor

Analisando a Figura 26 e o Quadro 3, pode-se observar que, com o aumento do *Marketing*, ocorre o aumento do número de consumidores que migram para o mercado livre, o que é plausível, visto que o aumento no *Marketing* implicará em um maior número de consumidores informados a respeito do mercado livre.

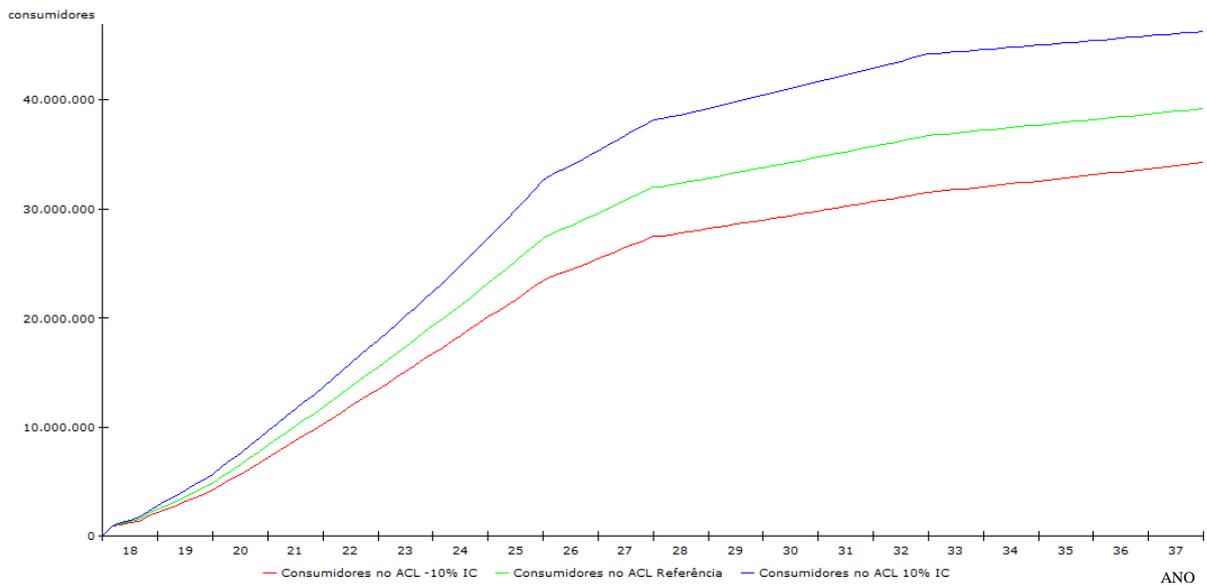
O próximo parâmetro analisado são os ‘Incentivos’, para a análise de sensibilidade este parâmetro foi variado em +5% (Azul) e -5% (Vermelho) de seu valor base (Verde) conforme apresentado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27: Valores do ‘Incentivo’ na análise de sensibilidade



Fonte: O autor

Figura 28: Análise de sensibilidade - Incentivos



Fonte: O autor

Para uma melhor interpretação dos valores, o Quadro 4 apresenta o número de consumidores ao final do ano de 2037.

Quadro 4: Análise de sensibilidade - Incentivos

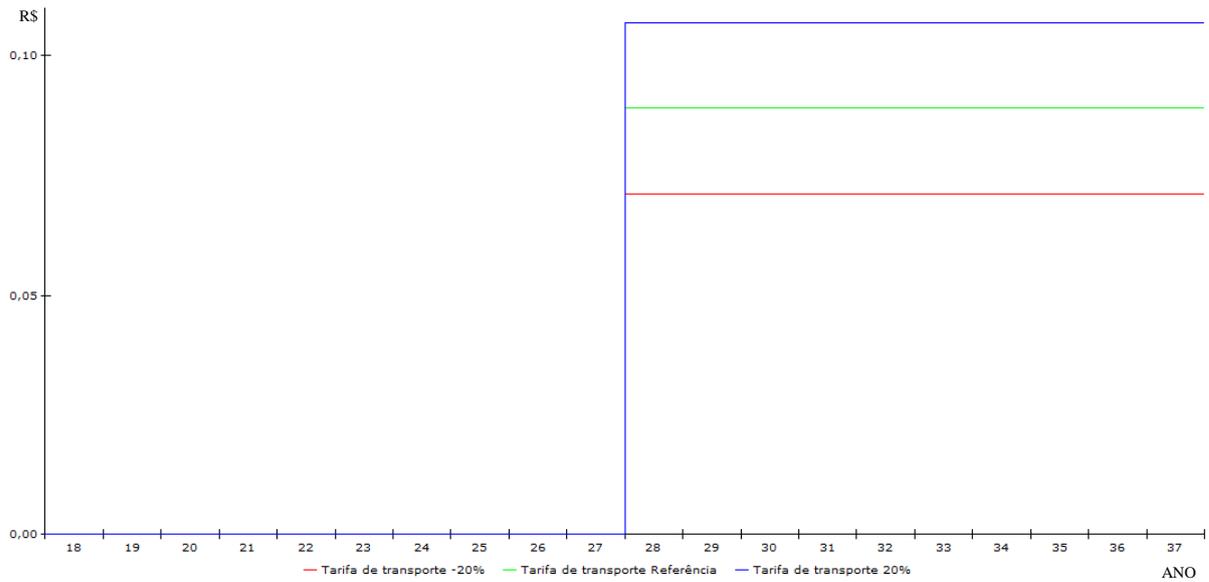
Incentivos	Número de consumidores no ACL
45%	46.275.471
40%	39.218.805
35%	34.276.264

Fonte: O autor

Analisando a Figura 28 e o Quadro 4, pode-se observar que, com o aumento do parâmetro 'Incentivos' ocorre o aumento do número de consumidores que migram para o mercado livre, o que é plausível, visto que o aumento do 'Incentivos' atrairia um maior número de consumidores ao mercado livre.

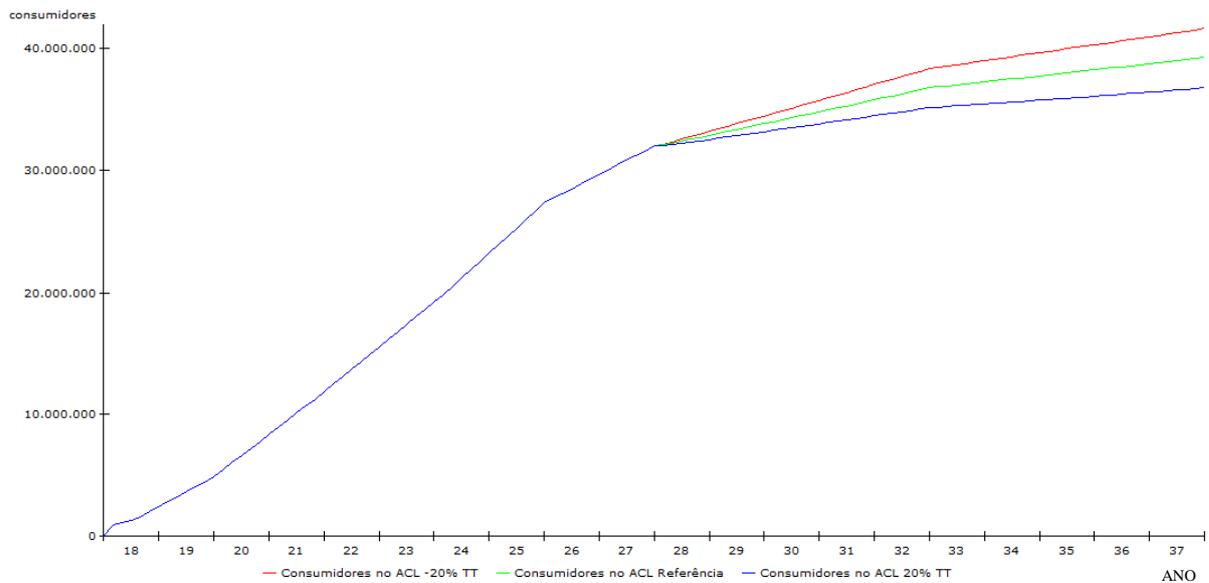
O próximo parâmetro analisado é a 'Tarifa de transporte', para a análise de sensibilidade este parâmetro foi variado em +20% (Azul) e -20% (Vermelho) de seu valor base (Verde) conforme apresentado nas Figuras 29 e 30.

Figura 29: Valores da ‘Tarifa de Transporte’ na análise de sensibilidade



Fonte: O autor

Figura 30: Análise de sensibilidade – Tarifa de transporte



Fonte: O autor

Para uma melhor interpretação dos valores, o Quadro 5 apresenta o número de consumidores ao final do ano de 2037.

Quadro 5: Análise de sensibilidade – Tarifa de transporte

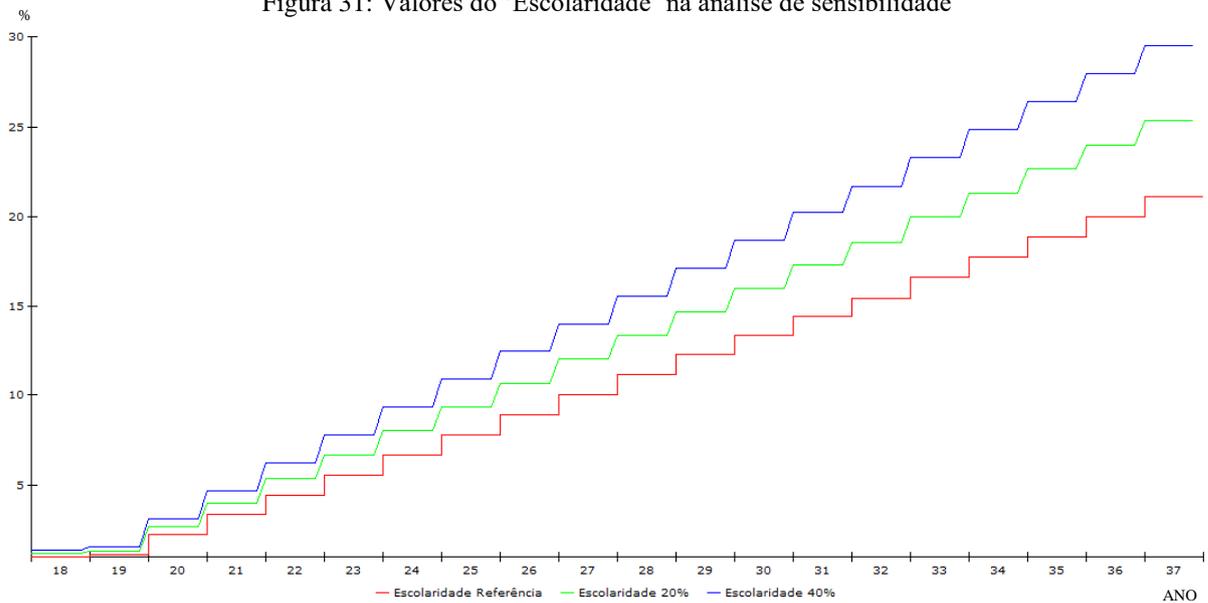
Tarifa de transporte	Número de consumidores no ACL
-20%	43.336.300
Valor base	39.218.805
+20%	37.248.376

Fonte: O autor

Analisando a figura 30 e o Quadro 5 pode-se observar que, com o aumento do desconto dado no parâmetro ‘Tarifa de transporte’, ocorre o aumento do número de consumidores que migram para o mercado livre, o que é plausível, visto que o aumento do desconto na tarifa de transporte tornaria mais atrativa a migração para o mercado livre.

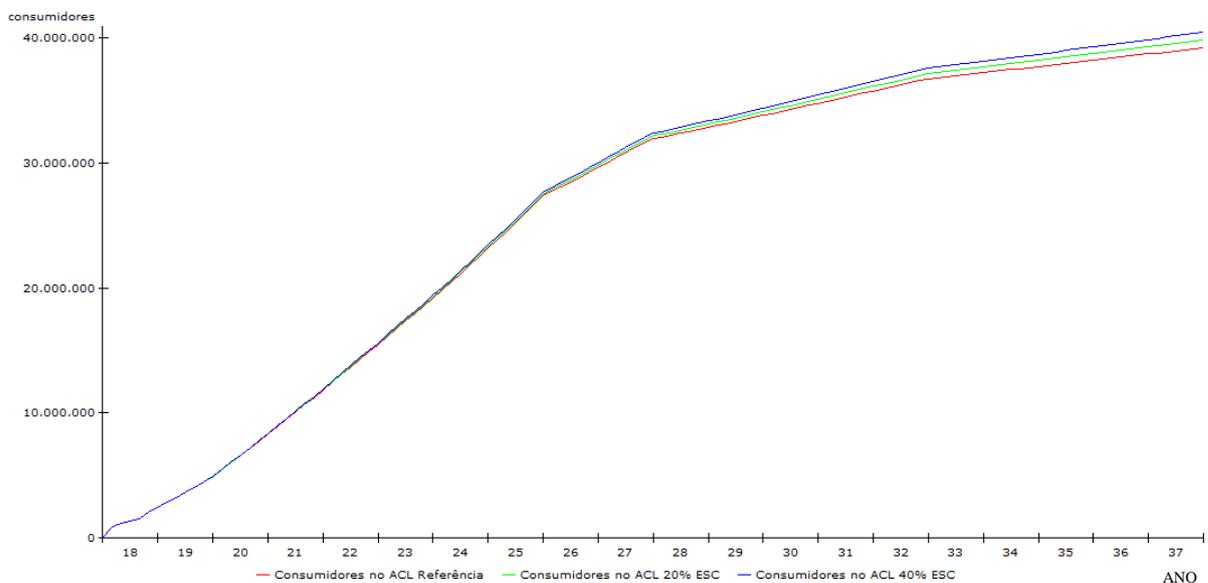
O próximo parâmetro analisado é a “Escolaridade”. Para a análise de sensibilidade, este parâmetro foi variado em +20% (Verde) e +40% (Azul) de seu valor base (Vermelho) conforme apresentado nas figuras 31 e 32.

Figura 31: Valores do ‘Escolaridade’ na análise de sensibilidade



Fonte: O autor

Figura 32: Análise de sensibilidade – Escolaridade



Fonte: O autor

Para uma melhor interpretação dos valores, o Quadro 6 apresenta os valores do número de consumidores ao final do ano de 2037.

Quadro 6: Análise de sensibilidade - Escolaridade

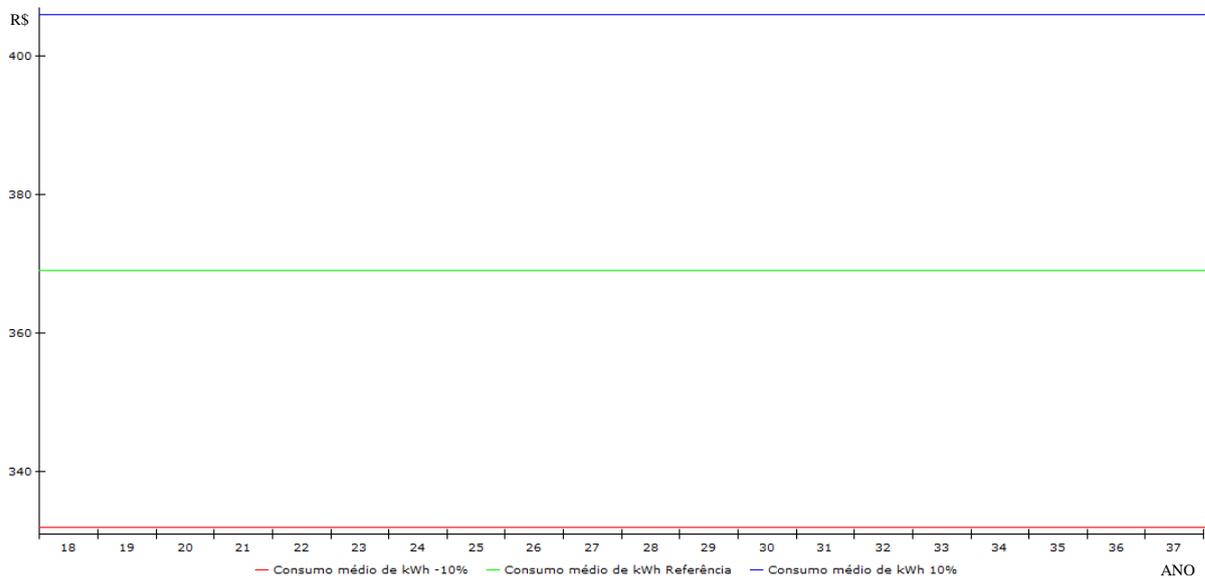
Escolaridade	Número de consumidores no ACL
40%	40.446.602
20%	39.840.570
Valor base	39.218.805

Fonte: O autor

Analisando a figura 32 e o Quadro 6, pode-se notar que, com o aumento da escolaridade, há um pequeno aumento no número de consumidores que migram para o ACL, que é confirmado pela consciência ecológica do brasileiro.

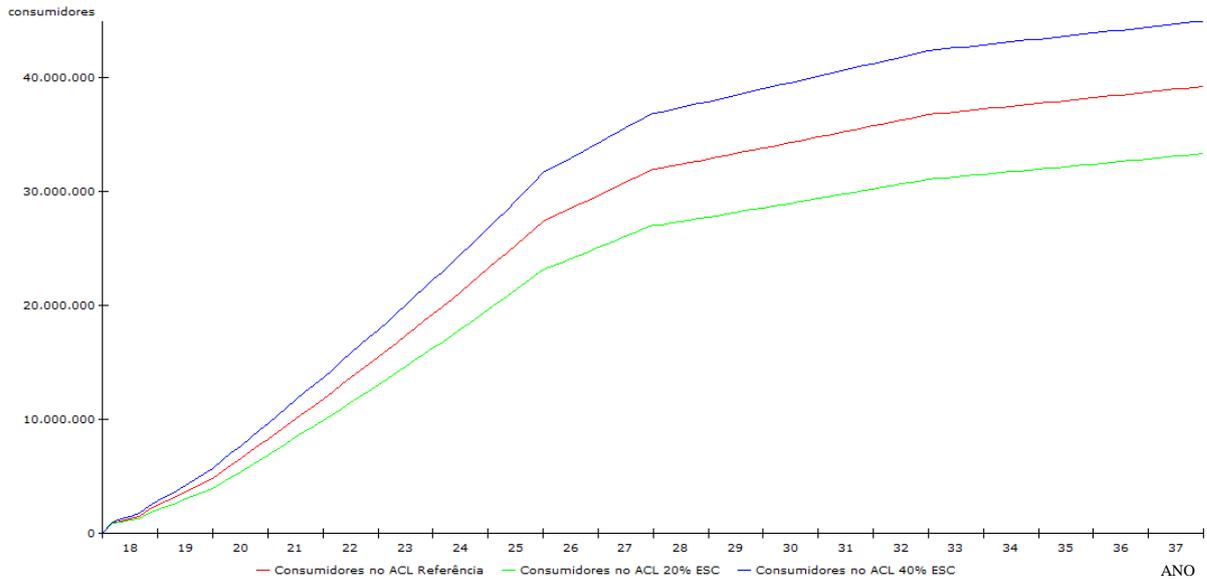
O próximo parâmetro analisado é o “Consumo médio”. Para a análise de sensibilidade, este parâmetro foi variado em +10% (Azul) e -10% (Vermelho) de seu valor base (Verde), conforme apresentado nas figuras 33 e 34.

Figura 33: Valores do ‘Consumo médio’ na análise de sensibilidade



Fonte: O autor

Figura 34: Análise de sensibilidade – Consumo médio



Fonte: O autor

Para uma melhor interpretação dos valores, o Quadro 7 apresenta os valores do número de consumidores ao final do ano de 2037.

Quadro 7: Análise de sensibilidade – Consumo médio

Consumo médio	Número de consumidores no ACL
10%	44.930.226
R\$369,00	39.218.805
-10%	33.325.904

Fonte: O autor

Analisando a figura 34 e o Quadro 7, pode-se perceber que, com o aumento do consumo médio, há um acréscimo do número de consumidores que migram para o mercado livre, o que pode ser confirmado pelo fato que um maior consumo médio representa uma faixa de consumidores com maior poder aquisitivo, e com um maior consumo médio, a economia anual migrando para o mercado livre seria maior.

5 TESTES DE POLÍTICAS

Este capítulo descreve os resultados das simulações realizadas com o modelo desenvolvido, a partir dos testes de políticas e da construção de dois cenários com três hipóteses cada, considerando a escolha do consumidor residencial.

Assim como abordado no Capítulo 3, os testes de políticas visam estudar a variação dos parâmetros em conjunto, de modo a analisar hipóteses para verificação de quais políticas são mais significativas no problema sob análise.

A partir dos testes de políticas é possível testar diferentes hipóteses, permitindo que sejam apresentadas em conjunto as diferenças entre cada hipótese, auxiliando a tomada de decisão de consumidores residenciais quanto a permanência no ACR ou migração para o ACL.

5.1 CENÁRIO 1: CONSUMIDOR RESIDENCIAL COMO LIVRE ESPECIAL

Neste cenário, o consumidor residencial, ao migrar para o mercado livre, é considerado um consumidor especial. Este tipo de consumidor, pelas políticas atuais, não apresenta um elevado consumo de energia, podendo apenas comprar energia incentivada, com um desconto de 80% da tarifa de transporte.

Para o Cenário 1, é realizado o estudo a partir de três visões quanto às políticas tomadas, sendo uma de referência, uma otimista e uma pessimista, construídas cada uma a partir de observação. Estas têm, em cada simulação, os parâmetros “marketing” e “incentivos” abordados de acordo com o contexto de cada visão.

5.1.1 Referência

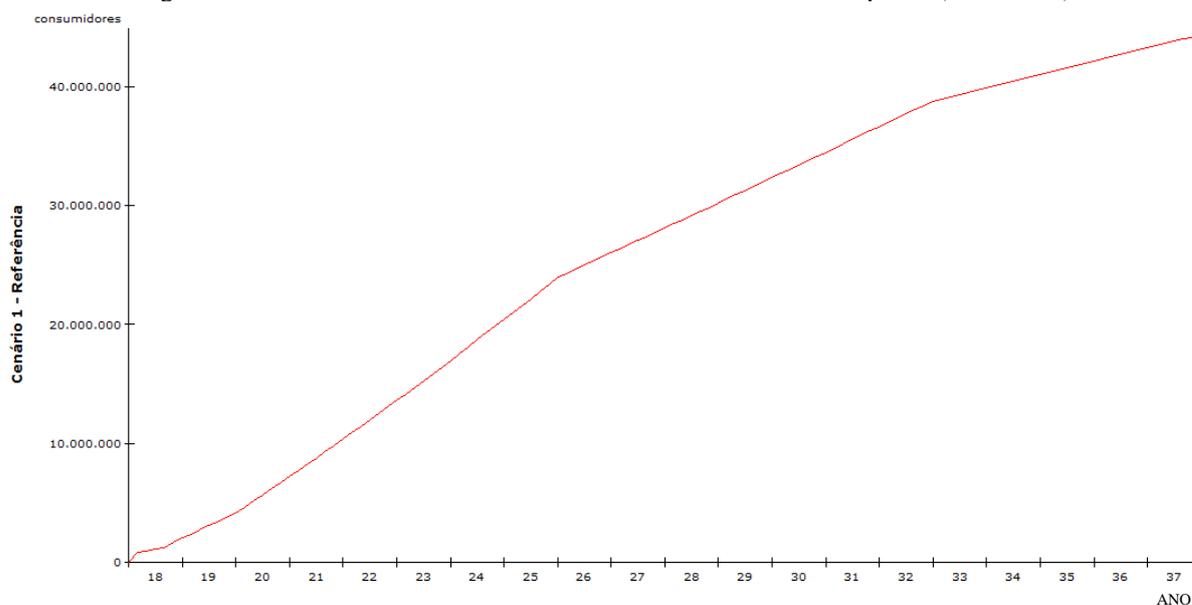
Os parâmetros foram mantidos conforme apresentados na Seção 4.5, exceto a “Tarifa de transporte” que teve seu valor reduzido em 80%. Assim, o Quadro 8 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 35.

Quadro 8: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Referência)

Ano	2018-2025	2026-2032	2032-2038
Marketing	40%	40%	40%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW
Incentivos	R\$320,00	R\$160,00	R\$0,00

Fonte: O autor

Figura 35: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Referência)



Fonte: O autor

Observa-se a partir da Figura 35 que, a redução de 80% no valor da “Tarifa de transporte” ocasionou um aumento de aproximadamente 44% na decisão do consumidor.

5.1.2 Otimista

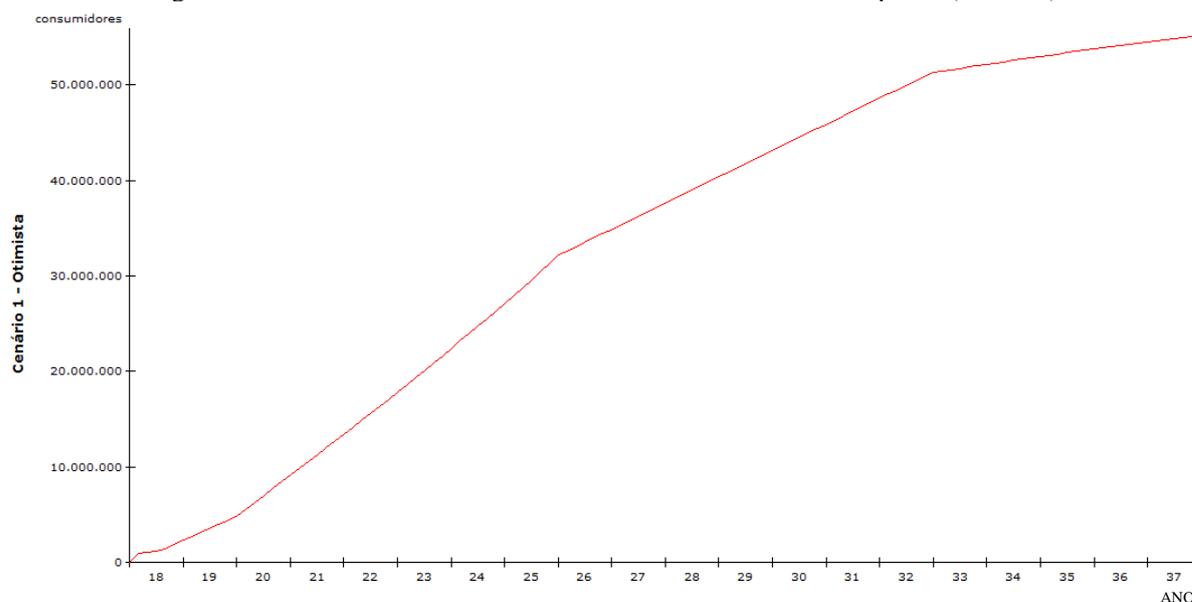
Os parâmetros “Marketing” e “Incentivos” foram alterados em mais 10% e mais 5%, respectivamente, do valor base. Assim, o Quadro 9 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 36.

Quadro 9: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Otimista)

Ano	2018-2025	2026-2032	2032-2038
Marketing	50%	50%	50%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW
Incentivos	R\$360,00	R\$200,00	R\$0,00

Fonte: O autor

Figura 36: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Otimista)



Fonte: O autor

A partir da observação da Figura 36, nota-se que o aumento de campanhas de marketing para conscientização do consumidor e o aumento dos incentivos iniciais alavancam de forma mais acelerada a migração dos consumidores ao mercado livre.

5.1.3 Pessimista

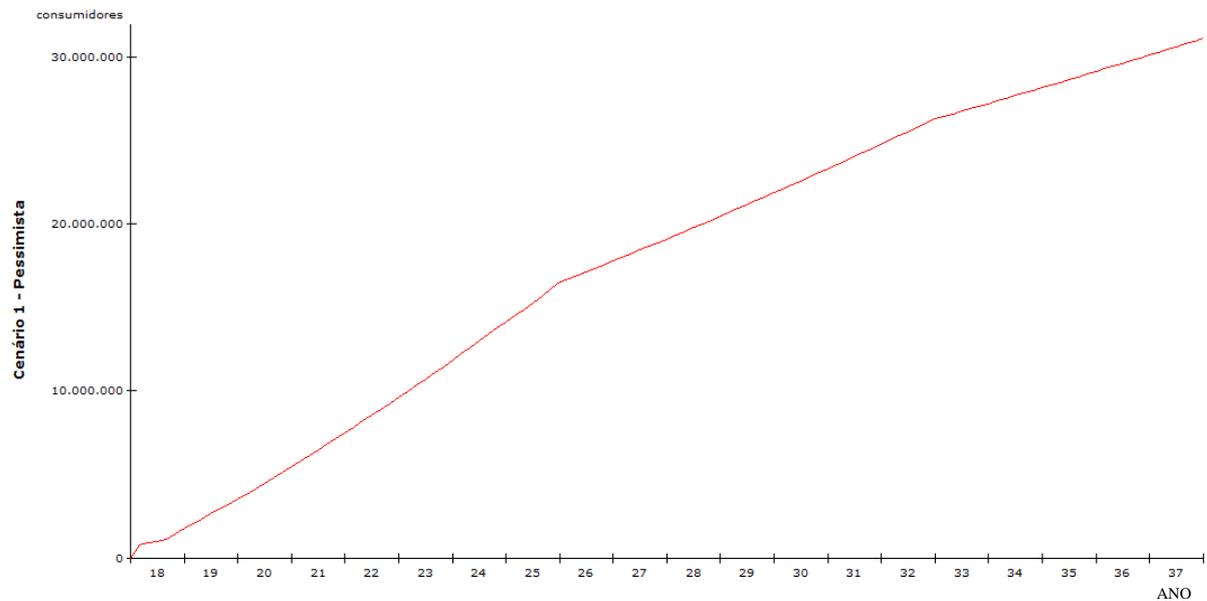
Os parâmetros “Marketing” e “Incentivos” foram alterados em menos 10% e menos 5%, respectivamente, do valor base. Assim, o Quadro 10 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 37.

Quadro 10: Cenário 1 – parâmetros de simulação (Pessimista)

Ano	2018-2025	2026-2032	2032-2038
Marketing	30%	30%	30%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW
Incentivos	R\$280,00	R\$120,00	R\$0,00

Fonte: O autor

Figura 37: Cenário 1 - Consumidor residencial como consumidor especial (Pessimista)



Fonte: O autor

Observa-se, a partir da Figura 37, que, com a baixa política de marketing a respeito da migração de consumidores ao mercado livre e o baixo incentivo inicial, não haverá uma adesão forte dos consumidores.

5.2 CENÁRIO 2: CONSUMIDOR RESIDENCIAL COMO LIVRE

Tendências mundiais mostram que, com o passar do tempo, todos os consumidores tornar-se-ão livres. Nesse contexto, o Cenário 2 apresenta essa tendência mundial, de que o consumidor migra, em um primeiro momento, como consumidor especial, e, após 10 anos, torna-se um consumidor livre tradicional.

A seguir, são apresentadas três visões do Cenário 2. Em todas, os consumidores têm, nos primeiros 10 anos de migração, um desconto de 80% na tarifa de transporte, como ocorre para consumidores especiais e posteriormente pagando a totalidade destas tarifas. Assim, é apresentado o Cenário 2, com uma visão de referência, otimista e pessimista.

5.2.1 Referência

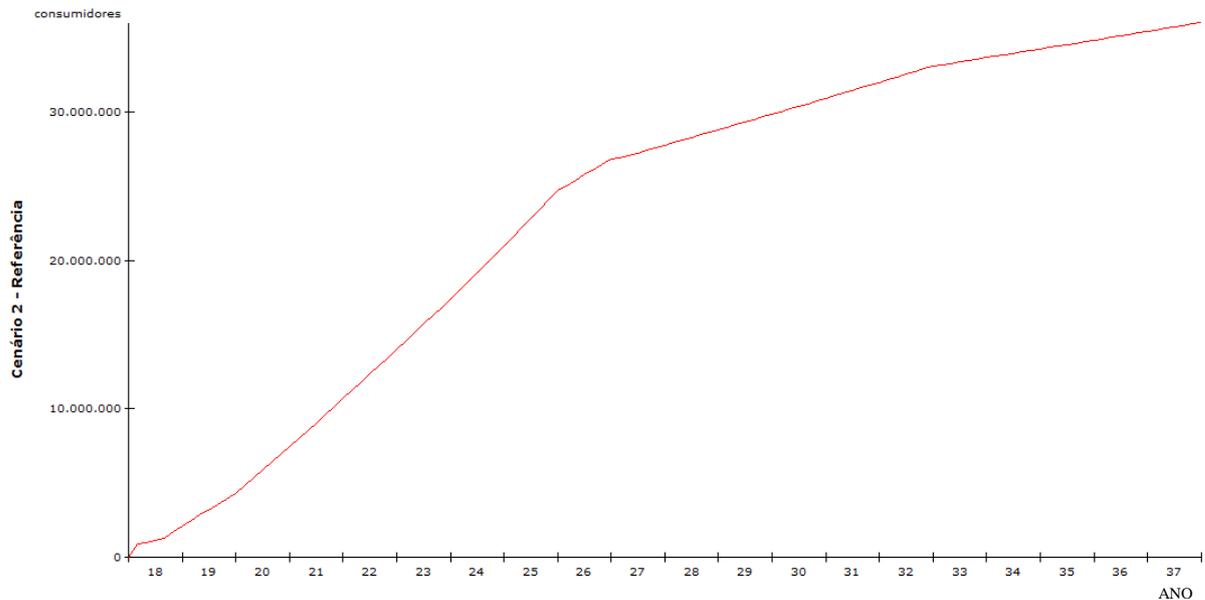
Os parâmetros foram mantidos conforme apresentados na Seção 4.5, exceto a “Tarifa de transporte” que apresenta seu valor reduzido de 80% durante os primeiros 10 anos de simulação, assim o Quadro 11 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 38.

Quadro 11: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Referência)

Ano	2018-2025	2026-2028	2028-2032	2032-2038
Marketing	40%	40%	40%	40%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 <i>por kW</i>	R\$0,01785 <i>por kW</i>	R\$0,105 <i>por kW</i>	R\$0,105 <i>por kW</i>
Incentivos	R\$320,00	R\$160,00	R\$160,00	R\$0,00
Consumo médio	369kWh	369kWh	369kWh	369kWh

Fonte: O autor

Figura 38: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Referência)



Fonte: O autor

Observando-se a Figura 38 nota-se que, o abatimento de parte da “tarifa de transporte”, gera uma perda de interesse na migração para o mercado livre.

5.2.2 Otimista

Os parâmetros “Marketing” e “Consumo médio” tiveram seus valores acrescidos de 10%, “incentivos” teve seu valor alterado em mais 5%, bem como a remoção do desconto na

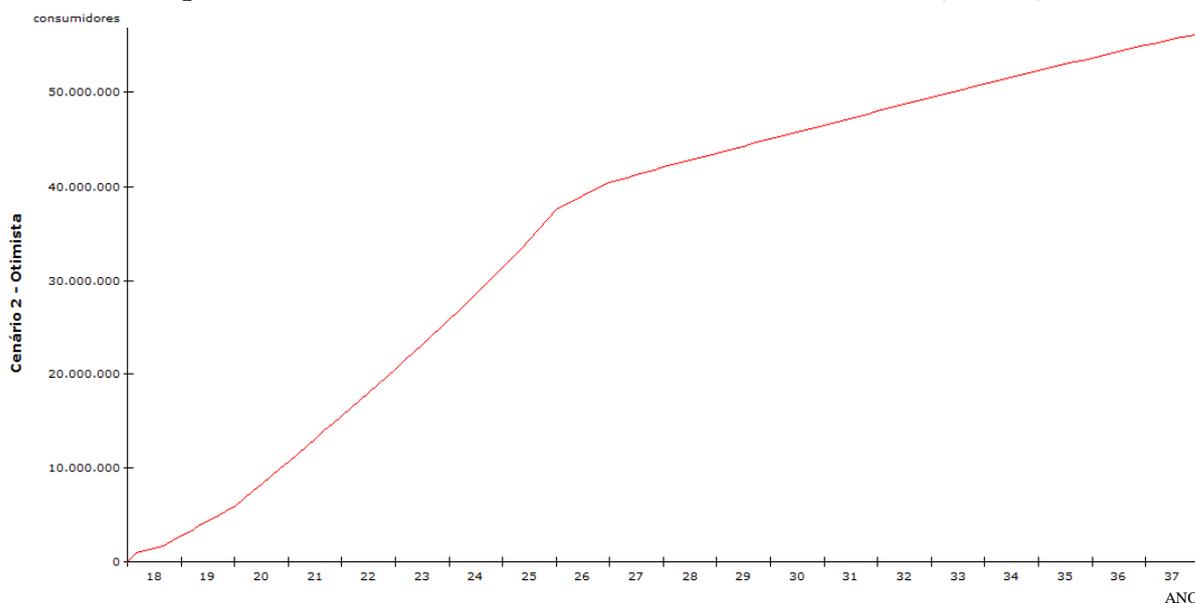
“tarifa de transporte” decorridos 10 anos. Deste modo, o Quadro 12 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 39.

Quadro 12: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Otimista)

Ano	2018-2025	2026-2028	2028-2032	2032-2038
Marketing	50%	50%	50%	50%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW	R\$0,105 por kW	R\$0,105 por kW
Incentivos	R\$360,00	R\$200,00	R\$180,00	R\$0,00
Consumo médio	405,9kWh	405,9kWh	405,9kWh	405,9kWh

Fonte: O autor

Figura 39: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Otimista)



Fonte: O autor

Este cenário apresenta que, com o aumento dos incentivos iniciais e publicidade, pode haver um maior interesse para os consumidores cujo consumo seja mais elevado migrarem para o mercado livre.

5.2.3 Pessimista

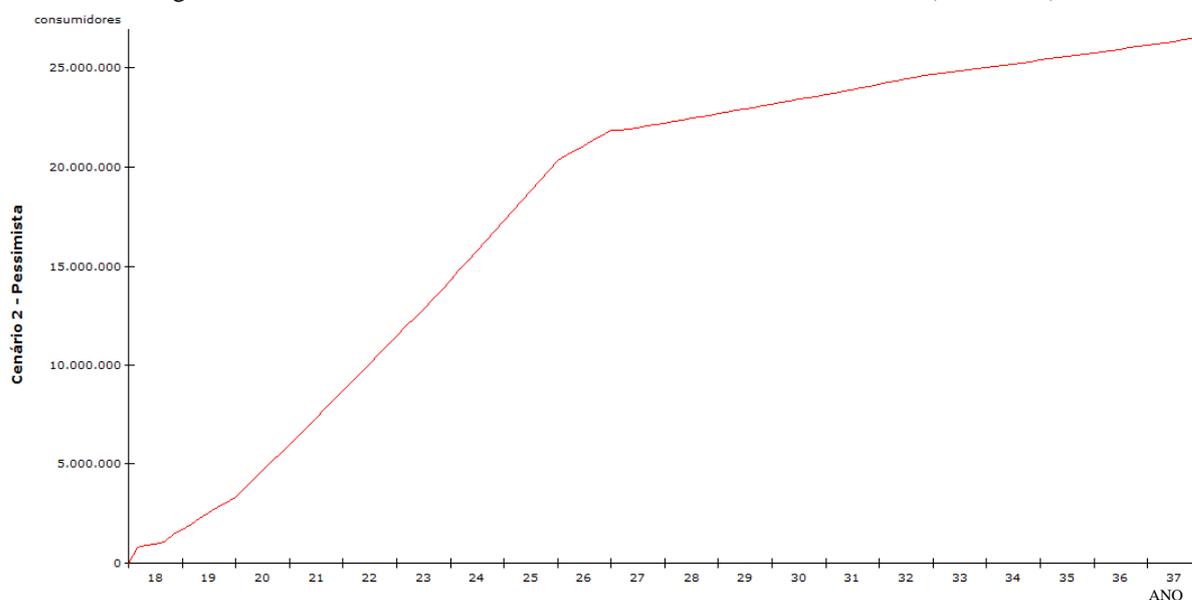
O parâmetro “Incentivos” teve seu valor reduzido em 5% dado certo tempo, o “Consumo médio” foi reduzido em 10%, bem como a remoção do desconto na “tarifa de transporte” decorridos 10 anos. Deste modo, o Quadro 13 apresenta os valores utilizados na simulação. Os resultados são apresentados na Figura 40.

Quadro 13: Cenário 2 – parâmetros de simulação (Pessimista)

Ano	2018-2025	2026-2028	2028-2032	2032-2038
Marketing	40%	40%	40%	40%
Tarifa de transporte	R\$0,01785 por kW	R\$0,01785 por kW	R\$0,105 por kW	R\$0,105 por kW
Incentivos	R\$320,00	R\$120,00	R\$120,00	R\$0,00
Consumo médio	332,1kWh	332,1kWh	332,1kWh	332,1kWh

Fonte: O autor

Figura 40: Cenário 2 - Consumidor residencial como livre dado 10 anos (Pessimista)



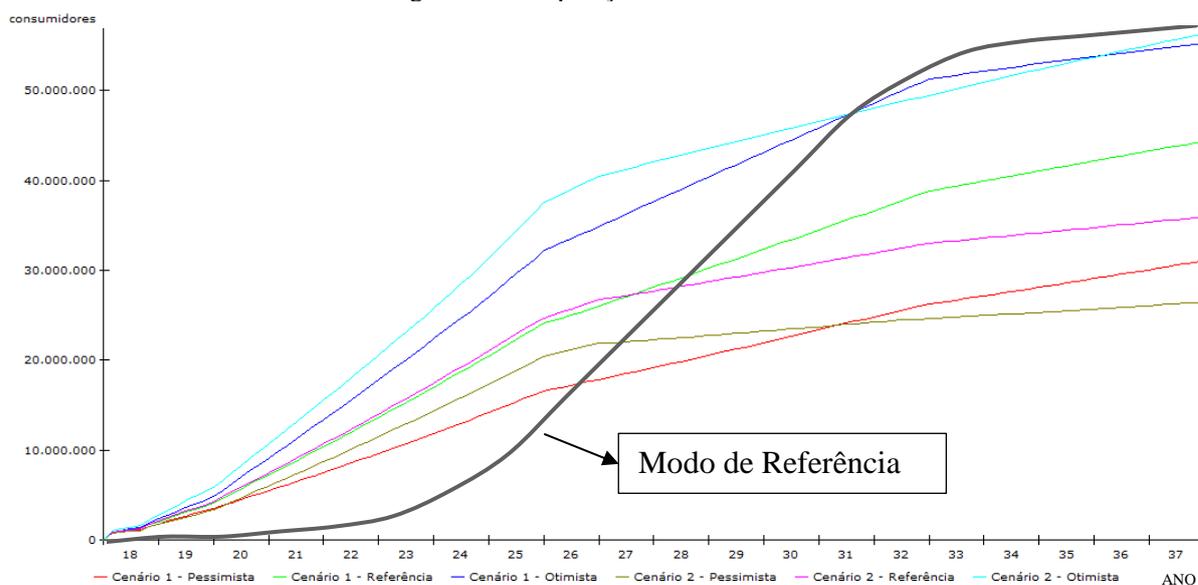
Fonte: O autor

A partir da observação da Figura 40, nota-se que, com o baixo consumo, aliado à redução dos incentivos e abatimento de parte da “tarifa de transporte”, há uma perda de interesse dos consumidores pela migração para o mercado livre.

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS

A Figura 41 apresenta os cenários simulados em um único gráfico, de modo a facilitar a comparação entre os mesmos, juntamente com o modo de referência, permitindo a validação do modelo.

Figura 41: Comparação entre os cenários



Fonte: O autor

A partir da observação da Figura 41, é possível perceber que a decisão do consumidor, em ambos cenários, é afetada principalmente pelo “Marketing”. Logo, uma fraca política desse parâmetro pode inviabilizar o mercado livre brasileiro. Outro parâmetro importante é o “Incentivos”, visto que, em ambos cenários, a sua diminuição acarretava uma redução na decisão do consumidor frente a migração para o mercado livre. Também pode-se observar que, com o aumento do “Consumo médio” de energia elétrica, a migração para o mercado livre se torna mais atrativa, o que pode ser esperado de fato, uma vez que, quanto maior o consumo de energia, maior será a economia por quilowatt.

Em ambos os cenários, os gráficos obtidos condizem com o modo de referência apresentado na Seção 4.2, Figura 15, validando assim o modelo construído.

6 CONCLUSÕES

A abordagem do problema de migração para o mercado livre do consumidor residencial, através da técnica de Dinâmica de Sistemas, se mostrou eficaz, uma vez que, com um único modelo, foi possível estudar as interações de variáveis comportamentais em conjuntos com variáveis técnicas, culturais e econômicas, o que só foi possível através da aplicação desta técnica. O modelo aqui desenvolvido não tem fins de predição a respeito da migração dos consumidores para o mercado livre, mas, sim, o estudo de políticas sobre a tomada de decisão do consumidor frente a uma possível migração.

Com os cenários apresentados é possível perceber que, em todos eles, as decisões tomadas pelo governo, tanto em divulgação quanto em incentivos, se fazem necessárias para que se inicie o mercado livre para consumidores residenciais. Sendo assim, estas ações devem ser focadas, preponderantemente, na conscientização dos consumidores a respeito do mercado livre, também lhes apresentando as possíveis formas de obterem incentivos fiscais.

6.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugere-se que se aprimore o modelo implementando a taxa de crescimento de novas unidades de consumidoras, bem como implemente-se no modelo uma taxa de evasão, ou seja, acrescente-se a possibilidade de que consumidores que migraram para o mercado livre possam retornar ao mercado regulado.

7 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **A tarifa de energia elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/tarifas>>. Acesso em: 17 out. 2017.

_____. **Bandeiras tarifárias**. 2015b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 17 out. 2017.

_____. **Divisão dos consumidores**. 2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)>. Acesso em: 24 set. 2017.

_____. **Entendendo a tarifa**. 2015a. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/entendendo-a-tarifa/-/asset_publisher/uQ5pCGhnyj0y/content/composicao-da-tarifa/654800?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fentendendo-a-tarifa%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_uQ5pCGhnyj0y%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 9 set. 2017.

_____. **Estrutura tarifária para o serviço de distribuição de energia elétrica**. 2017. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20\(2\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Sum%C3%A1rio%20Executivo%20(2).pdf)>. Acesso em: 9 set. 2017.

_____. **Leilões**. 2015c. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/leiloes>>. Acesso em: 17 out. 2017.

_____. **Ranking das tarifas**. 2018b. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em: 29 agosto. 2018.

_____. **Relatórios de consumo e receita**. 2018a. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>>. Acesso em: 17 agosto. 2018.

_____. **Tarifa branca**. 2018c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-os-consumidores-a-partir-de-2018/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 18 outubro. 2018.

Alberta Utilities commission (AUC). **Electricity**. 2017. Disponível em: <<http://www.auc.ab.ca/utility-sector/rates-and-tariffs/Pages/Electricity.aspx>>. Acesso em: 19 jan. 2018.

ALTIERI, R. **Evolução do mercado brasileiro de energia elétrica – Agenda CCEE 2016**. 2015. 3º encontro nacional de consumidores livres. CCEE. 2015.

Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (ABRACEEL). **Cartilha mercado livre**. 2015. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2017.

_____. **Clipping Mercado livre de energia**. 2018. Disponível em: <http://abraceel.com.br/zpublisher/materias/clipping_txtn.asp?id=22911>. Acesso em: 28 ago. 2018.

_____. **Como funciona o mercado livre de energia no Brasil**. 2017b. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=19149>. Acesso em: 14 nov. 2017.

_____. **Diferença entre consumidor livre e cativo**. 2017c. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=19150>. Acesso em: 13 nov. 2017.

_____. **Mercado livre**. 2017a. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=0>. Acesso em: 14 nov. 2017.

_____. **O papel das comercializadoras**. 2017d. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/mercado_livre.asp?m_id=19151>. Acesso em: 15 nov. 2017.

_____. **Quem pode ser consumidor livre**. 2017e. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/zpublisher/secoes/consumidor_livre.asp>. Acesso em: 15 nov. 2017.

BAUMGARTEN, C. **Inserção de micro e mini geração distribuída de fonte solar fotovoltaica: uma abordagem através de dinâmica de sistemas**. Projeto de Diplomação, em Engenharia Elétrica, Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BAUMGARTEN, C. **Modelo para análise de inserção de pequenas fontes solares fotovoltaicas em sistemas de distribuição: uma abordagem multivariável**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

BORDIN, G. **Um modelo para estudos da demanda de energia elétrica em ambiente competitivo**. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

BRASIL. **Lei nº 12.212 de 20 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nos 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12212.HTM>. Acesso em 18 out. 2018.

Energy UK (EU). **The energy market explained**. 2017. Disponível em: <<https://www.energy-uk.org.uk/energy-industry/the-energy-market.html> >. Acesso em: 19 jan. 2018.

FERNANDES, A. C. **Scorecard dinâmico – em direção à integração da dinâmica de sistemas com o balanced scorecard**. Tese de Doutorado, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

FORD, A. Capítulo 1 e Capítulo 2. **Modeling the environment: an introduction to System Dynamics models of environmental systems**. Washington: Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W. **System dynamics, Systems Thinking, and Soft OR**. System dynamics Review. Cambridge. 1992.

_____. **Some Basic Concepts in System Dynamics**. Massachusetts Institute of Technology. Sloan School of Management. 2009

Germany Trade & Invest (GTAI). **Germany's energy concept**. 2017. Disponível em: <<https://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/invest,t=the-german-electricity-market--a-brief-overview,did=622868.html> >. Acesso em: 19 jan. 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Economia (IBGE). **Agência de notícias**. 2018a. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2013-agencia-de-noticias/releases/18992-pnad-continua-2016-51-da-populacao-com-25-anos-ou-mais-do-brasil-possuiam- apenas-o-ensino-fundamental-completo.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Economia (IBGE). **Brasil síntese - educação**. 2018b. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/educacao.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

KASSAI, J.C.; KASSAI, S.; SANTOS, A.; NETO, A.A. **Retorno de Investimento: Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2000.

KOTLER, P. Pesquisa e seleção de mercados-alvos. **Administração de marketing – Análise, planejamento, implementação e controle**. 4ª Ed. Editora Atlas S.A. São Paulo. 1996.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6ª Ed. São Paulo. 2007.

MEDEIROS JÚNIOR, J.V.; OLIVEIRA, F.P.S.; SOUZA, R.L.R.; ANEZ, M.E.M. **Simulação da dinâmica do “jogo da cerveja” através do software de modelagem de simulação empresarial** SIMADM. 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/275.pdf>. Acesso em 20 de set. de 2014.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Nota técnica nº 5/2017/AERGES/SE: a evolução do setor elétrico**. 2017. Disponível em: <<http://www.paranoaenergia.com.br/wp-content/uploads/2017/07/ConsultaMME.pdf>>. Acesso em: 9 set. 2017.

POWERSIM studio 10. Version 10. [S.l.]: Powersim Software AS, 2018. Disponível em: <www.powersim.com/>

RIGODANZO, J. **Instalação de medidores inteligentes no Brasil: Uma análise econômica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. 5th ed. New York: Free Press, 2003.

SENGE, P. M. **A quinta disciplina**. 11ª Ed. São Paulo. 1990.

VILLELA, PAULO R.C. **Introdução à dinâmica de sistemas**. 2005. 66 p. Curso.