

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

**EMÍLIO MATA FARIA**

**ESTUDO DA INSERÇÃO DE MINI E MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA NA PROJEÇÃO DE  
DEMANDA DA CLASSE RESIDENCIAL**

Porto Alegre

2014

EMÍLIO MATA FARIA

**ESTUDO DA INSERÇÃO DE MINI E MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA NA PROJEÇÃO DE  
DEMANDA DA CLASSE RESIDENCIAL**

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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gladis Bordin

Porto Alegre

2014

EMÍLIO MATA FARIA

**ESTUDO DA INSERÇÃO DE MINI E MICROGERAÇÃO  
FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA NA PROJEÇÃO DE  
DEMANDA DA CLASSE RESIDENCIAL**

Este projeto 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<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Gladis Bordin, UFRGS

---

Prof. Ph.D. Altamiro Amadeu Susin, UFRGS

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_

BANCA EXAMINADORA

Gladis Bordin (Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Roberto Chouhy Leborgne (Prof. Dr.) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Daiana Wichmann Da Silva (Eng<sup>a</sup>. Especialista ) – Rio Grande Energia

---

Porto Alegre

2014

## AGRADECIMENTOS

À família pelo apoio, incentivo e carinho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Gladis Bordin pela oportunidade de aprendizado e orientação na elaboração deste projeto de diplomação.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por proporcionar ensino gratuito e de qualidade.

“Apesar de tudo, à medida que avançamos para a terra desconhecida do amanhã, é melhor ter um mapa geral e incompleto, sujeito a revisões, do que não ter mapa algum.”

(Alvin Toffler)

## RESUMO

A projeção de demanda é a base para o planejamento de expansão, de operação e financeiro de uma distribuidora de energia elétrica. A Resolução Normativa nº 482 de 2012, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica, permite ao consumidor brasileiro gerar energia a partir de mini e microgeração distribuída e aderir a um sistema de compensação de energia na forma de créditos de energia ativa. O consumidor passa, então, a exercer as ações de consumir e produzir energia, recebendo a denominação de prosumidor. A existência de prosumidores insere novas incertezas no processo de projeção de demanda de energia elétrica, tornando necessário adaptar as metodologias tradicionais de projeção a este novo contexto.

Este estudo propõe complementar a metodologia tradicional de projeção de demanda da classe residencial, incluindo mini e microgeração fotovoltaica. Para avaliar o impacto da geração distribuída fotovoltaica na projeção de demanda foi elaborada uma taxa de adesão a este tipo de geração, com base na distribuição estatística de Weibull, nas condições socioeconômicas, no comportamento do consumidor, na continuidade de fornecimento de energia elétrica e na consciência ecológica do consumidor. Para avaliar a metodologia proposta, três cenários foram construídos para projetar a demanda de energia elétrica do RS, denominados: “dinheiro é o que importa”, “sustentabilidade é o objetivo” e “salvem o planeta”. Esses cenários, através de comparação com a metodologia tradicional, evidenciam a necessidade de incluir mini e microgeração fotovoltaica ao método tradicional de projeção.

**Palavras-chave:** geração distribuída, micro e minigeração fotovoltaica, projeção de demanda, classe residencial.

## ABSTRACT

The demand projection is the basis for planning the expansion, operation and finance of an electricity distributor. Normative Resolution No. 482 of 2012, published by the Brazilian National Electric Energy Agency, allows the Brazilian consumer to generate energy from mini and micro distributed generation and to adhere a compensation system energy in the form of active energy credits. The consumer performs actions of consuming and producing energy, receiving the designation of prosumer. The existence of prosumers inserts new uncertainties in the demand projection of electrical energy, making it necessary to adapt traditional methodologies of projection to this new context.

This study aims to complement traditional method for forecasting the residential class demand, including photovoltaic micro and minigeneration. To assess the impact of distributed photovoltaic generation in the demand projection a membership fee to solar technology was created based on statistical Weibull distribution, socio-economic conditions, consumer behavior, electricity quality supply and consumer ecological awareness. Three scenarios were created to project the electricity demand in RS, called as: “money is what matters”, “sustainability is the goal” and “save the planet”. These scenarios highlight the need to include photovoltaic micro and minigeneration to the traditional projection method by comparing it with the traditional methodology.

**Keywords:** distributed generation, photovoltaic micro and minigeneration, demand projection, residential class.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia tradicional para projeção de consumo residencial.....	24
Figura 2 - Metodologia tradicional modificada para projeção de demanda da classe residencial .....	26
Figura 3 - Metodologia proposta por Lautenschleger para projeção da demanda residencial.....	29
Figura 4 - Custo de produção de energia fotovoltaica .....	39
Figura 5 - Mapa de viabilidade de empreendimentos fotovoltaicos de baixa tensão.....	40
Figura 6 - Curva de carga de um consumidor de baixa tensão .....	40
Figura 7 - Fatia de mercado de energia elétrica no RS .....	43
Figura 8 - Produção anual fotovoltaica da classe residencial (GWh) .....	49
Figura 9 - Consumo residencial para o cenário “dinheiro é o que importa” (GWh).....	51
Figura 10 - Consumo residencial para o cenário “sustentabilidade é o objetivo” (GWh).....	52
Figura 11 - Consumo residencial para o cenário “salvem o planeta” (GWh).....	53
Figura 12 - Taxa de adesão para o cenário "dinheiro é o que importa" (%).....	54
Figura 13 - Taxa de adesão para o cenário "sustentabilidade é o objetivo" (%).....	54
Figura 14 - Taxa de adesão para o cenário "salvem o planeta" (%).....	55
Figura 15 - Cenários de consumo por domicílio com geração fotovoltaica (MWh).....	56
Figura 16 - Representação de uma junção p-n.....	65
Figura 17 - Estrutura de um módulo fotovoltaico.....	66
Figura 18 - Curva característica de um módulo fotovoltaico .....	67
Figura 19 - Estrutura de uma REI.....	69
Figura 20 - Procedimento de reajuste tarifário anual (IRT). .....	72
Figura 21 - Influência do parâmetro de forma na f.d.p. de Weibull.....	74
Figura 22 - Influência do parâmetro de forma na função de probabilidade de Weibull.....	75
Figura 23 - Influência do parâmetro de escala na função de probabilidade de Weibull .....	76



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da GD .....	19
Quadro 2 - Acesso ao Sistema de Distribuição.....	20
Quadro 3 - Síntese dos principais documentos para geração distribuída .....	21
Quadro 4 - Consumo de eletricidade na rede por classe .....	25
Quadro 5 - Parâmetros Weibull adotados.....	32
Quadro 6 - Domicílios próprios .....	34
Quadro 7 - Custo de instalação de um sistema residencial de 3 kW .....	37
Quadro 8 - Premissas para construção da taxa de adesão .....	42
Quadro 9 - Variáveis de cenário .....	43
Quadro 10 - Variáveis comuns aos cenários .....	44
Quadro 11 - Externalidades .....	45
Quadro 12 - Grau de exigência do consumidor em contraponto a evolução dos indicadores DEC limite e FEC limite.....	47
Quadro 13 - Taxa de adesão à geração fotovoltaica .....	48
Quadro 14 - Produção anual fotovoltaica da classe residencial.....	49
Quadro 15 - Consumo total da classe residencial, considerando a inserção da geração fotovoltaica.....	50
Quadro 16 - Desconto tarifário para classe de consumo residencial de baixa renda .....	71
Quadro 17 - Composição da receita da concessionária .....	71
Quadro 18 - Projeção de PIB e população para o cenário dinheiro é o que importa .....	77
Quadro 19 - Projeção de PIB e população para o cenário sustentabilidade é o objetivo .....	78
Quadro 20 - Projeção de PIB e população para o cenário salvem o planeta .....	79
Quadro 21 - Tarifa final média prática no RS considerando impostos .....	80
Quadro 22 - Indicadores de continuidade no RS .....	81
Quadro 23 - Payback para o cenário dinheiro é o que importa.....	82
Quadro 24 - Payback para o cenário sustentabilidade é o objetivo.....	83
Quadro 25 - Payback para o cenário salvem o planeta .....	83
Quadro 26 - Consumo residencial sem considerar inserção fotovoltaica (GWh) .....	84
Quadro 27 – Variáveis comuns a todos cenários .....	85
Quadro 28 - Projeção das variáveis que compõem o fator de comportamento .....	85
Quadro 29 - Fatores de correção para o cenário dinheiro é o que importa.....	86
Quadro 30 - Fatores de correção para o cenário sustentabilidade é o objetivo.....	87
Quadro 31 - Fatores de correção para o cenário salvem o planeta.....	87
Quadro 32 - Consumo para o cenário dinheiro é o que importa .....	88
Quadro 33 - Consumo para o cenário sustentabilidade é o objetivo .....	89
Quadro 34 - Consumo projetado para o cenário salvem o planeta .....	89
Quadro 35 - Comparação da taxa de adesão por metodologia .....	90
Quadro 36 - Consumo por residência (MWh) .....	91

## ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CELETRO	Cooperativa de Eletrificação Centro Jacuí LTDA
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CERFOX	Cooperativa de Geração e Distribuição de Energia de Fontoura Xavier LTDA
CERILUZ	Cooperativa Regional de Energia e Desenvolvimento de Ijuí LTDA
CERMISSÕES	Cooperativa de Distribuição e Geração de Energia das Missões
CERTAJA	Cooperativa Regional de Energia Taquarí Jacuí
CERTEL	Cooperativa de Distribuição de Energia de Teutônia
CERTHIL	Cooperativa de Distribuição de Energia Entre Rios LTDA
CERVALE	Cooperativa de Eletrificação Rural do Vale do Jaguari LTDA
COFINS	Contribuição Social para o Financiamento da Seguridade Social
COOPERLUZ	Cooperativa Distribuidora de Energia da Fronteira Noroeste
COOPERNORTE	Cooperativa Regional de Energia e Desenvolvimento do Litoral Norte LTDA
COOPERSUL	Cooperativa Regional de Eletrificação Rural da Fronteira Sul LTDA
COPREL	Cooperativa de Energia
COSEL	Cooperativa Sudeste de Eletrificação Rural LTDA
CRELUZ	Cooperativa de Distribuição de Energia
CRERAL	Cooperativa Regional de Eletrificação Rural do Alto Uruguai LTDA
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DOE	United States Of America Department of Energy
EIA	United States of America Energy Information Administration

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de capacidade
FD	Fator de Desempenho
FEE	Fundação de Economia e Estatística
FMI	Fundo Monetário Internacional
GD	Geração Distribuída
GSGF	Global Smart Grid Federation
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IEA	International Energy Agency
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ONS	Operador Nacional do Sistema
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PAC	<i>PacifiCorp</i>
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PRORET	Procedimento de Regulação Tarifária
REI	Rede Elétrica Inteligente
REN	Resolução Normativa

RGE	Rio Grande Energia
RIC	Regulamentação de Instalações Consumidoras
RS	Rio Grande do Sul
SAS	Sistemas de Aquecimento Solar
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	MOTIVAÇÃO .....	15
1.2	OBJETIVOS .....	17
1.2.1	Geral.....	17
1.2.2	Específicos .....	17
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
2	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	19
2.1	MINI E MICROGERAÇÃO NO BRASIL .....	20
2.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO E MEDIÇÃO DE ENERGIA.....	22
3	PROJEÇÃO DE DEMANDA.....	24
3.1	METODOLOGIA TRADICIONAL.....	24
3.2	METODOLOGIA TRADICIONAL MODIFICADA POR CASTELO BRANCO....	25
3.2.1	Modelo Matemático para Projeção de Demanda da Classe Residencial .....	26
3.3	METODOLOGIA PROPOSTA POR LAUTENSCHLEGER.....	28
4	METODOLOGIA PROPOSTA.....	32
4.1	TAXA DE ADESÃO À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL .....	32
4.1.1	Fator de Correção Referente à Condição de Ocupação .....	33
4.1.2	Fator de Correção Referente à Renda .....	34
4.1.3	Fator de Correção de Verticalização .....	34
4.1.4	Fator de Correção Referente à Continuidade do Serviço .....	35
4.1.5	Fator de Correção Referente ao Comportamento da População .....	36
4.2	PRODUÇÃO ANUAL FOTOVOLTAICA .....	36
5	ESTUDO DE CASO .....	37
5.1	CUSTOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	37
5.2	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS.....	41
5.2.1	Variáveis de Cenário .....	42
5.2.2	Variáveis comuns aos cenários .....	44
5.3	CONSTRUÇÃO DA TAXA DE ADESÃO .....	45
5.4	RESULTADOS .....	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
6.1	CONCLUSÕES.....	57

6.2 TRABALHOS FUTUROS.....	58
ANEXO 1 - GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	64
• Efeito Fotovoltaico .....	64
• Aspectos Técnicos .....	65
ANEXO 2 - REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES .....	68
ANEXO 3 - TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	70
• Grupos Tarifários.....	70
• Composição das Tarifas.....	71
• Atualização Tarifária .....	72
ANEXO 4 - DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL .....	74
ANEXO 5 – MEMÓRIA DE CÁLCULO E VARIÁVEIS DE APOIO .....	77

## 1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro passou em sua história por quatro períodos marcantes (Almeida, 2008). O primeiro (1879-1933) representa a instalação das primeiras usinas geradoras de eletricidade, dos primeiros sistemas de iluminação pública e o surgimento das primeiras empresas privadas do setor. No segundo (1934-1961) iniciou a regulamentação do setor e a consolidação de algumas das maiores empresas de energia elétrica. No terceiro período (1962-1979), foram criados órgãos governamentais e grandes empresas estatais a fim de solucionar os problemas de investimentos por parte das empresas privadas atuantes no setor e acompanhar as altas taxas de crescimento proporcionadas pelo “milagre econômico brasileiro”. No quarto período (1980-2001), iniciou-se o processo de reestruturação e privatização do setor e ficou marcado por crises de abastecimento de energia elétrica.

A década de 90 foi marcada pelo início da reestruturação do setor elétrico brasileiro, que permitiu a separação comercial da geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, favorecendo que um ambiente de concorrência fosse criado. O aumento da demanda de energia elétrica e a falta de investimento adequado em geração e transmissão no setor provocou um descompasso entre demanda e oferta de energia elétrica, elevando o risco de déficit de energia elétrica no país (Almeida, 2008). Com essa nova caracterização do setor, as projeções de mercado consumidor tornam-se cada vez mais importantes para o planejamento do setor elétrico brasileiro.

Ao passo que a competitividade do setor tornou-se mais acirrada e a rentabilidade econômica passou a ter papel preponderante, metodologias de projeções de demanda de energia elétrica mais completas surgem para se adequar aos objetivos do mercado e do planejamento.

A Lei 9427 de 1999 instituiu o novo modelo do setor elétrico brasileiro, criando a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), e a Lei 9648 de 1998 que definiu as regras de entrada de novos agentes, tarifas e estrutura de mercado. Essa reestruturação do setor objetivou intensificar a competição nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica e regulamentar as atividades do setor com a criação da ANEEL.

### 1.1 MOTIVAÇÃO

Atualmente há uma tendência mundial pela busca por fontes renováveis de energia a fim de suprir uma demanda de energia elétrica que, segundo a “*United States Of America Energy Information Administration*” (EIA, 2013), irá quase dobrar até 2040 em relação a 2010. A preocupação com a agressão ao meio ambiente e o consequente

compromisso assumido por alguns países em reduzir as emissões de gases poluentes aliado a uma aversão aos programas nucleares faz com que a busca por fontes renováveis se acentue cada vez mais.

No contexto brasileiro, em que a matriz elétrica é predominantemente hídrica, questões ambientais que questionam modelo mais tradicional de geração de energia elétrica, através da prática de construção de usinas hidrelétricas com reservatório, em que a energia armazenada é a água, tem feito com que novas usinas sejam construídas no modelo a fio d'água, fazendo com que o sistema elétrico brasileiro seja mais suscetível à sazonalidade do regime de águas brasileiro e consequente baixo fator de capacidade. Aliado a isso está a preocupação com a emissão de gases poluentes por parte das termoeletricas (essenciais para a viabilidade de usinas hidrelétricas por funcionarem como instrumento regulador ao regime de águas) e falta de um programa nuclear mais consolidado, o que faz com que a busca por fontes renováveis de energia assumam um papel de destaque no cenário elétrico brasileiro.

Com a publicação da Resolução Normativa (REN) nº 482 de 17 de abril de 2012 pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012), consumidores podem também produzir energia elétrica a partir de aproveitamentos de até 1MW, através de um sistema de compensação de energia, passando, então, a exercer função de consumidor e produtor, recebendo a denominação de “prosumidor”. Assim, o consumidor que antes utilizava aproveitamentos domésticos isoladamente de forma a reduzir impactos na conta de energia elétrica ou para garantir a continuidade do suprimento de energia elétrica pode ceder o excedente de energia gerado para a concessionária e receber uma compensação na forma de créditos de energia.

Neste contexto, a energia solar fotovoltaica ganha destaque devido ao grande potencial de aproveitamento solar no Brasil e a ampla difusão desse método de geração passa a impactar a projeção de demanda de energia elétrica. Com isso, os modelos tradicionais de projeção de demanda necessitam se adequar à nova realidade brasileira e considerar o comportamento dos prosumidores.

Com a inserção de mini e microgeração no sistema de distribuição de energia, o modelo do mercado passa a apresentar um comportamento diferente do tradicional, uma vez que a regulamentação atual não prevê que o consumidor deva informar quantidade e período da produção. Desta forma, passa ser necessário incluir uma perspectiva de adesão dos consumidores à geração fotovoltaica para que a projeção da demanda seja condizente à realidade brasileira.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Geral

Elaborar uma nova metodologia de projeção de demanda para classe residencial, considerando a inserção de mini e microgeração distribuída.

### 1.2.2 Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- Estudar os documentos legais que regulamentam a geração distribuída no país;
- Estudar a metodologia tradicional modificada por Castelo Branco (2003) de projeção de demanda, identificando a necessidade de adequação à inserção de micro e minigeração a partir de fonte fotovoltaica;
- Complementar a metodologia proposta por Lautenschlager (2013) para inserção de micro e minigeração fotovoltaica na projeção de demanda da classe residencial, considerando distribuição estatística de Weibull, comportamento do consumidor, consciência ecológica, incentivos governamentais, estudos demográficos e renda familiar; e
- Avaliar o método proposto através da construção de cenários, comparando com as metodologias que antecedem este estudo.

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo é composto de seis capítulos, citados a seguir.

O presente capítulo inclui uma breve introdução, caracterização do problema, motivação e objetivos.

O capítulo 2 conceitua geração distribuída e resume os documentos legais relacionados à geração distribuída no Brasil, destacando como eles influenciam a mini e microgeração.

O capítulo 3 aborda a metodologia tradicional modificada por Castelo Branco (2013) para projeção de demanda, descrevendo os critérios e parâmetros envolvidos para projetar a demanda de energia elétrica da classe residencial e o modelo proposto por Lautenschlager ao considerar geração distribuída na projeção de demanda.

No capítulo 4 está a metodologia proposta neste trabalho, descrevendo critério e parâmetros para projeção de demanda de energia elétrica da classe residencial.

No capítulo 5, o método proposto é avaliado a partir da aplicação do método proposto no capítulo 4, comparado com os estudos anteriores.

No capítulo 6, o estudo é finalizado com as considerações finais e propostas de melhoria da metodologia para estudos futuros.

## 2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A preocupação com o meio ambiente e o aumento do consumo de energia elétrica, que cresce em torno de 5% ao ano, impulsionam investimentos em fontes alternativas de energia, que ganham destaque quando geradas de forma distribuída e próximas ao consumidor.

Geração Distribuída (GD) é definida por Maia, et. al. (2013) Como “a geração de energia elétrica próxima ao consumidor ou na própria instalação consumidora independente da fonte de energia e da tecnologia usada”. Essa nova alternativa para geração de energia surge para postergar investimentos em transmissão de energia, melhorar a qualidade do serviço e reduzir perdas no sistema.

O decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004 define geração distribuída como aquela conectada diretamente ao sistema elétrico de distribuição, proveniente de fontes renováveis de energia ou de cogeração com eficiência energética igual ou maior a 75% e capacidade instalada inferior a 30 MW.

O Quadro 1 compara vantagens e desvantagens da geração distribuída.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens da GD

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diversifica a matriz energética;</li> <li>• Reduz impactos ambientais;</li> <li>• Reduz o carregamento das redes e, por consequência, reduz perdas e adia os investimentos em expansão dos sistemas de distribuição e transmissão;</li> <li>• Melhora o nível de tensão da rede no período de carga elevada;</li> <li>• Contribui para continuidade do serviço.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sem uma política de incentivos do governo, possui elevado tempo de retorno para o investimento;</li> <li>• Alto custo de implantação;</li> <li>• Aumenta a complexidade de operação da rede de distribuição e altera os procedimentos necessários das distribuidoras para controlar e proteger suas redes;</li> <li>• Dificulta a previsão da disponibilidade da fonte geradora devido à intermitência da geração;</li> <li>• Pode contribuir para que haja aumento de distorção harmônica na rede e alteração dos níveis de curto-circuito das redes.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Silva (2013)

A ANEEL define na Resolução Normativa nº 482 de 17 de Abril de 2012 microgeração distribuída como a unidade geradora de energia elétrica conectada à rede de distribuição por meio de instalação de unidade consumidora capaz de produzir até 100 kW a partir de fontes renováveis ou de cogeração qualificada. Minigeração é definida de forma similar, porém para aproveitamentos com potência instalada maior que 100 kW e igual ou menor a 1 MW.

## 2.1 MINI E MICROGERAÇÃO NO BRASIL

A Resolução Normativa (REN) nº 482 da ANEEL dá as diretrizes iniciais para micro e minigeração no Brasil. A REN nº 482 define, além de micro e minigeração, o sistema de compensação de energia. O sistema de compensação considera a diferença entre energia ativa injetada e consumida por posto tarifário e, para o caso em que há maior energia injetada do que consumida, transforma essa diferença em créditos para o consumidor, que pode ser usado para abater o consumo em até 36 nessa mesma unidade consumidora ou em outra unidade de mesma titularidade.

O Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) define, em seu Módulo 3, os procedimentos e as etapas que devem ser cumpridas no processo de solicitação de acesso e estabelece níveis de tensão e requisitos mínimos de proteção de acordo com a potência instalada.

O Quadro 2 traz um resumo dos documentos que regulamentam o acesso ao sistema de distribuição e suas respectivas datas de vigência.

Quadro 2 - Acesso ao Sistema de Distribuição

<b>Revisão</b>	<b>Instrumento de aprovação da ANEEL</b>	<b>Data de Vigência</b>
0	REN nº 345/2008	De 31/12/2008 a 31/12/2009
1	REN nº 395/2009	De 01/01/2010 a 31/12/2010
2	REN nº 424/2010	De 01/01/2011 a 11/04/2011
3	REN nº 432/2011	De 12/04/2011 a 18/04/2012
4	REN nº 482/2012	De 19/04/2012 a 13/12/2012
5	REN nº 517/2012	14/12/2012

Fonte: ANEEL (2014)

O Quadro 3 sintetiza os principais documentos que conceituam e impactam a geração distribuída e destaca os pontos relevantes à projeção de demanda considerando micro e minigeração.

Quadro 3 - Síntese dos principais documentos para geração distribuída

<b>Documento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Considerações</b>
Módulo 3 do PRODIST – Acesso ao sistema de distribuição	Descreve as etapas necessárias à obtenção do acesso ao sistema de distribuição.	Estabelece as condições gerais de conexão ao sistema de distribuição, a serem observadas tanto pela acessada quanto pelo acessante e os padrões técnicos para redes, linhas e subestações de distribuição. Fixa de valores admissíveis de grandezas relacionadas às solicitações de acesso. Define os procedimentos aplicáveis ao controle, operação e manutenção das conexões.
REN nº 77/2004	Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW.	Estabelece descontos não inferiores a 50% na TUSD e TUST e tempo de vigência dessas reduções.
REN nº 414/2010	Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada.	Define modalidade tarifária como conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas, considerando as seguintes modalidades: convencional monômnia (grupo B, de acordo com horas de utilização do dia), branca (Grupo B exceto subgrupo B4 e subclasses baixa renda do subgrupo B1, de acordo com horas de utilização do dia), binômnia (grupo A, independente das horas de utilização do dia), verde (grupo A, de acordo com horas de utilização do dia), azul (grupo A, de acordo com horas de utilização do dia). Define também horário de ponta como o horário definido pela distribuidora considerando a curva de carga do sistema elétrico.
REN nº 482/2013	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica .	Define micro e minigeração distribuída com base na potência instalada e estipula um sistema de compensação de energia. Determina que o custo de adequação da medição são de responsabilidade da parte interessada.

<b>Continuação do Quadro 3</b>		
<b>Documento</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Considerações</b>
REN nº 502/2012	Regulamenta sistemas de medição de energia elétrica de unidades consumidoras do Grupo B.	Os titulares das unidades consumidoras podem solicitar à distribuidora disponibilizar um sistema de medição capaz de fornecer: <ul style="list-style-type: none"> <li>• valores de tensão e de corrente de cada fase;</li> <li>• valor de energia elétrica ativa consumida acumulada por posto tarifário;</li> <li>• identificação do posto tarifário corrente;</li> <li>• data e horário de início e fim das últimas 100 interrupções de curta e longa duração;</li> <li>• últimos 12 valores calculados dos indicadores Duração Relativa da Transgressão de Tensão Precária (DRP) e Duração Relativa da Transgressão de Tensão Crítica (DRC).</li> </ul>
REN nº 547/2012	Estabelece os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias.	Aplicação de bandeiras tarifárias e data de início para sua vigência.

Fonte: Adaptado de Lautenschlager (2013)

## 2.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE COMPENSAÇÃO E MEDIÇÃO DE ENERGIA

A REN nº 482 de 2012 define o uso do sistema de compensação de energia e as condições para adequar a medição da seguinte forma:

- A adesão ao sistema de compensação de energia elétrica não se aplica aos consumidores livres ou especiais. Será cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A;
- A energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 meses;
- Caso existam postos tarifários e a energia ativa injetada em um determinado posto tarifário seja superior à consumida, a diferença deverá ser utilizada para compensação em outros postos tarifários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia;
- Os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para esse fim e atendidas pela

mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica;

- Em cada unidade consumidora, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora;
- Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado; e
- Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

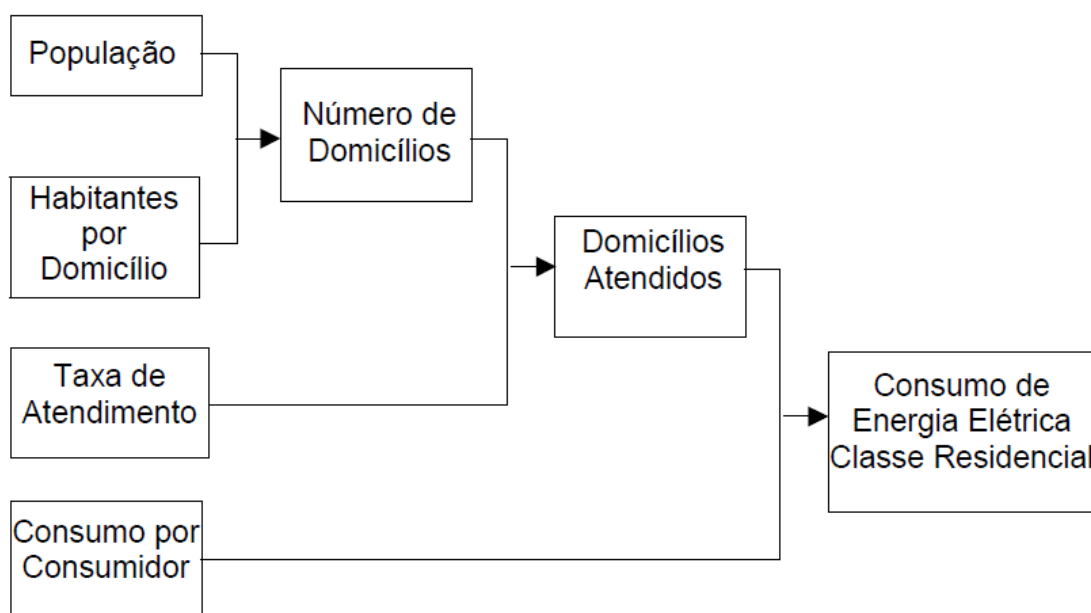
A possibilidade do prosumidor ceder o excedente de energia gerada à distribuidora a título de créditos de energia representa os primeiros passos para consolidar a geração distribuída no país, impactando os métodos tradicionais de projetar a demanda do setor.

### 3 PROJEÇÃO DE DEMANDA

#### 3.1 METODOLOGIA TRADICIONAL

O consumo da classe residencial é tradicionalmente projetado de acordo com o número de consumidores, consumo por consumidor residencial, taxa de atendimento, habitantes por domicílio e baseado na Portaria 760 de 1976 do extinto Departamento de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) e esquematizado na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia tradicional para projeção de consumo residencial



Fonte: Castelo Branco (2003)

O consumo por unidade residencial atendida é obtido por análise de tendência histórica, corrigido dos efeitos de programas de ligação de consumidores de baixa renda e o número de consumidores, com base na evolução do número de consumidores, resultantes de estudos demográficos e na projeção da taxa de atendimento (relação entre o número de consumidores residenciais atendidos e o número total de domicílios para uma dada região). De acordo com Castelo Branco (2003), essa metodologia tem uma abordagem extrapolativa e determinística, ou seja, a metodologia tradicional faz uma extrapolação de tendências do passado fundamentada na hipótese de que o futuro pode ser antevisto mediante análise do passado.

As premissas básicas de mercado são elaboradas com uma modelagem de cenários macroeconômicos e de consumo de energia elétrica, construindo-se possíveis e plausíveis cenários. Os cenários de consumo de energia elétrica baseiam-se na elasticidade consumo de energia por PIB, projetada com base em comportamento passado.



### 3.2 METODOLOGIA TRADICIONAL MODIFICADA POR CASTELO BRANCO

O volume de energia elétrica a ser comprado pelas distribuidoras desse setor baseia-se em projeções de mercado e necessita ser feito com antecedência, visando atender a totalidade de sua demanda cativa e evitando a sub e sobre contratação. Assim sendo, há necessidade de se usar um modelo de projeção mais adequado às condições de mercado. A metodologia tradicional modificada por Castelo Branco passou a incluir aspectos comportamentais e causalidade entre variáveis antes não abordadas.

De acordo com Plano Decenal de Expansão de Energia, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2013), a classe residencial apresenta uma variação na projeção de consumo com crescimento de 4,3% ao ano para o período 2013-2022, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Consumo de eletricidade na rede por classe

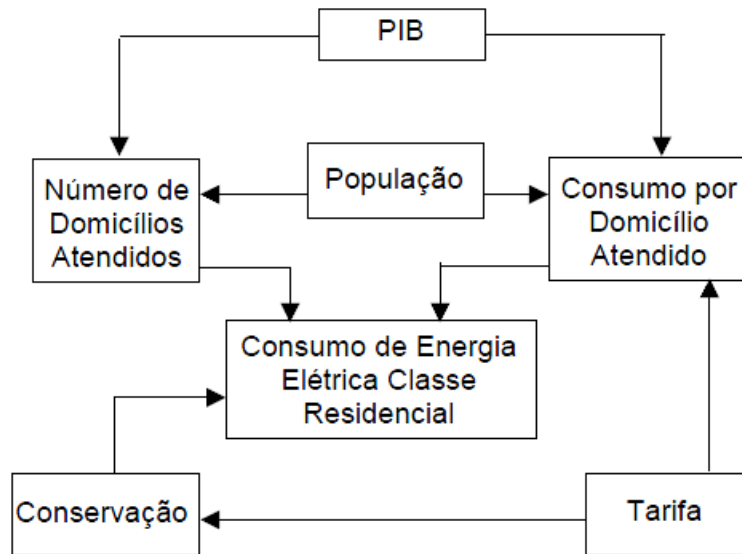
<b>Ano</b>	<b>Residencial (GWh)</b>	<b>Industrial (GWh)</b>	<b>Comercial (GWh)</b>	<b>Outros (GWh)</b>	<b>Total (GWh)</b>
<b>2013</b>	121.890	190.914	83.230	70.527	466.561
<b>2017</b>	145.528	219.556	104.387	81.335	550.806
<b>2022</b>	178.659	257.397	138.979	96.974	672.008
<b>Período</b>	<b>Variação (% a.a.)</b>				
<b>2013-2017</b>	4,5	3,6	5,8	3,7	4,2
<b>2018-2022</b>	4,2	3,2	5,9	3,6	4,1
<b>2013-2022</b>	4,3	3,4	5,8	3,6	4,1

Fonte: EPE (2013)

Frente ao crescimento do consumo de eletricidade na rede e às limitações da metodologia tradicional em representar o comportamento do consumidor, tornou-se necessário adaptar a metodologia tradicional.

A metodologia tradicional de projeção de demanda de energia elétrica foi modificada por Castelo Branco (2003) e considera novos fatores como tarifa, PIB e conservação de energia. A metodologia modificada considera o comportamento do consumidor na projeção de demanda como racionalização e atraso no perfil de consumo frente ao reajuste de tarifa de energia elétrica. A Figura 2 apresenta a metodologia modificada por Castelo Branco (2003).

Figura 2 - Metodologia tradicional modificada para projeção de demanda da classe residencial



Fonte: Castelo Branco (2003)

### 3.2.1 Modelo Matemático para Projeção de Demanda da Classe Residencial

De acordo com a Empresa de Pesquisa Elétrica (EPE, 2012), para o setor residencial, o número de ligações à rede elétrica depende de variáveis demográficas (população, número de domicílios e número de habitantes por domicílios) e o consumo médio de energia elétrica por consumidor é influenciado pelo PIB.

A renda per capita é a relação entre o PIB e população total do local geográfico em questão, conforme a Equação (1).

$$RPC_i = \frac{PIB_i}{POP_i} \quad (1)$$

Em que  $i$  é o índice do ano de projeção,  $RPC_i$  é a renda per capita no ano  $i$ , em R\$ por habitante,  $PIB_i$  é o produto interno bruto no ano  $i$ , em R\$ e  $POP_i$ , o cenário populacional no ano  $i$ .

O número total de domicílios é a relação entre a população e o número de habitantes por domicílio, segundo a Equação (2).

$$NDT_i = \frac{POP_i}{HABD_i} \quad (2)$$

$NDT_i$  representa o número total de domicílios no ano  $i$  e  $HABD_i$  representa o número de habitantes por domicílio no ano  $i$ .

A taxa de atendimento define a extensão e a penetração do serviço de energia elétrica e é representada pela relação entre o número de consumidores residenciais e o número de domicílios (EPE, 2011), conforme mostra a Equação (3).

$$TA_i = \frac{NCR_i}{DOM_i} \quad (3)$$

$TA_i$  é a taxa de atendimento no ano  $i$ ,  $NCR_i$  representa o número de consumidores no ano  $i$  e  $DOM_i$  representa o número de domicílios no ano  $i$ .

Ao considerar uma taxa de atendimento, define-se o número de domicílios atendidos pela Equação (4).

$$NDA_i = NTD_i \cdot TA_i + EXTER_i \quad (4)$$

$NDA_i$  é o número de domicílios atendidos no ano  $i$  e  $EXTER_i$  representa a externalidade no ano  $i$  (CASTELO BRANCO, 2003).

O efeito da renda no consumo é dado pela taxa de crescimento da renda em um determinado período considerado (CASTELO BRANCO, 2003), conforme Equação (5).

$$ER_i = \frac{RCP_i}{RCP_{i-k}} \quad (5)$$

$ER_i$  é o efeito da renda no ano  $i$ , em valores percentuais e  $k$  é o atraso de tempo (em anos) para cálculo da taxa de crescimento da renda.

O consumo por residência é influenciado pela renda do consumidor, de acordo com a Equação (6).

$$CPR1_i = CPR2_i \cdot (1 + ER_i) \quad (6)$$

$CPR1_i$  é o consumo por residência considerando apenas a renda do ano  $i$ , em MWh por domicílio e  $CPR2_i$  é a extrapolação do consumo por residência no ano  $i$ , também em MWh por domicílio.

A tarifa também influencia o consumo residencial e seu efeito é representado através da elasticidade entre consumo e tarifa, conforme Equação (7).

$$ET_i = TarProj_{i-n} \cdot Elast \quad (7)$$

$ET_i$  é o efeito da tarifa no ano  $i$ ,  $TarProj_{i-n}$  é o cenário tarifário em R\$ por MWh,  $n$  é o atraso de tempo (em anos) considerado no efeito da tarifa e  $Elast$  é a elasticidade do consumo em relação à tarifa.

Considerando o efeito da tarifa, o efeito da renda e a eficientização, obtém-se o consumo final por residência  $CPR_i$ , definido pela Equação (8).

$$CPR_i = CPR1_i \cdot (1 - ET_i - Ef_i) \quad (8)$$

$CPR_i$  é o consumo final por residência no ano  $i$ , em MWh/domicílio e  $Ef_i$  é a eficiência no ano  $i$ .

Trata-se, então, o consumo total da classe residencial  $CR_i$ , conforme Equação (9).

$$CR_i = CPR_i \cdot NDA_i - Conserv \quad (9)$$

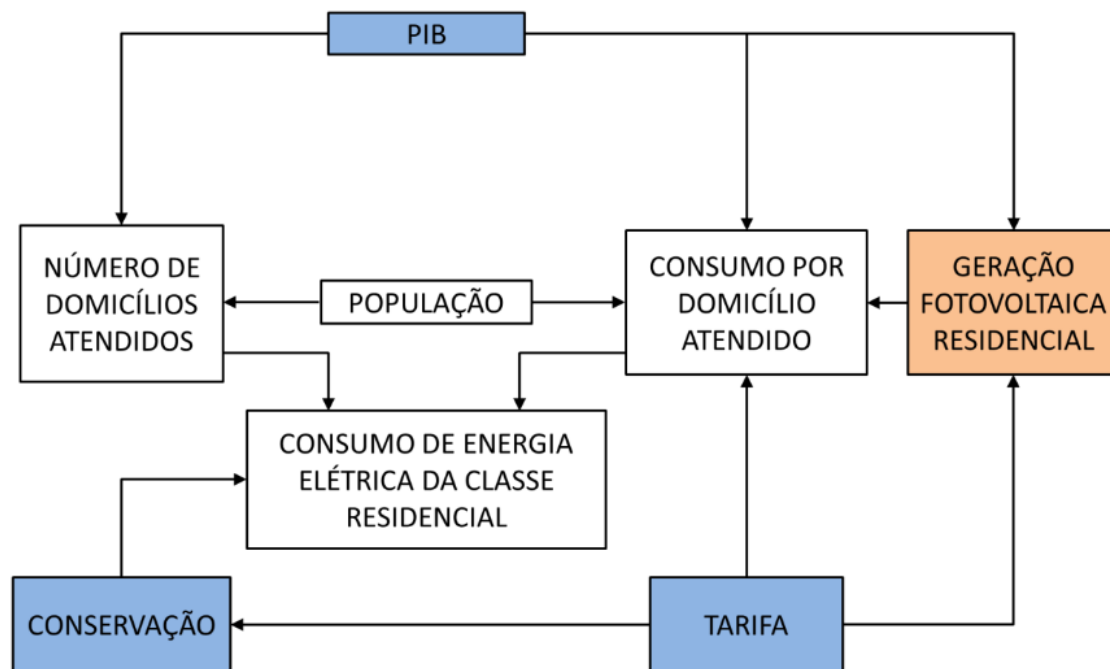
$CR_i$  é o consumo de toda classe residencial em MWh e  $Conserv$  é a conservação, também em MWh.

A partir da Resolução Normativa nº 482 de 2012 da ANEEL, aproveitamentos de até 1MW a partir de fontes eólica, hidráulica, fotovoltaica, biomassa ou geração qualificada podem participar do sistema de compensação de energia e o consumidor passa, então, a exercer também função de produtor, recebendo a denominação de prosumidor. Assim, a geração distribuída de pequeno porte (empreendimentos de até 1MW) tem efeito sobre o modelo de projeção de demanda proposto por Castelo Branco (2003). Neste sentido, Lautenschleger (2013) complementa a metodologia tradicional, conforme detalhado a seguir.

### 3.3 METODOLOGIA PROPOSTA POR LAUTENSCHLEGER

Considerando a limitação da metodologia e do modelo proposto por Castelo Branco (2003), um estudo inicial é abordado por Lautenschleger (2013), cuja proposta metodológica é ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Metodologia proposta por Lautenschleger para projeção da demanda residencial



Fonte: Lautenschleger (2013)

Lautenschleger (2013) inclui a parcela referente aos aproveitamentos fotovoltaicos, eólicos, hidráulicos, biomassa e geração qualificada. Esta nova parcela, não prevista nos modelos anteriores, contribui para a redução da projeção de demanda. A determinação do consumo final da classe residencial passa, então, a incluir uma nova parcela referente à micro e minigeração, conforme Equação (10).

$$CR_i = CPR_i \cdot NDA_i - Conserv - PFTR_i - PER_i - PHR_i - PBR_i - PGQR_i \quad (10)$$

Os termos  $PFTR_i$ ,  $PER_i$ ,  $PHR_i$ ,  $PBR_i$  e  $PGQR_i$  referem-se respectivamente à produção total residencial de aproveitamentos fotovoltaicos, eólicos, hidráulicos, biomassa e geração qualificada.

Para um modelo inicial, em que se deseja avaliar a viabilidade da micro e minigeração distribuída a ser conectada a rede em larga escala, é considerado apenas o uso de energia solar. Contudo, para uma modelagem completa deve-se considerar as demais formas de aproveitamentos.

O modelo proposto por Lautenschleger (2013) inclui uma taxa percentual de adesão à geração fotovoltaica, a qual é obtida por estimativas com base na renda per capita e índice de competitividade definido por ABINEE (2012) pela Equação (11).

$$IC_i = \frac{TarProj_i \text{ com impostos}}{CP_i} \quad (11)$$

$IC_i$  é o índice de competitividade no ano  $i$ ,  $TarProj_i$  com impostos é a tarifa projetada em R\$ por MWh, considerando impostos incidentes e  $CP_i$  é o custo de produção fotovoltaico, também em R\$ por MWh.

A tarifa projetada é obtida considerando as alíquotas dos impostos incidentes, conforme a Equação (12).

$$TarProj_i \text{ com impostos} = \frac{TarProj_i}{1 - PIS - COFINS - ICMS} \quad (12)$$

$TarProj_i$  é o cenário tarifário,  $PIS$  é a alíquota do Programa de Integração social,  $COFINS$  é a alíquota da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social e  $ICMS$  é a alíquota sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços

O número de domicílios com geração fotovoltaica é calculado pela Equação (13).

$$NDGF_i = NDA_i \cdot TXAD_i \quad (13)$$

$NDGF_i$  é o número de domicílios com geração fotovoltaica,  $NDA_i$  representa o número de domicílios atendidos no ano  $i$  e  $TXAD_i$  é a taxa percentual de adesão à geração fotovoltaica no ano  $i$ .

O consumo global da classe residencial considerando somente aproveitamentos fotovoltaicos passa a ser definido pela Equação (14).

$$CR_i = CPR_i \cdot NDA_i - Conserv - PFTR_i \quad (14)$$

$PFTR_i$  é a produção total de energia, em MWh, da classe residencial referente à micro e minigeração fotovoltaica no ano  $i$  (Lautenschlager, 2013) e é definido pela Equação (15).

$$PFTR_i = PRF_i \cdot NDGF_i \quad (15)$$

$PRF_i$  é a produção fotovoltaica anual por residência em MWh, definida pela Equação (16).

$$PRF_i = ArealInst_i \cdot \phi_i \cdot IMA \cdot FD \quad (16)$$

Em que  $ArealInst_i$  é a área em  $m^2$  de módulos fotovoltaicos instalados,  $\phi_i$  é a eficiência percentual dos módulos,  $IMA$  é a irradiação média anual em MWh por  $m^2$  e  $FD$  é o fator percentual de desempenho do sistema.

O modelo proposto por Lautenschlager foi inovador ao considera que o PIB, ao elevar a renda per capita, contribui para que mais consumidores possam custear a instalação sistemas de geração fotovoltaica. Também foi importante ao considerar que a tarifa, ao elevar-se, aumenta a competitividade da implantação do sistema de geração fotovoltaica, conforme Equação (11).

No entanto, o critério para taxa de adesão proposta por Lautenschleger é baseada em retorno do capital investido, desconsiderando os fatores comportamentais do consumidor de consciência ecológica e de exigência por continuidade no fornecimento de energia, o que é considerado no presente estudo.

## 4 METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia aqui proposta segue a metodologia de Lautenschleger, detalhada no capítulo anterior e ilustrada na Figura 3, com melhorias na modelagem da taxa de adesão à geração fotovoltaica. As melhorias consistem em incluir novas variáveis, como comportamento do consumidor, consciência ecológica, continuidade do fornecimento de energia, condição de ocupação dos domicílios e tipo de domicílio. Este estudo propõe, também, uma abordagem alternativa a Lautenschleger referente à renda familiar e ao retorno financeiro do investimento para modelar a taxa de adesão, que passa a ser baseada na distribuição estatística de Weibull e na técnica de *payback* descontado.

*Payback* é o tempo decorrido entre o investimento inicial e o momento no qual o lucro líquido acumulado se iguala ao valor desse investimento. Neste estudo, o lucro se resume ao valor, em Reais, economizado na fatura de energia elétrica devido ao montante de energia gerada a partir do sistema fotovoltaico instalado na unidade consumidora. A técnica de *payback* descontado é utilizada por considerar o custo do capital, fator essencial para se obter um modelo mais preciso em projeções mais longínquas.

Para o cálculo da projeção de demanda da classe residencial, faz-se uso da modelagem matemática proposta por Castelo Branco (2003) e das equações (12) a (15) propostas por Lautenschleger (2013).

### 4.1 TAXA DE ADESÃO À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA COM BASE NA DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

O estudo em questão utiliza o modelo proposto por Macauley (2003), publicado no artigo “*Effects of Carbon Policies and Technological Change on Consumer Surplus in Electricity Generation*” (2003), para avaliar a inserção de microgeração fotovoltaica. Os parâmetros de forma e de escala adotados neste estudo são os definidos por Macauley para o cenário “*Fast Adoption*” e foram escolhidos com base no estudo de penetração de tecnologias renováveis em países como Alemanha, Índia Estados Unidos.

Quadro 5 - Parâmetros Weibull adotados

Parâmetro de forma ( $\beta$ )	0,1
Parâmetro de escala ( $\eta$ )	3,5

Fonte: Macauley (2003)

O modelo de penetração da tecnologia fotovoltaica é obtido com base no retorno financeiro dos custos de instalação dos módulos fotovoltaicos. Adotou-se a técnica de *Payback* Descontado, considerando uma atualização monetária nos mesmos moldes



proposto por Maia et. al. (2013). O modelo aqui proposto para taxa de adesão é, então, obtido da equação função densidade de probabilidade (f.d.p.) com os parâmetros de forma e escala definidos no Quadro 5. Para o modelo proposto, que considera como base de cálculo o *payback* anual, são desprezados atrasos referentes ao tempo de instalação dos módulos e, portanto, o parâmetro de atraso se torna nulo. A taxa de adesão é definida pela Equação (17).

$$Tx(p)_i = \frac{\beta}{\eta^\beta} (p_i)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{p_i}{\eta}\right)^\beta} \quad (17)$$

Em que  $Tx(p)_i$  representa a taxa de adesão à tecnologia fotovoltaica no ano  $i$ , em %,  $p_i$  é o Payback no ano  $i$ , em anos,  $\beta$  e  $\eta$  são respectivamente os parâmetros de forma e escala, constantes e definidos no Quadro 5.

Seguindo o modelo proposto por Maia et. al. (2013), adotou-se fatores de correção para a função estatística distribuição de Weibull referentes ao tipo de domicílios, ao percentual de domicílios com renda superior a 10 salários mínimos (renda considerada necessária para cobrir custos de instalação), à condição de ocupação, ao comportamento da população e aos indicadores de continuidade do serviço. Considerou-se a evolução desses percentuais ao longo do ano.

Forma-se assim a taxa de adesão à tecnologia fotovoltaica definida na Equação (18).

$$Txf(p)_i = Tx(p)_i \cdot F_{co} \cdot F_{renda_i} \cdot F_{vert_i} \cdot F_{cont_i} \cdot F_{comp_i} \quad (18)$$

Os fatores  $F_{co}$ ,  $F_{renda_i}$ ,  $F_{vert_i}$ ,  $F_{cont_i}$  e  $F_{comp_i}$  são adimensionais. As Taxas  $Txf(p)_i$  e  $Tx(p)_i$  são dadas em valores percentuais.

#### 4.1.1 Fator de Correção Referente à Condição de Ocupação

O fator de correção referente à condição de ocupação,  $F_{co}$ , mede o percentual de domicílios próprios, pois se entende que devido aos elevados custos de instalação dos módulos fotovoltaicos torna-se impraticável a instalação em domicílios alugados ou cedidos.

$F_{co}$  é dado em valores percentuais e definido pela Equação (19).

$$F_{co} = \frac{\text{domicílios próprios}}{\text{total de domicílio}} \quad (19)$$

Considera-se que somente os domicílios próprios são potenciais aderentes à tecnologia fotovoltaica. Assume-se, também, que esse valor é mantido constante ao longo dos anos, uma vez que, com base na análise histórica a partir de 2000, não há significativa alteração deste índice e as alterações observadas entre a década de 80 e anos 2000 ocorreram principalmente devido às externalidades como programas do

governo de financiamento ao primeiro imóvel. O Quadro 6 mostra a evolução do percentual de domicílios próprios com base nas informações dos censos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 para o Rio Grande do Sul (estudo de caso do presente trabalho).

Quadro 6 - Domicílios próprios

ANO	% DE DOMICÍLIOS PRÓPRIOS
1970	69,97
1980	69,41
1991	73,97
2000	78,87
2010	78,05

Fonte: Adaptado de IBGE (2014)

#### 4.1.2 Fator de Correção Referente à Renda

O fator de correção referente à renda,  $F_{renda_i}$ , indica o percentual de domicílios que, no futuro, terão renda equivalente aos 10 salários mínimos atuais. Para formulação deste fator, considera-se o percentual de domicílios com renda igual ou maior a 10 salários mínimos e a evolução ao longo dos anos com base no crescimento do PIB, conforme a Equação (20).

$$F_{renda_i} = PD_{10 \text{ sal.mínimos ano ref}} \cdot \frac{PIB_{PER\ CAPITA_i}}{PIB_{PER\ CAPITA_{i-ano\ ref}}} \quad (20)$$

Em que  $PIB_{PER\ CAPITA_i}$  representa renda per capita no ano  $i$ , em Reais,  $PD_{10 \text{ sal.mínimos ano ref}}$  é o percentual de domicílios com renda superior a 10 salários mínimos no ano de referência do estudo.

#### 4.1.3 Fator de Correção de Verticalização

O fator de correção de verticalização,  $F_{vert_i}$ , representa o percentual de casas em relação ao total de domicílios em ambientes urbanos e considera uma evolução da chamada verticalização (crescimento do número de edifícios) observada nos grandes centros do país. São considerados, neste estudo, somente domicílios tipo casa como potenciais aderentes à tecnologia fotovoltaica.

No contexto atual de urbanização do país, observa-se que a verticalização das cidades brasileiras possui uma relação direta com a evolução da densidade demográfica.

A Equação (21) define o fator de verticalização.

$$F_{vert_i} = P_{tipo\ dom\ no\ ano\ ref} \cdot \frac{Dens.Dem.\ i-ano\ ref}{Dens.Dem.\ i} \cdot \frac{Tx_{urb.\ i-ano\ ref}}{Tx_{urb.\ i}} \quad (21)$$

A relação  $\frac{Dens.Dem.i-1}{Dens.Dem.i}$  pode ser compreendida da seguinte forma, à medida que uma determinada área se torna mais densamente povoada, há um crescimento do percentual de domicílios tipo apartamento o que acarreta redução da taxa de adesão.

A taxa de urbanização é um indicador de percentual da população residente em meio urbano e, por consequência, integrante da classe residencial tarifária B1, conforme Anexo 3. A relação  $\frac{T_{urb.i-1}}{T_{urb.i}}$  representa a evolução da urbanização.

#### 4.1.4 Fator de Correção Referente à Continuidade do Serviço

O fator de correção referente à continuidade do fornecimento de energia elétrica é um indicador de como frequentes interrupções de fornecimento e a demora no restabelecimento do serviço influenciam na decisão do consumidor em obter um fonte alternativa de energia. Esse fator é construído com base nos indicadores de frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC) e de duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC), calculados pelas Equações (22) e (23), respectivamente.

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i)}{C_s} \quad (22)$$

Em que  $C_a(i)$  é o número de consumidores do conjunto considerado atingido por interrupções,  $i$  é o número de interrupções e  $C_s$  é o número total de consumidores do conjunto. O indicador FEC é adimensional e DEC é dado em unidade de tempo.

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^n C_a(i) \cdot T(i)}{C_s} \quad (23)$$

$T(i)$  é o tempo de duração de cada interrupção do conjunto de consumidores considerado, em unidade de tempo.

O indicador FEC é adimensional e DEC é medido em unidade de tempo.

O fator de continuidade é, então, definido pela Equação 24.

$$F_{cont_i} = \frac{FEC_i}{K \cdot FEC_{Limite}} \cdot \frac{DEC_i}{k \cdot DEC_{Limite}} \quad (24)$$

Os indicadores  $FEC_{Limite}$  e  $DEC_{Limite}$  representam os limites estipulados pela ANEEL por conjunto de FEC e DEC e  $k$  é um fator adimensional que representa o grau de exigência do consumidor em contraponto a evolução dos indicadores limites estipulados pela agência reguladora.

#### 4.1.5 Fator de Correção Referente ao Comportamento da População

O fator de correção referente ao comportamento da população,  $F_{comp\_i}$ , representa uma consciência ecológica e uma preocupação em gerar energia de forma sustentável. Este fator considera o tempo médio de escolaridade da população avaliada, o percentual da população que concluiu o ensino médio e o percentual que concluiu o ensino superior, visto que os conceitos de sustentabilidade e de consciência ecológica estão amplamente difundidos nas escolas e nas universidades brasileiras.  $F_{comp\_i}$  é adimensional e representa um indicador de ponderação para adesão à geração fotovoltaica, sendo unitário para o ano de referência.

A Equação (25) define o fator de comportamento da população.

$$F_{comp\_i} = F_{comp_{i-1}} \cdot \frac{P_{Ensino\ Médio\ i}}{P_{Ensino\ Médio\ i-1}} \cdot \frac{P_{Ensino\ Superior\ i}}{P_{Ensino\ Superior\ i-1}} \cdot \frac{E_i}{E_{i-1}} \quad (25)$$

Em que  $P_{Ensino\ Médio\ i}$  é o percentual da população que concluiu o ensino médio,  $P_{Ensino\ Superior\ i}$  é o percentual da população que concluiu o ensino superior e  $E_i$  é o Índice de Educação, indicador que compõem o cálculo do Índice de Desenvolvimento Médio (IDH-M), conforme Quadro 28 do Anexo 5.

#### 4.2 PRODUÇÃO ANUAL FOTOVOLTAICA

A produção anual fotovoltaica por residência é obtida com base na potência instalada por residência, no fator de capacidade e no fator de desempenho dos módulos que considera perdas nos inversores, perdas ôhmicas, sombreamento e acúmulo de sujeira nos módulos.

$PRF_i$  é a produção fotovoltaica anual por residência em MWh, definida pela Equação (26).

$$PRF_i = FC \cdot FD \cdot PI \cdot 24 \cdot 365 \quad (26)$$

Em que  $FC$  é o fator de capacidade, em %, e  $PI$  é a potência do sistema fotovoltaico em KWp e  $FD$  é o fator de desempenho, em %.

Para avaliação da metodologia proposta neste trabalho, o próximo capítulo faz uma aplicação, através de um estudo de caso para o Rio Grande do Sul.

## 5 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso é realizado no estado do Rio Grande do Sul e aborda não só as concessionárias Rio Grande Energia (RGE), AES-SUL e Companhia de Estadual de Energia Elétrica (CEEE-D), mas também as 15 permissionárias e cooperativas atuantes no estado (CERTEL, CERMISSÕES, CRELUZ, CERILUZ, COPREL, CERFOX, CRERAL, CELETRO, CERTAJA, CERTHIL, COOPERLUZ, COOPERSUL, CERVALE, COOPERNORTE E COSEL).

As permissionárias são as cooperativas de distribuição de energia que atendem, em sua maioria, áreas rurais. São consideradas neste estudo as subclasses residencial e residencial rural.

### 5.1 CUSTOS DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com o uso do sistema de Compensação de Energia, o critério adotado para viabilizar economicamente a adesão à mini e microgeração distribuída é o valor da tarifa final de fornecimento das distribuidoras, pois os créditos gerados em energia serão abatidos da fatura do consumidor. O sistema será, então, viável se a soma do valor gasto para instalar painéis fotovoltaicos, dos custos de adequação dos medidores e dos custos de operação e manutenção for menor que os gastos que o consumidor incorre com a compra de energia elétrica da distribuidora.

O cálculo de retorno do investimento (*payback*) considera o montante de energia gerada no ano e a média tarifária anual. Considerou-se um custo de disponibilidade que, segundo o art. 98 da Resolução Normativa 414 de 2010 (ANEEL, 2010), é o valor em moeda corrente equivalente a 100 kWh para clientes trifásicos, 50 kWh para bifásicos a três condutores 30 kWh para monofásicos ou bifásicos a dois condutores. Para compensar eventuais créditos não aproveitáveis devido a períodos de baixo consumo e ao custo de disponibilidade, estimou-se um fator de desperdício de 5% da energia gerada.

Neste estudo, foi considerado a pesquisa de mercado nacional feita por ABINEE em “Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira” de 2012 para uma instalação residencial de 3 kW. O Quadro 7 mostra os resultados publicados pela ABINEE (2012).

Quadro 7 - Custo de instalação de um sistema residencial de 3 kW

<b>Componente</b>	<b>Custo (em R\$)</b>
Módulos e inversores	11605,00
Cabos e proteções	2250,00
Sistema de fixação	3750,00
Demais custos (conexão, projeto, etc.)	3750,00
<b>TOTAL</b>	<b>21359,00</b>

Fonte: ABINEE (2012)

De um custo total de R\$ 21359,00 para uma potência instalada de 3 kW obtém-se um total de R\$ 7,12 por Watt instalado. Contudo, são considerados também custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação, definida por ABINEE (2012) pela Equação (27).

$$CP = \frac{CAPEX + VP(opex)}{VP(ep)} \quad (27)$$

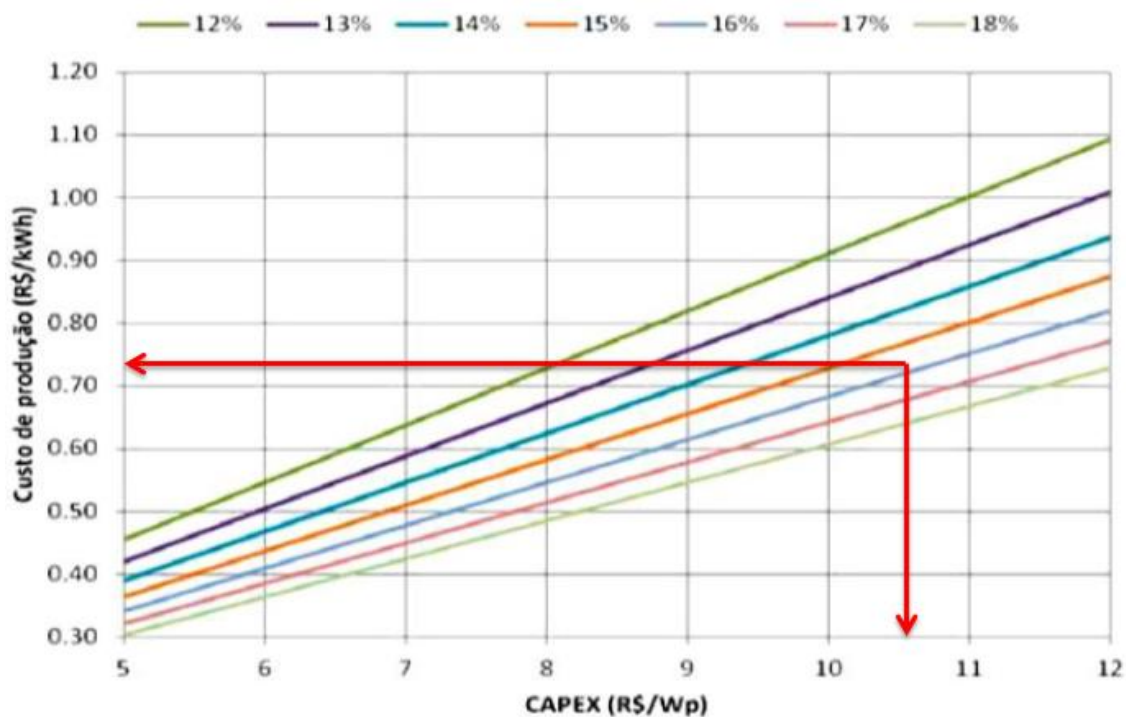
Em que CP representa o custo total de produção (em R\$ por kWh), CAPEX é o custo de investimento do sistema fotovoltaico (em R\$) conforme Quadro 7, VP(opex) é o valor presente de custos de operação e manutenção ao longo da vida útil da instalação e VP(ep) representa a energia produzida ao longo da vida útil da instalação. O custo de produção (CP) comparado à tarifa paga à concessionária serve como análise inicial para verificar a viabilidade do investimento.

De acordo com ABINEE (2012), o custo anual de operação e manutenção é estimado em 1% do custo de investimento. Considerou-se ainda uma vida útil de 25 anos para o sistema fotovoltaico e uma redução de 0,75% ao ano relativo à redução de eficiência das células. Admitiu-se ainda uma taxa de desconto anual de 7,5% (referente ao custo do capital), uma eficiência global de conversão de corrente contínua para alternada de 78% e uma redução de 0,45% na eficiência dos módulos para cada grau de temperatura acima de 25°C (ABINEE, 2012).

Ao custo médio de R\$ 7,12 por Watt instalado no Rio Grande do Sul, foi adicionado um percentual de 30% referente ao custo estimado com a empresa responsável pela integração para instalação do sistema (mão-de-obra). Considerou-se também o percentual de 20% referente ao custo de instalação de baterias e reguladores de carga para os prosumidores que optarem pela geração fotovoltaica por possuírem indicadores de continuidade de serviço insatisfatórios em suas instalações. O custo total final é de R\$ 10,7 por Watt instalado.

A Figura 4 ilustra o custo de produção de energia (R\$ por kWh) para faixas de custo de instalação e a Figura 5, um mapa do Brasil que indica a viabilidade para clientes de baixa tensão.

Figura 4 - Custo de produção de energia fotovoltaica

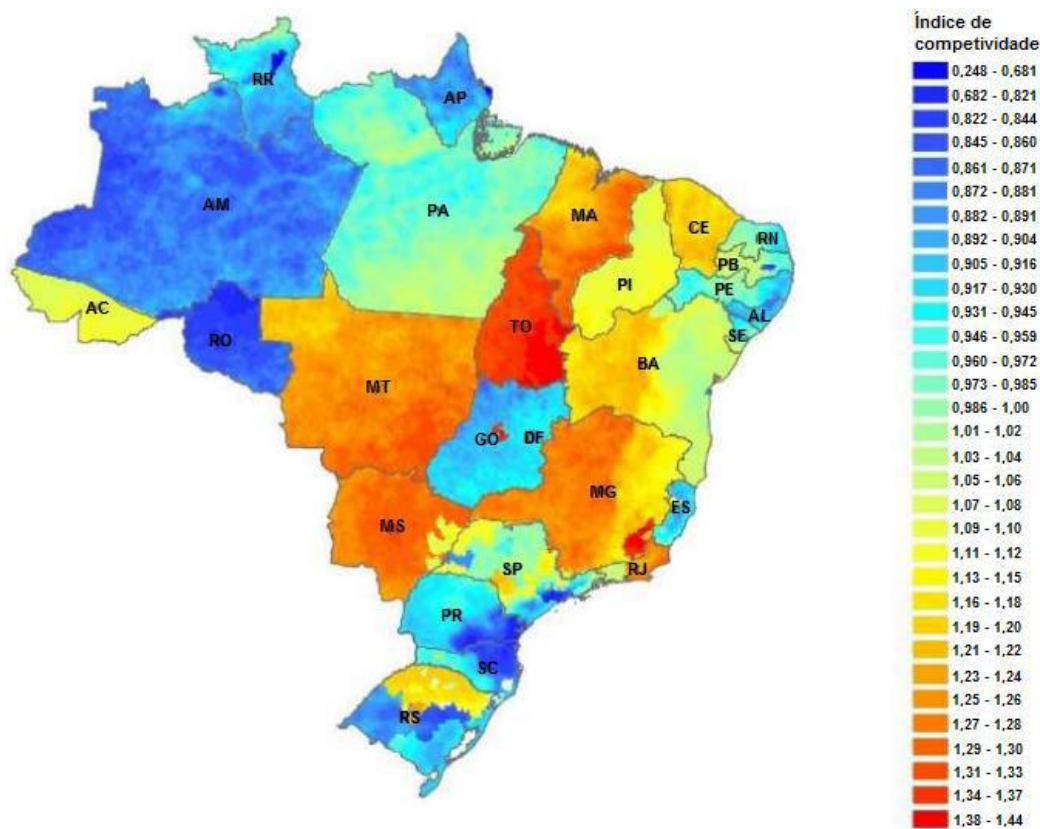


Fonte: ABINEE (2012)

Para a curva com fator de capacidade de 16% (valor estimado para Rio Grande do Sul) e um custo de instalação de 10,7 R\$ por Watt, observa-se um custo de produção (CP) em torno de R\$ 0,70 por kWh. Valor um pouco acima da tarifa de energia de clientes residenciais praticado atualmente pelas concessionárias no Rio Grande do Sul, considerando os impostos incidentes.

A Figura 5 apresenta o mapa de viabilidade de empreendimentos fotovoltaicos de baixa tensão. As cores denotam a competitividade de sistemas fotovoltaicos de acordo com a seguinte convenção: quanto maior o índice de competitividade (vermelho), mais viável é o empreendimento.

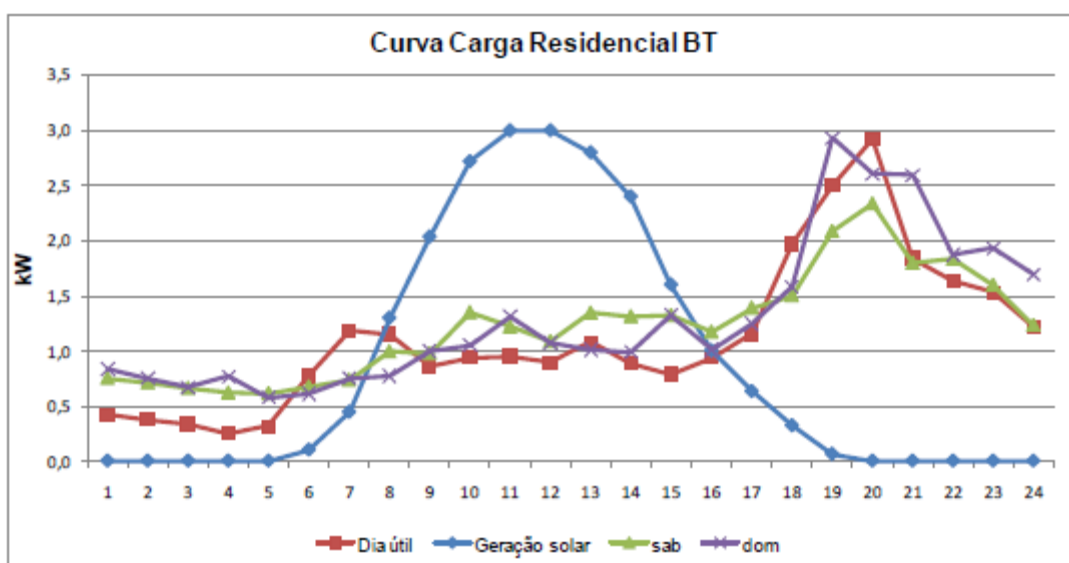
Figura 5 - Mapa de viabilidade de empreendimentos fotovoltaicos de baixa tensão



Fonte: ABINEE (2012)

A Figura 6 mostra a curva típica de um consumidor residencial de baixa tensão para dias de semana, sábados e domingos e a curva de geração solar fotovoltaico, ilustrando a troca de energia entre concessionária e *prosumidor* ao longo do dia.

Figura 6 - Curva de carga de um consumidor de baixa tensão



Fonte: ANEEL (2012)



## 5.2 CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS

A construção de cenários tem como objetivo projetar diferentes trajetórias de inserção de geração fotovoltaica distribuída em hipóteses futuras. Godet (1993) define cenário como “conjunto formado pela descrição coerente de uma situação futura”. O estudo de diferentes cenários possibilita uma melhor visualização das diferentes trajetórias, tornando possível antecipar ações e decisões e com isso, melhorando o planejamento estratégico. Porto (2001) define cenário como “*jogos coerentes de hipóteses que oferecem visões plurais de futuro para iluminar as decisões do presente*”.

Para o estudo em questão, são considerados três cenários de projeção de demanda de energia elétrica no Rio Grande do Sul, com a inserção da microgeração fotovoltaica.

O cenário “dinheiro é o que importa” apresenta uma adesão em ritmo lento à geração fotovoltaica devido ao baixo crescimento econômico e elevada inflação, que somados à falta de incentivos por parte do governo para gerar energia a partir de fontes renováveis, reflete na capacidade do consumidor custear a instalação do sistema de geração fotovoltaica. O baixo crescimento econômico também impacta a demanda de energia que cresce abaixo do esperado, ocasionando em atualização tarifária menos acentuada.

O cenário “sustentabilidade é o objetivo” é marcado por um crescimento econômico acima da média mundial e inflação em níveis controlados abaixo da média dos últimos anos. Surgem incentivos de forma discreta à geração de energia a partir de fontes renováveis, que ajudam nos custos iniciais de instalação. A demanda por energia elétrica cresce no ritmo observado nos últimos anos, fazendo com que a tarifa projetada seja atualizada seguindo à média histórica. Este cenário apresenta uma adesão em ritmo moderado à geração fotovoltaica.

O cenário “salvem o planeta” apresenta acelerada adesão à geração fotovoltaica. Este cenário é marcado por elevado crescimento econômico e baixos níveis de inflação. Há também incentivos, por parte do governo, através de subsídio para custear a instalação do sistema fotovoltaico e gerar energia através de fontes renováveis. O crescimento econômico acelerado faz a demanda por energia crescer acima dos níveis observados nos últimos anos. Aliado a isso, a necessidade de investimentos no sistema elétrico brasileiro impacta na tarifa residencial, que apresenta um aumento muito acima do observado nos últimos anos.

Em todos cenários, foi considerado um custo instalado de 10,7 R\$ por Watt instalado para a classe residencial para um sistema de 3 KW e um fator de capacidade para região sul de 16% conforme o Atlas Solarimétrico do Brasil (CEPEL, 2013).

As premissas de subsídio, crédito tarifário e deflação que caracterizam os três diferentes cenários são adotadas com base no modelo proposto por Maia et. al. (2013) e ilustradas no Quadro 8.

Quadro 8 - Premissas para construção da taxa de adesão

	<b>Dinheiro é o que importa</b>	<b>Sustentabilidade é o objetivo</b>	<b>Salvem o planeta</b>
<b>Deflação</b>	4% a.a.	5% a.a.	6% a.a.
<b>Crédito</b>	0	0	0,02 a 0,04 R\$/kWh
<b>Subsídio</b>	0	20%	30%

Fonte: MAIA et. al. (2013)

A deflação é uma estimativa de redução do preço da tecnologia no horizonte estudado. Assim, uma deflação de 4% a.a. significa que há redução de 4% do custo de instalação ao ano.

Crédito é uma forma de incentivo do governo dado ao prosumidor para ele gerar energia a partir de fontes renováveis. Há crédito para o cenário “salvem o planeta” de 0,04 R\$ por kWh até 2020 e depois de 0,02 R\$ por kWh até 2030.

O subsídio é uma forma de incentivo do governo dado ao consumidor como subsídio para os custos de instalação da tecnologia. Há subsídio de 20% no cenário “sustentabilidade é o objetivo” até 2016. A partir de 2017, acaba o subsídio. Para o cenário “salvem o planeta”, há 30% no cenário até 2020, quando então acaba o subsídio.

### 5.2.1 Variáveis de Cenário

São consideradas variáveis de cenário para projeção de demanda:

- PIB e por consequência a renda per capita;
- Tarifa;
- Efeito da renda;
- Efeito da tarifa; e
- Produção fotovoltaica.

As premissas usadas para projeção do PIB e da tarifa são ilustradas no Quadro 9. O efeito da renda e o efeito da tarifa dependem, respectivamente, da renda e da tarifa e são definidas pelas Equações (5) e (7). A produção fotovoltaica é também variável de cenário e está apresentada no Quadro 14 da seção 5.4.

Quadro 9 - Variáveis de cenário

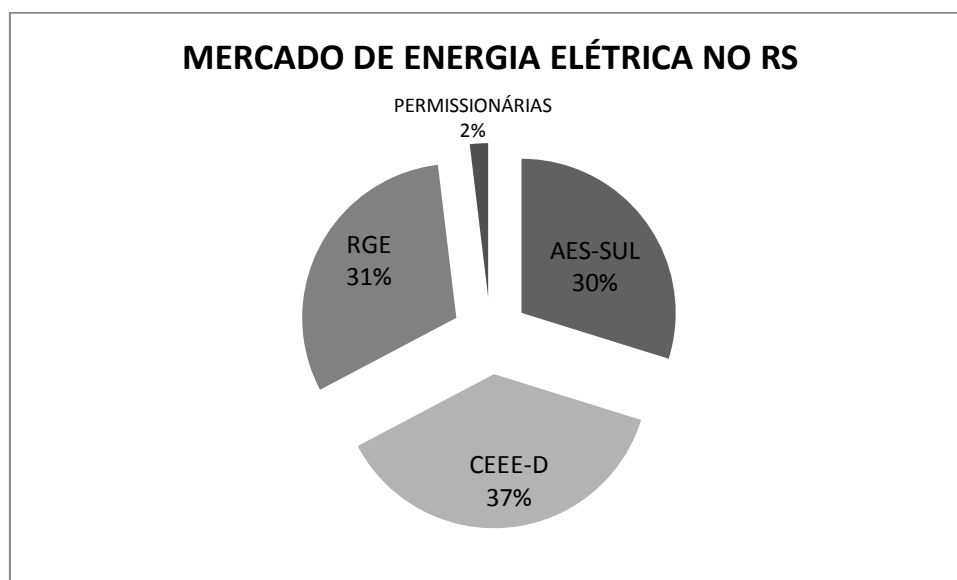
Variável	Premissas básicas de Cenário			Fonte
	Dinheiro é o que importa	Sustentabilidade é o objetivo	Salvem o planeta	
<b>PIB</b>	Crescimento de 3,2% a.a.	Crescimento de 4,1% a.a.	Crescimento de 5,1% a.a.	PNE 2030
<b>Tarifa</b>	Redução de 10% na projeção da tarifa aplicada aos consumidores finais a partir de 2015.	Cenário de referência para projeção com base em ajuste de curva à série histórica.	Aumento de 20% na projeção da tarifa aplicada aos consumidores finais a partir de 2015.	O autor

Fonte: O autor

A tarifa média paga pelo consumidor é projetada com base em ajuste de curva da série histórica tarifária das concessionárias, das permissionárias e das cooperativas atuantes no Rio Grande do Sul. As informações tarifárias são disponibilizadas pela ANEEL através de relatórios do sistema de apoio à decisão (SAD) no próprio endereço eletrônico da agência. A tarifa média projetada para cada cenário é mostrada no Quadro 21 do Anexo 5.

Assumiu-se, com base na análise histórica, que não há alteração na fatia de mercado das concessionárias e das permissionárias e as parcelas referentes a 2013 foram mantidas constantes até 2030, conforme Figura 7. A fatia de mercado tem importância para o cálculo da tarifa média paga pelo consumidor no estado.

Figura 7 - Fatia de mercado de energia elétrica no RS



Fonte: O autor

### 5.2.2 Variáveis comuns aos cenários

As variáveis comuns aos três cenários são:

- Crescimento populacional (e conseqüentemente evolução da densidade demográfica);
- Número de domicílios permanentes;
- Relação de habitantes por domicílio;
- Taxa de urbanização;
- Relação entre domicílios particulares urbanos e rurais;
- Relação entre domicílios próprios e alugados;
- Projeção dos indicadores de continuidade de serviço;
- Externalidades;
- Eficientização; e
- Elasticidade.

A projeção dos indicadores de continuidade de serviço é a mesma para os três cenários, contudo o fator de continuidade que compõe a taxa de adesão, definido pela Equação (24) varia conforme o cenário. O Quadro 10 resume as premissas comuns aos cenários.

Quadro 10 - Variáveis comuns aos cenários

Variável	Premissa	Fonte
População	População projetada até 2030 de acordo com estudo do IBGE.	IBGE
Número de domicílios permanentes	Extrapolação a partir de ajuste de curva à série histórica.	IBGE
Taxa de urbanização	Extrapolação a partir de ajuste de curva à série histórica.	EPE
Relação entre domicílios particulares urbanos e rurais	Extrapolação a partir de ajuste de curva à série histórica.	IBGE
Relação entre domicílios próprios e total de domicílios	Constante e igual a 0,78 com base em análise histórica.	IBGE
Projeção dos indicadores de continuidade de serviço	Projeção baseada em análise da série histórica das distribuidoras estudadas e da concessionária norte americana PacifiCorp.	ANEEL e Murray (2012)
Externalidades	Consumidores atendidos pelo programa luz para todos no Rio Grande do Sul.	Programa luz para todos
Elasticidade	0,0000451 MWh/R\$	Castelo Branco (EPE)

Fonte: O autor

As projeções de densidade demográfica foram feitas com base na estimativa de crescimento populacional para o Rio Grande do Sul, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) até o ano de 2030. Para a taxa de urbanização no estado, foram adotadas as projeções feitas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) até o horizonte adotado. A projeção das variáveis comuns em todos os cenários é mostrada nos Quadros 27 e 28 do Anexo 5.

As informações referentes aos domicílios como percentual de domicílio alugados, percentual de domicílios tipo casa, percentual de domicílios urbanos e percentual de domicílios com renda igual ou superior a 10 salários mínimos são obtidos pelo censo demográfico de 2010 e são disponibilizados pelo IBGE. Em 2014, o percentual de domicílios com renda igual ou superior a 10 salários mínimos é de 13,6%, conforme fator de renda do Quadro 29 do Anexo 5.

As externalidades adotadas são referentes ao programa Luz para Todos do Governo Federal e são iguais à zero a partir do ano 2013 quando se encerrou o programa no estado do Rio Grande do Sul, conforme Quadro 11.

Quadro 11 - Externalidades

Ano	Externalidades (domicílios)
2008	19204
2009	10058
2010	7649
2011	3826
2012	2243
2013	0
2014	0

Fonte: Programa luz para todos

Para o cálculo da projeção de demanda baseada na metodologia tradicional modificada utilizou-se as premissas adotadas por Castelo Branco (2003). Informações históricas do consumo de energia elétrica no estado são obtidas do Ministério de Minas e Energia. A elasticidade consumo por renda é obtido da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), estimada em 0,0000451 MWh por R\$.

A eficiência e a conservação são as mesmas consideradas por Castelo Branco (2003), devido a não divulgação destes índices por parte de algumas concessionárias.

### 5.3 CONSTRUÇÃO DA TAXA DE ADESÃO

Para construir a taxa de adesão fez-se uso da técnica de *payback* descontado considerando um equivalente financeiro, na unidade monetária vigente, da energia

gerada com base nos valores tarifários projetados. Os Quadros 23, 24 e 25 do Anexo 5 mostram os custos de instalação e o retorno do investimento nos três cenários para o horizonte adotado.

A média anual dos indicadores de continuidade DEC e FEC por concessionária é disponibilizada pela ANEEL. Foi feito, então, uma média para o RS destes indicadores com base na fatia de mercado de cada concessionária. Para as permissionárias, em que esses indicadores passaram a ser medidos a partir de 2012, fez-se a média dos indicadores nos anos de 2012 e 2013 e assumiu-se que a evolução dos indicadores seguirá no mesmo ritmo das concessionárias.

Para a projeção dos indicadores FEC e DEC, analisou-se o comportamento histórico desses indicadores no período entre 2000 e 2013 e assumiu-se que a partir de 2015 haverá uma desaceleração na melhoria desses indicadores, considerando que os investimentos necessários para manutenção das melhorias desses indicadores no estágio em que se encontra o sistema elétrico atual aumentam consideravelmente. Tomou-se, então, como base o comportamento de uma concessionária dos Estados Unidos, a *PacifiCorp* (PAC) no estado de *Oregon*, por possuir, de acordo com Murray (2012), uma condição mista de grandes centros e extensas áreas rurais isoladas, característica também observada no Rio Grande do Sul.

As Equações (28) e (29) estimam valores futuros para os indicadores DEC e FEC, respectivamente.

$$DEC_i = 2.10^{20} \cdot e^{-0,022 \cdot ano_i} + 4,27 \quad (28)$$

$$FEC_i = 5.10^{36} \cdot e^{-0,0409 \cdot ano_i} + 1,54 \quad (29)$$

As parcelas 4,27 e 1,54 somadas nas Equações (28) e (29) representam os indicadores DEC e FEC médios da *PacifiCorp* em *Oregon* e esses valores se mantem praticamente constantes nos últimos anos, indicando uma situação na qual investimentos para melhoria destes indicadores tornam-se praticamente impraticáveis. Isso não significa que localidades com predominância de redes subterrâneas não atinjam índices menores, como é o caso de alguns conjuntos estudados na cidade de Nova Iorque em que esses indicadores chegam a valores menores que a unidade. Mas essa não é a realidade brasileira e, por isso, adotou-se como referência para um futuro distante (além do horizonte adotado nesse estudo) os indicadores da *PacifiCorp*.

A ANEEL estipulou os valores limites dos indicadores até 2018. A partir de 2019 foi feita uma projeção com base em um comportamento histórico de característica exponencial. Modelou-se o comportamento do indicadores DEC e FEC limites pelas Equações (30) e (31), respectivamente.

$$DEC_{limite_i} = 4.10^{47} \times e^{-0,05345 \cdot ano_i} + 5 \quad (30)$$

$$FEC_{limite_i} = 4.10^{55} \times e^{-0,063 \cdot ano_i} + 5 \quad (31)$$

Em que “ano” representa o ano da projeção e a constante 5 foi estimada para representar a projeção desses indicadores no horizonte de 2030 de forma plausível. Os indicadores DEC, FEC, DEC limite e FEC limite projetados são ilustrados no Quadro 22 do Anexo 5.

O grau de exigência do consumidor em contraponto a evolução dos indicadores limites estipulados pela agência reguladora, descrito na Equação (24) pelo índice  $k$  é variável conforme o cenário e ao longo do horizonte projetado, como mostra o Quadro 12.

Quadro 12 - Grau de exigência do consumidor em contraponto a evolução dos indicadores DEC limite e FEC limite

ANO	Cenários		
	Dinheiro é o que importa	Sustentabilidade é o objetivo	Salvem o planeta
2014	1	1	0,925
2015	1	1	0,925
2016	1	1	0,925
2017	1	1	0,925
2018	1	1	0,925
2019	1	1	0,925
2020	1	1	0,925
2021	1	0,925	0,875
2022	1	0,925	0,875
2023	1	0,925	0,875
2024	1	0,925	0,875
2025	1	0,925	0,875
2026	1	0,875	0,75
2027	1	0,875	0,75
2028	1	0,875	0,75
2029	1	0,875	0,75
2030	1	0,875	0,75

Fonte: O autor

#### 5.4 RESULTADOS

A projeção de consumo da classe residencial é feita com base nas equações descritas nas seções 4.3, 6.1 e 6.2 combinadas com as premissas e dados das seções 7.1, 7.2 e 7.3.

O Quadro 13 apresenta a taxa de adesão à geração fotovoltaica.

Quadro 13 - Taxa de adesão à geração fotovoltaica

ANO	Taxa de Adesão por cenário		
	Dinheiro é o que importa (%)	Sustentabilidade é o objetivo (%)	Salvem o planeta (%)
2014	0,012	0,017	0,026
2015	0,015	0,022	0,036
2016	0,019	0,029	0,052
2017	0,023	0,032	0,076
2018	0,029	0,043	0,109
2019	0,036	0,056	0,153
2020	0,040	0,067	0,197
2021	0,045	0,094	0,203
2022	0,050	0,113	0,260
2023	0,056	0,135	0,335
2024	0,062	0,162	0,430
2025	0,069	0,194	0,751
2026	0,077	0,259	0,963
2027	0,086	0,310	1,234
2028	0,096	0,370	1,580
2029	0,106	0,442	2,023
2030	0,118	0,528	2,588

Fonte: O autor

A partir do Quadro 13, verifica-se o baixo percentual de prosumidores que aderem à geração fotovoltaica no cenário “dinheiro é o que importa”, quando o critério é predominantemente baseado em retorno financeiro do capital investido e faltam políticas de incentivos à geração de energia por fontes renováveis. Para o cenário “salvem o planeta”, em que a consciência ecológica e a exigência do prosumidor por qualidade no fornecimento de energia elétrica, aliada à forte intervenção do estado através de subsídios à geração fotovoltaica, aumenta consideravelmente o percentual de prosumidores que optam por instalar painéis solares em suas residências, chegando a aproximadamente 2,6 % de domicílios em 2030.

O Quadro 14 apresenta o total de produção anual fotovoltaica da classe residencial, conforme Equação (15). Verifica-se a relação direta entre a taxa de adesão e a produção anual fotovoltaica, de forma que o cenário mais otimista à geração fotovoltaica apresenta, em 2030, uma produção fotovoltaica total da classe residencial de 490,93 GWh, equivalente a 4,45% do consumo global da classe residencial em 2030.



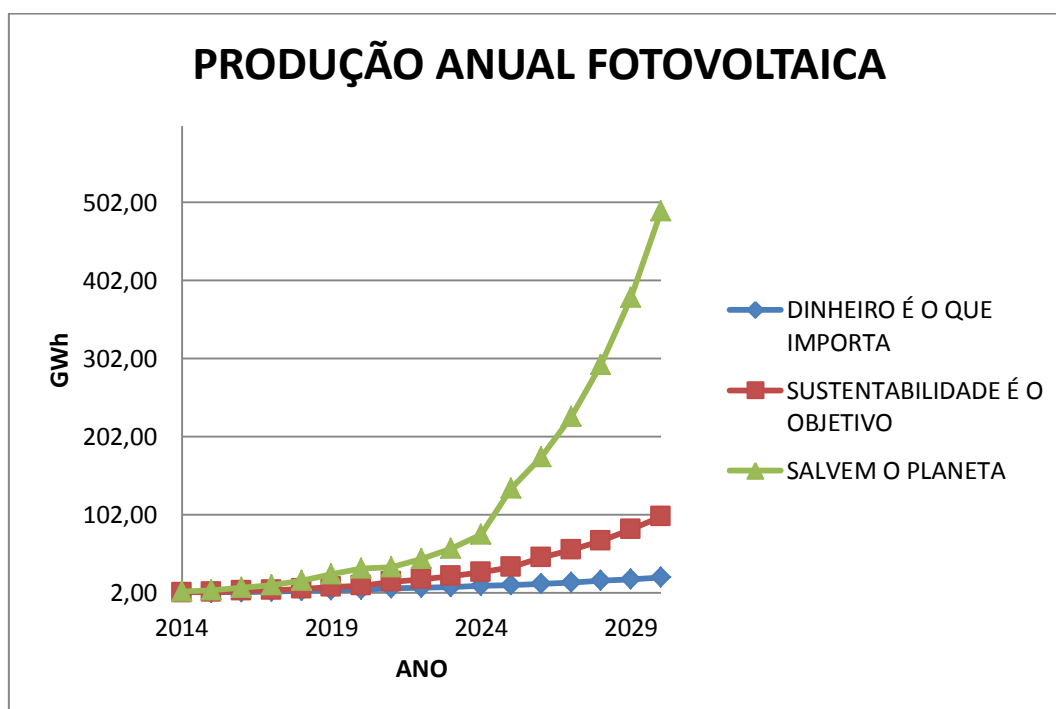
Quadro 14 - Produção anual fotovoltaica da classe residencial

ANO	Produção anual fotovoltaica (em GWh) por cenário		
	Dinheiro é o que importa	Sustentabilidade é o objetivo	Salvem o planeta
2014	1,97	2,65	4,11
2015	2,40	3,47	5,85
2016	3,05	4,75	8,58
2017	3,88	5,29	12,56
2018	4,88	7,15	18,21
2019	6,02	9,46	25,89
2020	6,82	11,49	33,76
2021	7,71	16,32	35,08
2022	8,72	19,77	45,67
2023	9,85	23,96	59,31
2024	11,11	29,01	76,98
2025	12,52	35,08	136,03
2026	14,09	47,40	175,94
2027	15,85	57,19	227,72
2028	17,81	68,98	294,39
2029	20,00	83,13	380,39
2030	22,44	100,11	490,93

Fonte: O autor

A Figura 8 ilustra uma comparação gráfica dos valores mostrados no Quadro 15.

Figura 8 - Produção anual fotovoltaica da classe residencial (GWh)



Fonte: O autor

O Quadro 15 apresenta o consumo total da classe residencial, considerando a inserção da geração fotovoltaica, conforme Equação (14).

Quadro 15 - Consumo total da classe residencial, considerando a inserção da geração fotovoltaica

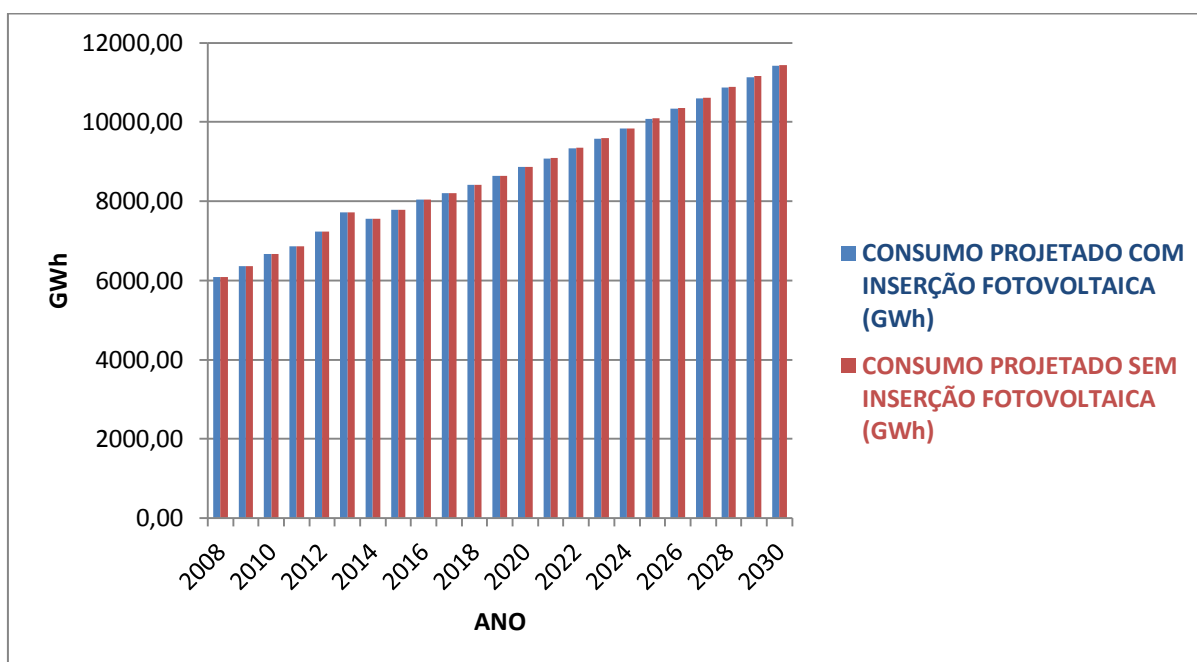
ANO	Consumo da classe residencial considerando geração fotovoltaica por cenário (GWh)		
	Dinheiro é o que importa	Sustentabilidade é o objetivo	Salve o planeta
2008	6081,70	6081,70	6081,70
2009	6369,18	6369,18	6369,18
2010	6673,04	6673,04	6673,04
2011	6866,17	6866,17	6866,17
2012	7238,05	7238,05	7238,05
2013	7721,01	7721,01	7721,01
2014	7556,86	7622,11	7693,88
2015	7783,59	7831,20	7865,29
2016	8035,36	8082,45	8113,24
2017	8198,40	8246,02	8272,57
2018	8417,10	8464,53	8486,90
2019	8640,38	8687,30	8703,83
2020	8868,77	8915,09	8925,23
2021	9082,31	9125,13	9137,94
2022	9340,02	9381,14	9386,27
2023	9582,59	9621,19	9616,03
2024	9829,94	9865,28	9846,54
2025	10082,09	10113,23	10040,45
2026	10339,11	10359,95	10258,39
2027	10600,89	10614,08	10469,21
2028	10867,23	10870,93	10669,73
2029	11138,33	11130,36	10855,70
2030	11414,14	11391,86	11021,88

Fonte: O autor

A Figura 9 apresenta uma comparação entre o consumo projetado com inserção fotovoltaica e sem inserção fotovoltaica para o cenário “dinheiro é o que importa”, baseada no Quadro 32 do Anexo 5. Observa-se a proximidade das duas projeções devido à baixa adesão de consumidores à geração fotovoltaica. A baixa adesão ocorre devido ao crescimento reduzido do PIB, à falta de incentivos do governo à geração fotovoltaica, ao comportamento pouco exigente do consumidor frente aos indicadores de continuidade do serviço e ao baixo índice de competitividade do sistema fotovoltaico.

Neste cenário, o retorno do investimento (*payback*) é, em 2014, de 24 anos e cai para 11 anos em 2030, conforme Quadro 23 do Anexo 5. Retornos de 10 anos ou mais são pouco atrativos para investimentos, fazendo com que a taxa de adesão não ultrapasse os 0,12% em 2030.

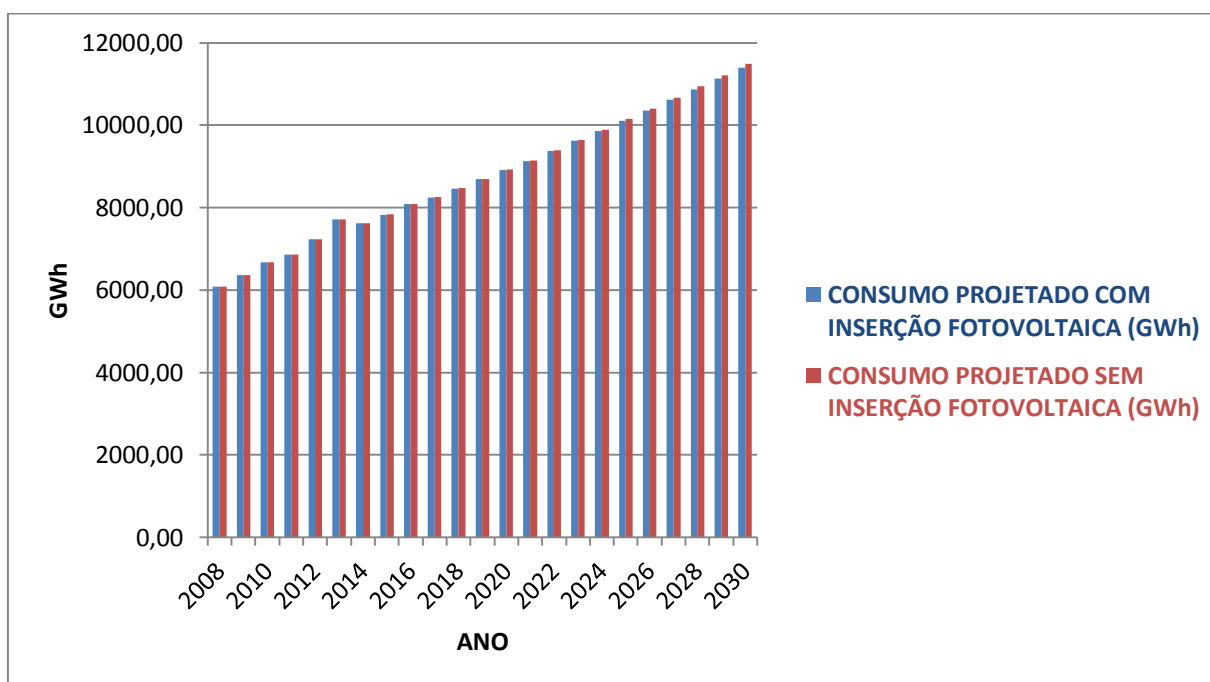
Figura 9 - Consumo residencial para o cenário “dinheiro é o que importa” (GWh)



Fonte: O autor

A Figura 10 apresenta uma comparação entre o consumo projetado com inserção fotovoltaica e sem inserção fotovoltaica para o cenário “sustentabilidade é o objetivo”, baseada no Quadro 33 do Anexo 5. Neste cenário, há redução do *payback* para 8,5 anos em 2030, conforme Quadro 24 do Anexo 5. Este cenário é mais atrativo para adesão à geração fotovoltaica (se comparado ao cenário “dinheiro é o que importa”), em especial devido a incentivos praticados pelo governo na forma de subsídio de 20% até 2016 do custo de instalação do sistema de geração fotovoltaica. A exigência por melhor qualidade no fornecimento de energia e a preocupação do prosumidor com os impactos ao meio ambiente contribuem para elevar a taxa de adesão que chega a 0,53% em 2030.

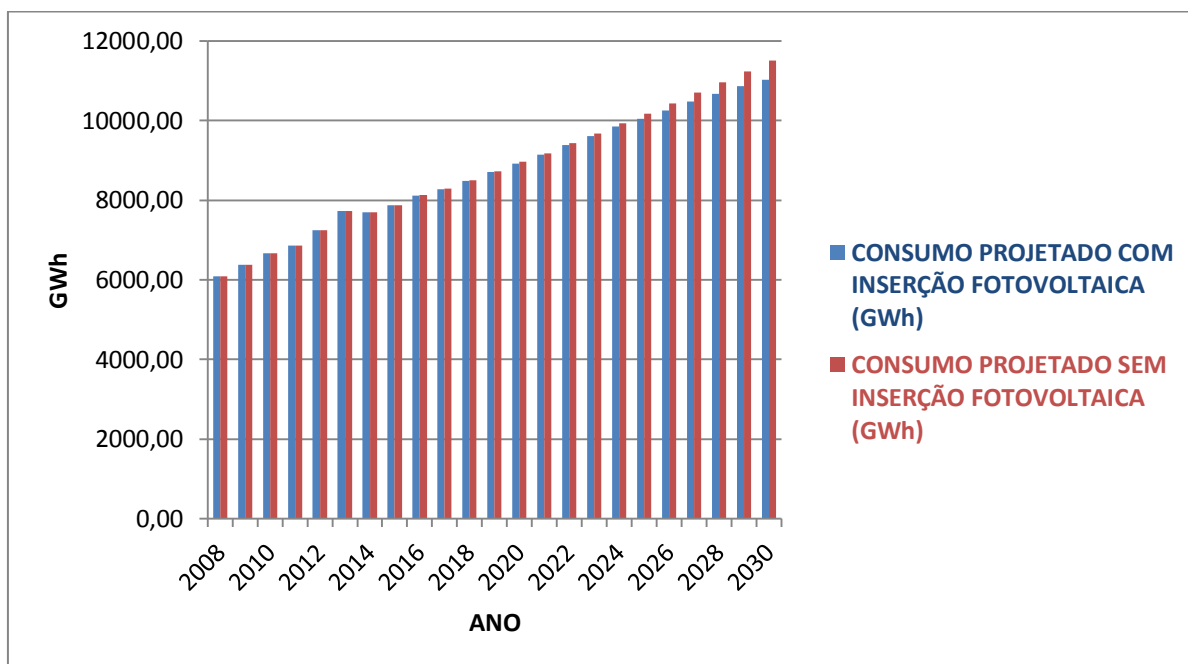
Figura 10 - Consumo residencial para o cenário “sustentabilidade é o objetivo” (GWh)



Fonte: O autor

Figura 11 apresenta uma comparação entre o consumo projetado com inserção fotovoltaica e sem inserção fotovoltaica para o cenário “salvem o planeta”, baseada no Quadro 34 do Anexo 5. Este cenário apresenta o menor tempo de retorno de investimento, 14 anos em 2014 e 6 anos para 2030, principalmente devido à política de incentivos à geração fotovoltaica na forma de subsídios e créditos. Há também uma evolução considerável da consciência ecológica do prosumidor e uma exigência por melhoria nos indicadores de continuidade de serviço. A taxa de adesão chega a atingir 2,6% das unidades consumidoras em 2030, representando um percentual de energia fotovoltaica gerada de 4,45% do consumo total da classe residencial.

Figura 11 - Consumo residencial para o cenário “salvem o planeta” (GWh)



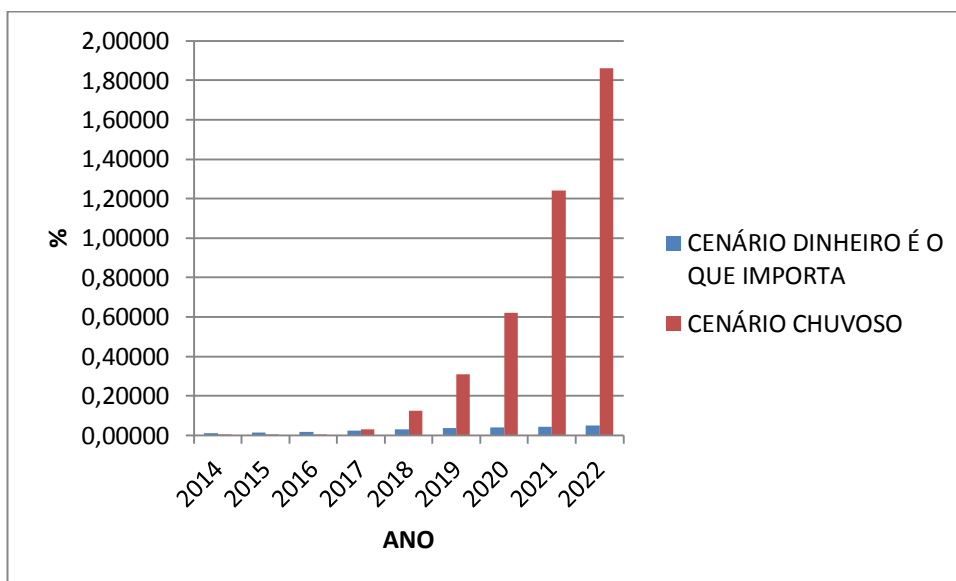
Fonte: O autor

O percentual de 4,45%, no cenário “salvem o planeta”, é referente ao impacto do consumo de energia elétrica da classe residencial. De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética, a parcela de participação da classe residencial em relação ao consumo total de energia elétrica do estado do Rio Grande do Sul é de 25,2%. Então, o impacto na projeção de demanda da distribuidora, considerando todas as classes de consumo é de 4,45% dos 25,2%, ou seja, aproximadamente 1,12%.

O estudo realizado por Lautenschleger aborda somente a região atendida pela empresa Rio Grande Energia (RGE). Dessa forma, fica inviável a comparação do consumo total da classe residencial entre as duas metodologias. Contudo, é possível a comparação da taxa de adesão e também do consumo por domicílio atendido entre as duas metodologias. A Figura 12 apresenta a comparação entre a taxa de adesão do cenário “dinheiro é o que importa” da metodologia proposta e a do cenário “chuvoso” da metodologia de Lautenschleger. A comparação foi feita com o cenário “chuvoso”, pois este é o cenário proposto por Lautenschleger em que a geração fotovoltaica apresenta menor índice de competitividade, assim como o cenário “dinheiro é o que importa”.

As Figuras 12,13 e 14 apresentam a taxa de adesão, em percentual de domicílios com geração fotovoltaica.

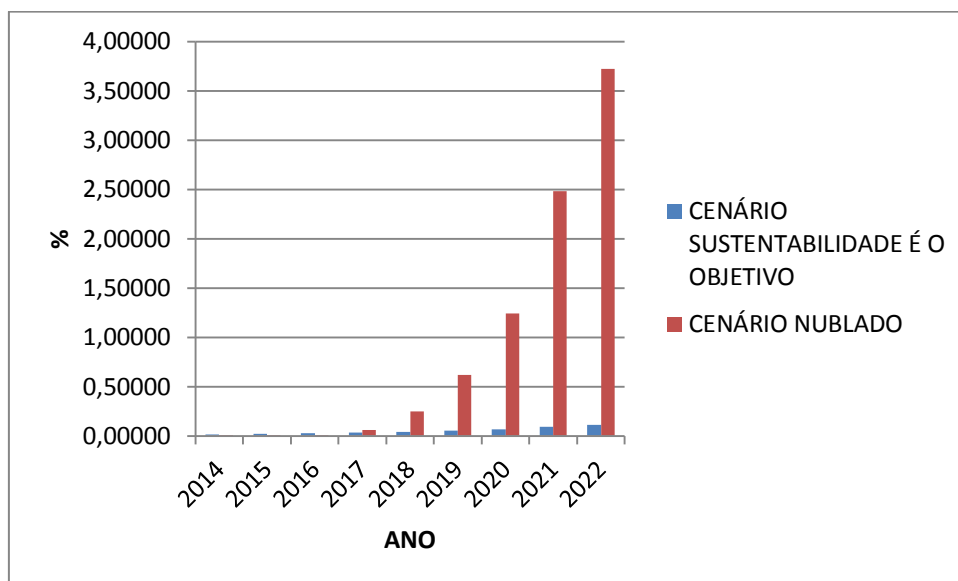
Figura 12 - Taxa de adesão para o cenário "dinheiro é o que importa" (%)



Fonte: O autor

A Figura 13 apresenta a comparação das metodologias para o cenário “sustentabilidade é o objetivo”.

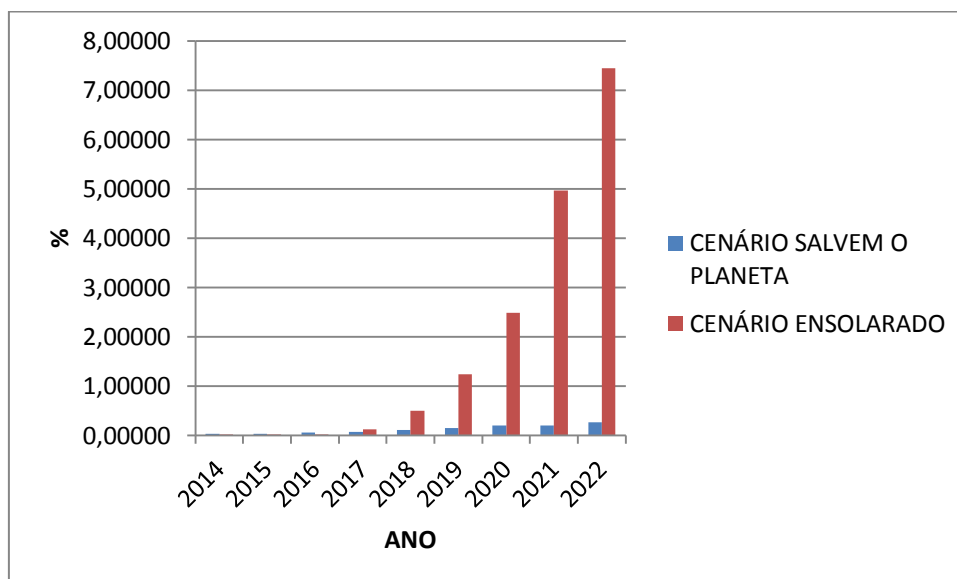
Figura 13 - Taxa de adesão para o cenário "sustentabilidade é o objetivo" (%)



Fonte: O autor

A Figura 14 apresenta a comparação das metodologias para o cenário “salvem o planeta”. A comparação foi feita com o cenário “ensolarado”, pois este é o cenário proposto por Lautenschleger em que a geração fotovoltaica apresenta maior índice de competitividade, assim como o cenário “salvem o planeta”.

Figura 14 - Taxa de adesão para o cenário "salvem o planeta" (%)

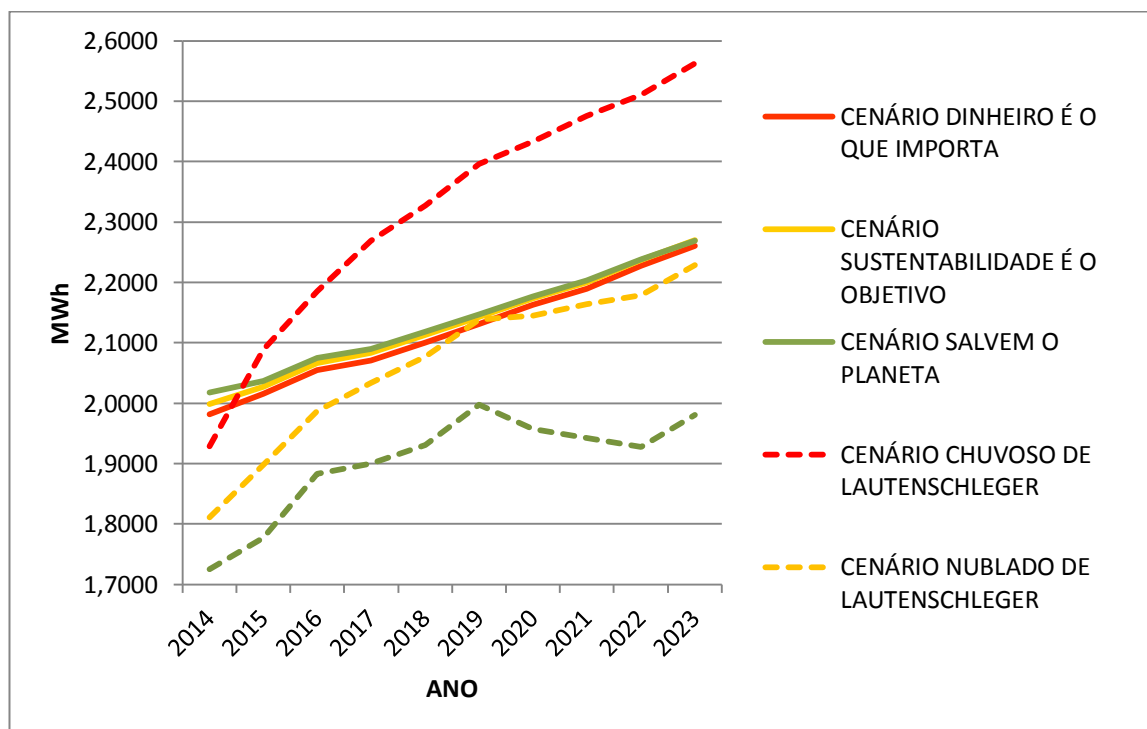


Fonte: O autor

É significativa a diferença entre as taxas de adesão à geração fotovoltaica propostas nas duas metodologias. A diferença ocorre devido às técnicas e às premissas distintas para calcular a taxa de adesão e também devido à diferença entre a potência média do sistema fotovoltaico instalada por residência, que é de 3kW neste estudo e de 1,4kW no estudo de Lautenschleger. Uma potência instalada menor reduz os custos iniciais com instalação e possibilita que mais consumidores instalem sistemas de geração fotovoltaica em seus domicílios. Contudo, o montante de energia gerada por cada sistema fotovoltaico é menor e impacta menos na projeção de demanda da classe residencial.

A Figura 15 apresenta a comparação do consumo por residência, em MWh, entre os cenários das duas metodologias, com base no Quadro 36 do Anexo 5.

Figura 15 - Cenários de consumo por domicílio com geração fotovoltaica (MWh)



Fonte: O autor

A maior taxa de adesão, projetada no modelo de Lautenschleger, não reflete necessariamente em menor consumo por residência, conforme Figura 15, devido à diferença entre a potência média instalada do sistema fotovoltaico. Em outras palavras, necessita-se de maior adesão à geração fotovoltaica no modelo de Lautenschleger para gerar o mesmo montante de energia proposto neste modelo. A análise do consumo por residência permite, então, melhor comparação entre as duas metodologias.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 6.1 CONCLUSÕES

Com a publicação da REN nº 482 em 2012, a produção de energia elétrica no Brasil dá seus primeiros passos, em pequenas proporções. Foi realizado um estudo acerca do contexto da micro e minigeração do Brasil e de que forma impacta na demanda de energia elétrica que cresce, atualmente, em torno de 5% ao ano.

Diversos são os obstáculos à adesão em massa à microgeração fotovoltaica, como o custo de instalação dos módulos fotovoltaicos, falta de incentivos governamentais e aspectos legais como a impossibilidade de vender o excedente de energia e um valor mínimo faturável. Isto faz com que, mesmo com o enorme potencial solar brasileiro, a microgeração fotovoltaica se torne pouco competitiva.

A busca por melhoria de qualidade e continuidade do serviço fortalece a penetração de microgeração fotovoltaica no Rio Grande do Sul. Com o crescente número de adesões a esse tipo de geração, as metodologias tradicionais tornam-se incompletas à nova realidade de mercado e um novo modelo, como o proposto neste estudo, torna-se necessário para representar essa realidade. Com o conceito de Redes Elétricas Inteligentes (REI), estudos referentes ao comportamento do consumidor também devem ser agora considerados, uma vez que a REI revoluciona a relação entre consumidor, prosumidor e os demais agentes do sistema elétrica.

O Brasil possui grande potencial para produzir energia solar fotovoltaica e, mesmo sendo a geração fotovoltaica distribuída atualmente pouco competitiva, este estudo mostrou que o impacto na projeção de demanda da classe residencial pode chegar a 4,5 % do consumo total da classe residencial até 2030. É neste ponto que a metodologia tradicional mostrou-se incompleta por não prever a contribuição de geração distribuída. O modelo proposto por Lautenschleger (2013) é inovador ao considerar a geração distribuída, contudo não considerou fatores relacionados ao comportamento do prosumidor, consciência ecológica e exigência por qualidade no fornecimento de energia elétrica. Estes fatores foram modelados e analisados no presente estudo.

O modelo proposto neste estudo, embora simplificado, permitiu analisar o impacto que a micro e minigeração fotovoltaica residencial pode causar nas distribuidoras de energia. A metodologia aqui proposta foi desenvolvida de forma a complementar a metodologia tradicional modificada por Castelo Branco (2003) e, posteriormente, por Lautenschleger (2013).

## 6.2 TRABALHOS FUTUROS

Estudos futuros devem incluir a micro e minigeração fotovoltaica na projeção de demanda para as demais classes consumidoras (em especial a classe rural devido às características de distribuição de energia) e, também, considerar os demais aproveitamentos de fontes renováveis previsto na REN nº 482 de 2012.

No que diz respeito à geração fotovoltaica, um estudo relativo às condições físicas para instalação de painéis e o sombreamento, ocasionado por regiões densamente povoadas, podem contribuir significativamente para melhoria do modelo proposto.

Com a adesão à Tarifa Branca, que incentiva consumidores a deslocarem o consumo dos períodos de ponta para aqueles em que a distribuição de energia elétrica tem capacidade ociosa, pode-se avaliar a viabilidade de considerar, em grande quantidade, sistemas de armazenamento de energia e não só para os prosumidores que possuem indicadores de continuidade de serviço insatisfatórios.

A penetração em grande escala de veículos elétricos no Brasil também impacta o comportamento do sistema elétrico, uma vez que representam um recurso energético distribuído que reúne as modalidades de consumo, geração e armazenamento.

## REFERÊNCIAS

ACHÃO, C. DA COSTA LOPES. **Análise de Decomposição das Variações no Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético, Rio de Janeiro. 151 p, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Estabelecimento dos limites de continuidade DEC e FEC dos conjuntos da AES-SUL Distribuidora Gaúcha de Energia S/A – AES-SUL, para o período de 2014 a 2018**. Nota Técnica nº 0005/2013-SRD/ANEEL, 21 de Janeiro de 2013.

\_\_\_\_\_. **Estabelecimento dos limites dos indicadores de continuidade DEC e FEC dos conjuntos da Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica – CEEE-D, para o período de 2013 a 2016**. Nota Técnica nº 0112/2012-SRD/ANEEL, 2012.

\_\_\_\_\_. **Nota técnica nº 448**. 2013d. Disponível em:  
<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/104/documento/nt\\_n%C2%BA\\_448\\_2013\\_-\\_bandeiras\\_tarifarias.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/104/documento/nt_n%C2%BA_448_2013_-_bandeiras_tarifarias.pdf)>. Acesso em: 02 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST**. 2013b. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de regulação tarifária**. 2013c. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=702>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Homologatória nº 1535**. 2013e. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh20131535.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 77**. 2004. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004077.pdf>>. Acesso em: 22 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 456**. 2000. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2000456.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 414**. 2010. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 481**. 2012c. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012481.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 482**. 2012a. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 502**. 2012b. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012502.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 547**. 2013a. Disponível em:  
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2013547.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Proposta de limites para os indicadores de continuidade DEC e FEC dos conjuntos da Rio Grande Energia S.A. - RGE, para o período de 2014 a 2018, após a Audiência Pública nº 023/2013.** Nota Técnica nº 0126/2013-SRD/ANEEL, 2013.

\_\_\_\_\_. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST/ Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo3\\_Revisao\\_5\\_Retificação\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Módulo3_Revisao_5_Retificação_1.pdf)> Acesso em: 15 mai. 2014

\_\_\_\_\_. **Sistema de apoio à decisão.** 2013f. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>>. Acesso em: 13 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. **Tarifas de fornecimento de energia elétrica.** Cadernos Temáticos ANEEL (4), Brasília. 30 p., 2005.

ALMEIDA, J. A. **P&D no setor elétrico brasileiro: um estudo de caso na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 97 p., 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** 2012.

BÜHLER, A. J. **Determinação de parâmetros fotovoltaicos a partir de ensaios de curvas características sem iluminação.** Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre. 72 p., 2007.

CARNEIRO, J. **Semicondutores: modelo matemático da célula fotovoltaica.** 2010. <<http://hdl.handle.net/1822/16960>>. Acesso em 4 abril 2014.

CASTELO BRANCO, A. C. **Projeção de demanda de energia elétrica.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Salvador, UNIFACS, Salvador. 96 p., 2003.

DA SILVA, D, W. **Os efeitos da Microgeração Fotovoltaica na Projeção de Demanda Residencial de Distribuidoras.** Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 67 p., 2013.

ELETROBRÁS-ELETROSUL. **Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2008.** 2008. Disponível em: <[http://www.eletrosul.gov.br/meio\\_ambiente/rel\\_socioambiental\\_2008.pdf](http://www.eletrosul.gov.br/meio_ambiente/rel_socioambiental_2008.pdf)> Acesso em: 20 mai. 2014

ELETROBRÁS-ELETROSUL. **Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2009.** Disponível em: <[http://www.eletrosul.gov.br/home/Relatorios%20Ambientais/Relatorio\\_de\\_Sustentabilidade\\_Socioambiental\\_2009.pdf](http://www.eletrosul.gov.br/home/Relatorios%20Ambientais/Relatorio_de_Sustentabilidade_Socioambiental_2009.pdf)> Acesso em: 20 mai. 2014

ELETROBRÁS-ELETROSUL. **Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2010.** Disponível em: <<http://www.eletrosul.gov.br/home/Relatorios%20Ambientais/Relatório%20de%20Responsabilidade%20Socioambiental%202010.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2014

ELETROBRÁS-ELETROSUL. **Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2011.**

Disponível em:

<[http://www.eletrosul.gov.br/home/Relatorios%20Ambientais/RS\\_Eletrosul\\_portugues-web.pdf](http://www.eletrosul.gov.br/home/Relatorios%20Ambientais/RS_Eletrosul_portugues-web.pdf)> Acesso em: 20 maio 2014

ELETROBRÁS-ELETROSUL. **Relatório de Responsabilidade Socioambiental 2012.**

2012. Disponível em:

<[http://www.eletrosul.gov.br/home/ASG/HOTSITE\\_FINAL/download/RAS2012.pdf](http://www.eletrosul.gov.br/home/ASG/HOTSITE_FINAL/download/RAS2012.pdf)>

Acesso em: 20 maio 2014.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional: ano base 2012, Relatório Final.** Rio de Janeiro. 288 p., 2013.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Nacional de Energia 2030.** Rio de Janeiro, EPE. 408 p., 2007.

ETO J. H.; LACOMMARE K, H. **Tracking the Reliability of the U.S. Electric Power System: An Assessment of Publicly Available Information Reported to State Public Utility Commissions.** Berkeley National Laboratory Report Oct. 2008. Berkeley, U.S., 2008. Disponível em: <<http://certs.lbl.gov/pdf/lbnl1092e-puc-reliability-data.pdf>> Acesso em: 20 maio 2014.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico: Dados Gerais-Migração-Instrução-Fecundidade-Mortalidade (Rio Grande do Sul). IX Recenseamento geral do Brasil, 1980.** Vol. 1, T. 4, nº 22. Rio de Janeiro, 1982.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico: Famílias e Domicílios (Rio Grande do Sul), IX Recenseamento geral do Brasil, 1980.** Vol. 1, t. 6, nº 22. Rio de Janeiro, 1983.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico 1991: Famílias e Domicílios (Rio Grande do Sul).** nº 24. Rio de Janeiro, 1991.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 1991: Características Gerais da População e Instrução (Rio Grande do Sul).** Nº 24. Rio de Janeiro, 145 p., 1991.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico: Rio Grande do Sul, VI Recenseamento geral, 1950.** Vol. 28, t.1. Rio de Janeiro, 1955.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico: Rio Grande do Sul, VII Recenseamento geral, 1960.** Vol. 1, t.16. Rio de Janeiro, 1968.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico: Rio Grande do Sul, VIII Recenseamento geral, 1970.** Vol. 1, t. 21. Rio de Janeiro, 1973.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000: Educação**. Rio de Janeiro, 132 p., 2000.

HASSIN E. S. **Continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica: análise regulatória, correlação dos indicadores e metodologia de compensação ao consumidor**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 154 p., 2003.

KAGAN, N.; GOUVEA, M.; MAIA, F.; DUARTE, D.; LABRONICI, J.; GUIMARÃES D. S.; BARRETO NETO, A.; SILVA, J. F. R.; PARTICELLI, F. **Redes Elétricas Inteligentes no Brasil: Análise de Custos e Benefícios de um Plano Nacional de Implantação**. Synergia, Rio de Janeiro, 2013.

LAUTENSCHLEGER, A. H. **Projeção de Demanda de Energia Elétrica da Classe Residencial Considerando a Inserção de Micro e Minigeração Fotovoltaica**. Projeto de Diplomação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 94 p., 2013.

MACAULEY M. K.; SHIH J. S. Effects of Carbon Policies and Technological Change on Consumer Surplus in Electricity Generation. **Resources for the Future**. RFF Discussion Paper 03-14, 2003.

MEHL, E. L. M. **Qualidade da Energia Elétrica**. Universidade Federal do Paraná. 2001. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>> Acesso em: 02 jun. 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **SÉRIE ESTUDOS DE ENERGIA, NOTA TÉCNICA DEA 03/11: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2011-2020)**. Rio de Janeiro. 93 p., 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **SÉRIE ESTUDOS DA DEMANDA NOTA TÉCNICA DEA 22/12: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022)**. Rio de Janeiro, 2012.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2022**. Brasília. 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007.

MIRANDA, R. F. C. **Análise da Inserção de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 290 p., 2013.

NASCIMENTO, C. A. **Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica**. Monografia, Universidade Federal de Lavras. Lavras. 21 p., 2004.

PEREIRA, E. B.; MARTINS F. R.; ABREU S. L.; RÜTHER R. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, São José dos Campos. 60 p., 2006.

PORTO, C.; NASCIMENTO, E.; BUARQUE S. C. **Cinco Cenários para o Brasil 2001-2003**. Nordica, Rio de Janeiro. 175 p., 2001.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL) E CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso- Ano Base 2005- Classe Residencial Região Sul**. ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 158 p., 2007.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL). *Manual de Tarifação da Energia Elétrica*, 2001.

VALLÊRA, A. M.; BRITO, M. C. Meio Século de História Fotovoltaica; **Gazeta da Física**, 2006.

STRONGMAN, BILL P. E. 2004. Reliability: Beyond the Numbers: Using Key Performance Measures. **Burns & McDonnell, Tech Briefs** 1: 3-5.

WEIBULL, W. Statistical distribution function of wide applicability. **Journal of Applied Mechanics**, 18, 292-297, 1951.

## ANEXO 1 - GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

A energia solar pode ser convertida diretamente em energia elétrica por sistemas de concentração da energia solar (CSP – Concentrated Solar Power) ou por efeito fotovoltaico (ABINEE, 2012). Nos sistemas CSP, a concentração de energia solar ocorre através de espelhos, aquecendo gás ou líquido pressurizado para produzir vapor a elevadas temperaturas. Esse vapor é então usado para mover as turbinas, gerando energia elétrica. No efeito fotovoltaico, foco deste trabalho, células de materiais semicondutores, como o silício, quando expostas à luz produzem energia elétrica.

Sistemas CSP são normalmente utilizados em usinas e possuem uma aplicação mais restrita para uso residencial devido a custos e à logística de instalação desses sistemas. Por este motivo não é considerado nesse estudo.

- **Efeito Fotovoltaico**

O estudo do efeito fotovoltaico teve início com o físico francês Alexandre Edmond Becquerel por volta de 1839 ao observar que placas metálicas de platina ou prata mergulhadas num eletrólito produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Devido ao elevado custo das células solares, o estudo desse efeito somente ganhou força com a corrida espacial entre a extinta União Soviética e os Estados Unidos da América com a finalidade de substituir as pilhas químicas utilizadas em satélites. A primeira célula solar moderna foi apresentada em 1954, tinha apenas dois centímetros quadrados de área e uma eficiência de 6%, o que gerava 0,005 W de potência (VALLÊRA E BRITO, 2004). Foi somente após a crise do petróleo, em 1973, que a energia solar atraiu o interesse do governo como possível forma de complementar o sistema elétrico existente diante de um possível esgotamento das reservas petrolíferas. No período pós crise do petróleo, dois fatores impulsionaram a indústria desse setor: o fortalecimento do movimento de defesa do meio ambiente e o desenvolvimento de políticas de eletrificação rural (NASCIMENTO, 2004).

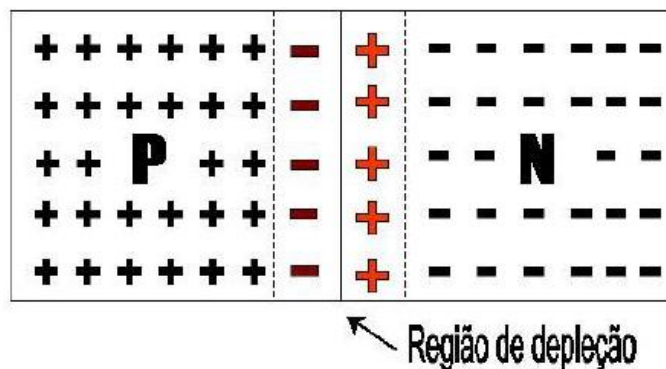
O efeito fotovoltaico ocorre quando, ao incidir luz em região de junção entre dois materiais semicondutores de propriedades elétricas diferentes, surge uma diferença de potencial entre esses materiais.

Células fotovoltaicas são constituídas de materiais semicondutores (a grande maioria por silício em suas diferentes formas). Tais materiais possuem características intermediárias entre isolante e condutor e não possuem, em sua forma pura (intrínseca), elétrons livres na camada de valência. Por isso, faz-se uso do processo de dopagem dos semicondutores, inserção de impurezas à estrutura cristalina do semicondutor, para que haja elétrons livres necessários para tornar o material condutor de corrente elétrica. Dependendo do tipo de material utilizado na dopagem, os semicondutores recebem a designação **tipo p** (átomos do material dopante doam elétrons) ou **tipo n** (átomo do material dopante recebem elétrons). O efeito das dopagens tipo p ou tipo n torna-se



interessante quando aplicadas juntamente e a maior parte dos semicondutores é baseada nas propriedades de fronteira entre esses dois tipos de dopagem.

Figura 16 - Representação de uma junção p-n



Fonte: Bühler (2007).

Quando a junção PN é exposta à luz, ocorre formação de pares elétrons-lacuna que são acelerados, originando uma corrente através da junção e por consequência uma diferença de potencial entre as superfícies das regiões P e N.

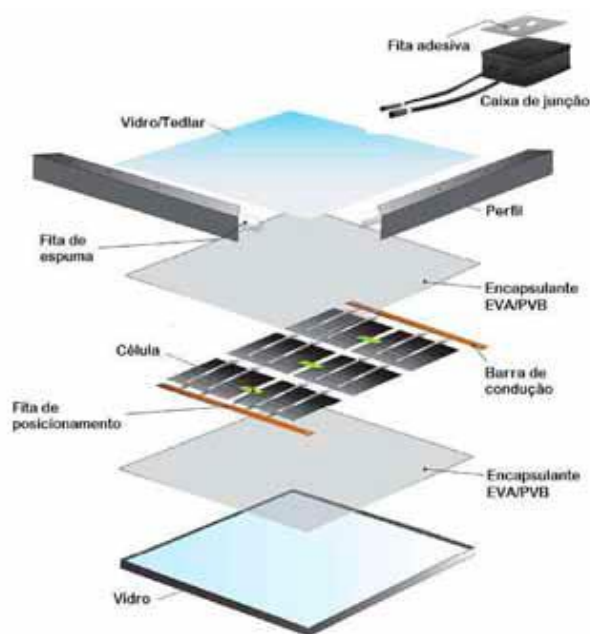
- **Aspectos Técnicos**

Sistemas fotovoltaicos são compostos por painéis solares, inversores, dispositivos de proteção e sistemas de fixação e suporte. Para sistemas isolados, entram nessa lista baterias e controladores de carga. Para o estudo em questão é considerado um sistema interligado à rede de distribuição e, portanto, sem uso de equipamentos necessários para armazenar energia, como as baterias e os controladores de carga.

- **Módulos**

Um módulo é composto por diversas células fotovoltaicas que podem ser de silício monocristalino, policristalino, amorfo hidrogenado ou de filmes finos como silício amorfo, silício microcristalino, telureto de cádmio, seleneto de cobre e índio. Os módulos podem ser ligados em série ou/e em paralelo com base nas correntes e tensões desejadas e na faixa operativa dos inversores. A potência nominal de um módulo fotovoltaico é a potência de pico (sufixo “p”) obtida em condições padrões de teste. Tipicamente, é dado pelos fabricantes uma garantia de 90% da potência inicial com 10 anos de uso e 80% após 25 anos (ABINEE, 2013).

Figura 17 - Estrutura de um módulo fotovoltaico.



Fonte: ABINEE, 2013.

O silício monocristalino (m-Si) é obtido a partir de um único cristal imerso em um banho de silício fundido em alto grau de pureza (superior a 99,9999%) e então é usinado e fatiado em lâminas muito finas (do inglês, *wafers*). Durante todo esse processo, estima-se que 50% do material é perdido, o que encarece o produto (Bühler, 2007).

O silício policristalino (p-Si) é obtido de forma semelhante ao silício monocristalino com a diferença que o policristalino é obtido da solidificação do material fundido, formando vários cristais. Isso faz com que o custo de produção seja consideravelmente menor ao do monocristalino.

O silício amorfo hidrogenado (a-Si) é uma forma de silício não cristalina e apresenta uma resposta espectral mais voltada para a região azul do espectro eletromagnético, o que torna mais eficiente que a forma monocristalina em condições com radiação difusa (Bühler, 2007). Outra vantagem do a-Si é a não diminuição do desempenho elétrico com o aumento da temperatura, ao contrário do que ocorre com as outras tecnologias fotovoltaicas em que observa-se diminuição da potência gerada com o aumento da temperatura (Rüther e Livingstone, 1993).

O telureto de cádmio (CdTe) é uma forma cristalina de filme fino, possui custos de produção menores ao do silício cristalino, mas também com uma eficiência menor. O CdTe pode ser depositado sobre vidro, resultando um tom azul escuro interessante em aplicações arquitetônicas.

Disseleneto de cobre e índio (CIS e CIGS) são formas cristalinas de filmes finos, porém de maior eficiência que o telureto de cádmio. Apresentam também uma excelente aparência estética o que possibilita incorporar a instalação à construção.

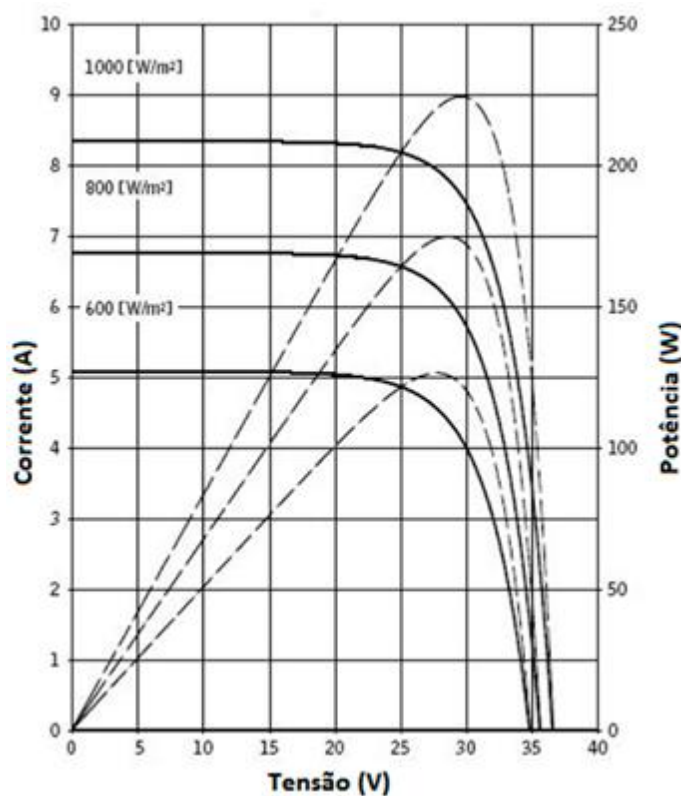
- **Inversores**

São dispositivos que convertem corrente contínua em corrente alternada com tensão e frequência iguais as da rede. Alguns medidores possuem sistemas de medição incorporados e possibilitam envio de dados para internet.

- **Curva corrente por tensão**

A curva I-V é a representação matemática do comportamento da corrente em função da tensão e permite qualificar o módulo e avaliar o desempenho em diferentes condições. A Figura 18 a seguir ilustra o comportamento da corrente para diferentes irradiâncias (600, 800 1000 w/m<sup>2</sup>).

Figura 18 - Curva característica de um módulo fotovoltaico



Fonte. ABINEE (2013)

## ANEXO 2 - REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

O sistema elétrico brasileiro (SEP) possui historicamente uma característica de fornecimento unidirecional de energia e geração centralizada. A ANEEL publicou em 2010 a chamada nº 011/2010 – Projeto Estratégico: Programa Brasileiro de Redes Elétricas Inteligentes, que objetiva alterar a topologia do SEP atual e a relação entre consumidores, distribuidores e geradores de energia elétrica.

As redes elétricas inteligentes (REI) surgem, no contexto brasileiro, com grandes expectativas para melhoria da qualidade, na interatividade, na operação eficiente e segura, nas novas oportunidades de negócios e na sustentabilidade (Maia et. al., 2013).

O conceito de REI é abordado na União Europeia, de acordo com a *European Union Commission Task Force for Smart Grids* como “a rede que poderá integrar de forma inteligente as ações de todos os usuários conectados a ela (geradores, consumidores e qualquer usuário que gere e/ou consuma), entregando com eficiência energia de forma sustentável, segura e econômica”.

A característica bidirecional de uma REI é baseada no uso de medidores inteligentes munidos de um sistema de comunicação para que haja supervisão, por parte das companhias, e constante troca de informações entre consumidor e concessionária. Assim, o consumidor passa a ter acesso direto a informações de custo, tarifação diferenciada, cortes de carga e a concessionária pode ter acesso em tempo real às informações de consumo e de eventos.

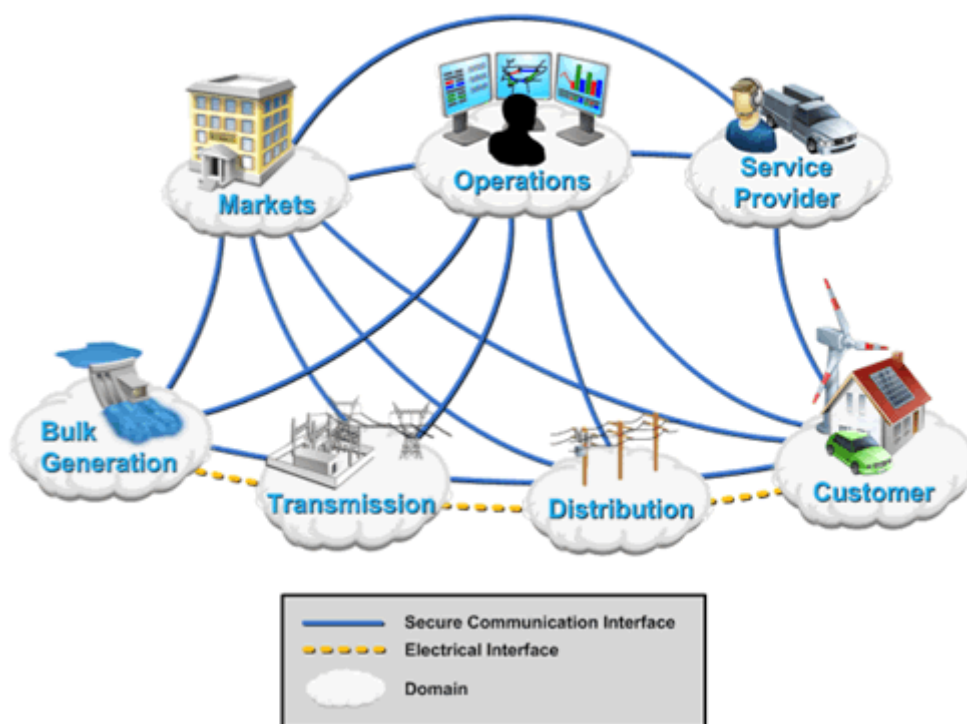
Se por um lado a legislação vigente não prevê restrições quanto ao momento ou à quantidade de energia injetada na rede por parte dos prosumidores (o que dificulta o planejamento e a projeção de demanda da concessionária), a interação entre prosumidor e concessionária proporcionado pela REI permite à concessionária maior facilidade de identificar o perfil do prosumidor, melhorando qualidade, continuidade e eficiência da rede.

O que hoje é conhecido por “internet das coisas” fundamenta o conceito de REI que, de acordo com a “Smart Grid Information Clearinghouse” (SGIC, 2013) possui as seguintes características:

- **Permite participação proativa do consumidor:** o usuário passa a gerenciar as fontes de energia com base no preço, incentivos e perfil de consumo;
- **Acolhe todas as opções de geração e de armazenamento:** a REI permite a geração e distribuição de energia a partir de múltiplas fontes distribuídas, havendo uma integração mais eficiente dos recursos energéticos renováveis;
- **Permite criar novos produtos, serviços e mercados:** o consumidor tem a liberdade de optar entre os serviços, criando um mercado de atacado e varejo e fazendo com que o uso de eletricidade siga um modelo de *commodities* (Lautenschleger, 2013).

- **Fornecer energia de qualidade para a economia digital:** a REI ajuda a monitorar, diagnosticar e responder às deficiências de qualidade de energia, reduzindo as perdas dos clientes devido à baixa qualidade de energia;
- **Otimiza a utilização de ativos e opera de forma eficiente:** o sensoriamento e a avaliação contínua da capacidade da rede reduz perdas do sistema e melhora o gerenciamento de interrupções e falhas.
- **Antecipa e responde às perturbações do sistema:** a REI permite autoavaliações contínuas para detectar e analisar problemas e executa ações para mitigá-los e rapidamente restaurar as condições normais de operação;
- **Funciona de forma resiliente contra ataque e desastres naturais:** a REI reduz vulnerabilidades físicas e virtuais e permite recuperação rápida a interrupções.

Figura 19 - Estrutura de uma REI.



Fonte: SGIC (2013)

## ANEXO 3 - TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA

Tarifa de energia elétrica é o valor pago, na unidade monetária vigente, por unidade de energia, em kWh, pelos consumidores à sua empresa distribuidora de energia e é, na unidade monetária vigente no Brasil, medido em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é responsável por estabelecer as tarifas com a finalidade de garantir que o consumidor pague um valor justo e assegurar um equilíbrio financeiro junto à concessionária de distribuição para que o serviço seja oferecido com qualidade, confiabilidade e continuidade adequados.

Para aplicação das tarifas, há distinção entre os consumidores identificados por classes que são definidas pela ANEEL da seguinte forma: residencial, industrial, comercial e serviços, rural, poder público, iluminação pública, serviço público e consumo próprio. Este estudo aborda a classe residencial urbana e rural.

### • Grupos Tarifários

A ANEEL define tarifa de energia elétrica com base em dois grupos de consumidores A e B, divididos cada um em subgrupos.

No grupo A estão os consumidores atendidos pela rede de alta tensão, subdivididos conforme classe de tensão.

- A1: 230 kV ou mais;
- A2: de 88 a 138 kV;
- A3: 69 KV;
- A3a: de 30 a 44 kV;
- A4: de 2,3 a 25kV;
- AS: sistemas subterrâneos.

O grupo B é dividido em quatro subclasses:

- B1: Residencial e residencial de baixa renda;
- B2: Rural;
- B3: Indústria, comércio, serviços, poder público e serviço público; e
- B4: Iluminação pública.

Neste estudo é abordada a subclasses B1.

Em relação à classe residencial (B1), a tarifa social de baixa renda possui descontos com base na faixa de consumo conforme Quadro (16).

Quadro 16 - Desconto tarifário para classe de consumo residencial de baixa renda

Faixa de Consumo	Desconto (%)
0 – 30 kWh	65%
31 – 100 kWh	40%
101 – limite regional	10%

Fonte: ANEEL (2014)

O desconto é aplicado da seguinte forma: nos primeiros 30 kWh consumidos há redução de 65% do valor da tarifa. Dos 31 kWh até 100 kWh é aplicado um desconto de 40% e, por fim, um desconto de 10% é aplicado até o valor limite regional, estipulado pela concessionária.

- **Composição das Tarifas**

A receita da concessionária de distribuição é composta por duas parcelas (parcela de custos não gerenciáveis e parcela de custos gerenciáveis). A parcela referente aos custos não-gerenciáveis independem do controle da empresa e a parcela referente aos custos gerenciáveis são diretamente administráveis pela empresa. O Quadro 17 apresenta a composição da receita da concessionária.

Quadro 17 - Composição da receita da concessionária

<b>COMPOSIÇÃO DA RECEITA REQUERIDA</b>	
<b>PARCELA A (custos não-gerenciáveis)</b>	<b>PARCELA B (custos gerenciáveis)</b>
<b>Encargos Setoriais</b>	<b>Despesas de Operação e Manutenção</b>
Cotas da Reserva Global de Reversão (RGR)	Pessoal
Cotas da Conta de Consumo de Combustível (CCC)	Material
Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA)	Serviços de Terceiros
Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)	Despesas Gerais e Outras
Encargos de Serviços do Sistema (ESS)	
Taxa de Fiscalização dos Serviços de Energia Elétrica (TFSEE)	
Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética (P&D)	
Compensação Financeira Pela Utilização de Recursos Hídricos (CFURH)	
Encargo de Energia de Reserva (EER)	
<b>Encargos de Transmissão</b>	<b>Despesas de Capital</b>
Uso das Instalações da Rede Básica de Transmissão de Energia Elétrica	Cotas de Depreciação
Uso das Instalações de Conexão	Remuneração do Capital
Uso das Instalações de Distribuição	
Transporte da Energia Elétrica Proveniente de Itaipu	
Operador Nacional do Sistema (ONS)	

Continuação do Quadro 17	
Compra de Energia Elétrica para Revenda	Outros
Contratos Iniciais	P&D e Eficiência Energética
Energia de Itaipu	PIS/COFINS e ICMS
Contratos Bilaterais de Longo Prazo ou Leilões	

Fonte: Adaptado de ANEEL (2014)

- **Atualização Tarifária**

Os contratos de concessão preveem que as tarifas de fornecimento podem ser atualizadas por meio de três mecanismos: reajuste tarifário anual, revisão tarifária periódica e revisão tarifária extraordinária.

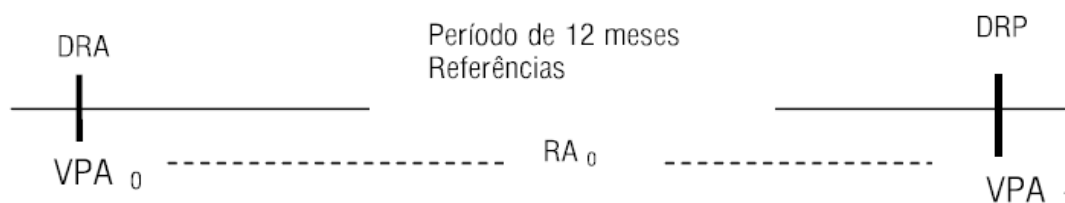
- Reajuste tarifário anual (RTA): restabelece anualmente o poder de compra da receita obtida pela concessionária (“Parcela A” e “Parcela B”). O IRT é calculado pela equação (2).

$$RTA = \frac{VPA_1 + VPB_0 (IVI \pm X)}{RA_0} \quad (32)$$

A variável  $VPA_1$  representa o valor da “Parcela A” na data de reajuste em processamento,  $VPB_0$  é o valor da “Parcela B” na data de referência anterior e  $RA_0$  é a receita anual referente aos últimos doze meses.

O índice  $IVI$  é obtido pela divisão do IGP-M da Fundação Getúlio Vargas (FGV) do mês anterior à data de reajuste em processamento (DRP) pelo IGP-M do mês anterior à data de referência anterior (DRA) e  $X$  é um fator fixado pela ANEEL e definido no contrato de concessão.

Figura 20 - Procedimento de reajuste tarifário anual (IRT).



Fonte: ANEEL.

- Revisão tarifária periódica: viabiliza o equilíbrio econômico financeiro da concessão mediante o cálculo do reposicionamento tarifário e do estabelecimento do fator  $X$ . O reposicionamento tarifário é baseado em uma definição da parcela de receita necessária para cobertura dos custos operacionais e uma remuneração adequada sobre investimentos realizados.



Revisão tarifária extraordinária (RTE): mecanismo que permite à ANEEL solicitar à empresa de distribuição revisão das tarifas a fim de manter equilíbrio econômico-financeiro do contrato. A alteração, criação ou extinção de tributos ou encargos legais também pode implicar em revisão das tarifas.

## ANEXO 4 - DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DE WEIBULL

Waloddi Weibull definiu uma função de distribuição de probabilidade contínua de vasta aplicação e abordou em seu estudo, “*A Statistical Distribution Function of Wide Applicability*” (1951), sete exemplos distintos que ilustram sua teoria.

A função densidade de probabilidade (f.d.p.) de Weibull é definida pela equação (33).

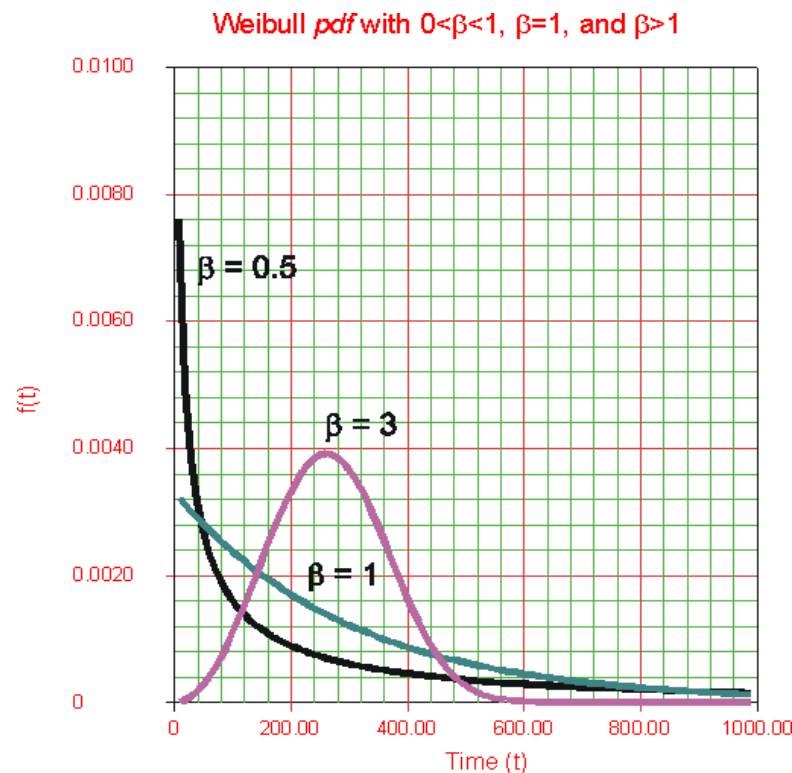
$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \quad (33)$$

O comportamento da função de Weibull é caracterizado pelos parâmetros  $\beta$ ,  $\eta$  e  $\gamma$  que compõem a equação (1).

- $\beta$  é o parâmetro de forma e é adimensional;
- $\eta$  é o parâmetro de escala e é adimensional;
- $\gamma$  é o parâmetro de posição e possui a mesma dimensão de T.

O parâmetro de forma,  $\beta$ , representa a inclinação da distribuição de Weibull e diferentes valores de  $\beta$  influenciam o comportamento da distribuição (quando  $\beta = 1$ , a f.d.p. Weibull se torna uma distribuição exponencial) conforme a Figura 21.

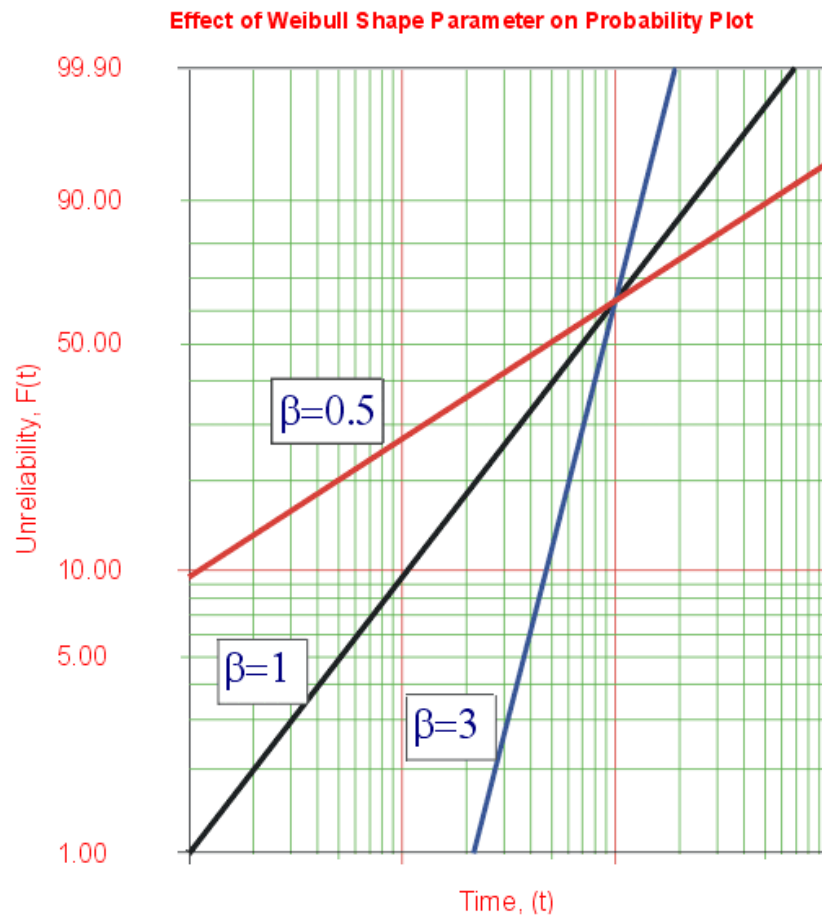
Figura 21 - Influência do parâmetro de forma na f.d.p. de Weibull



Fonte: Revista HotWire (2005)

Torna-se mais fácil observar o efeito do parâmetro de forma (inclinação) quando observado o comportamento da função de probabilidade de Weibull para diferentes valores de  $\beta$  e demais parâmetros mantidos constantes

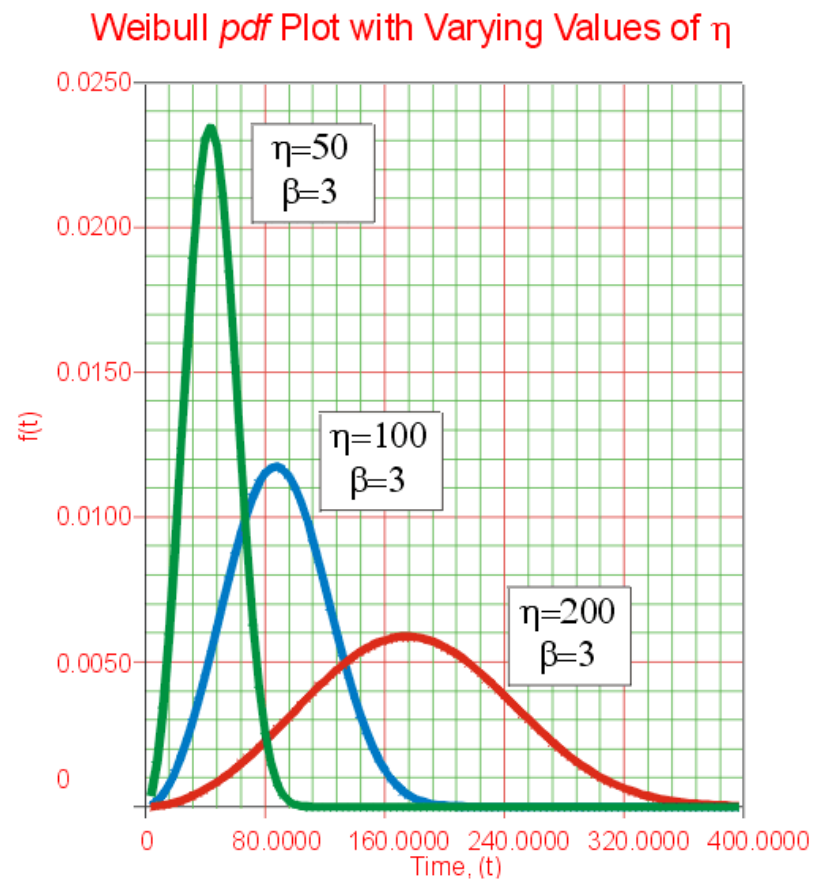
Figura 22 - Influência do parâmetro de forma na função de probabilidade de Weibull



Fonte: Revista HotWire (2005)

O parâmetro de escala,  $\eta$ , tem efeito de mudança de escala no eixo da abscissa, ou seja, manter constante o parâmetro de forma e aumentar o parâmetro de escala tem o efeito de estender a f.d.p.

Figura 23 - Influência do parâmetro de escala na função de probabilidade de Weibull



Fonte: Revista HotWire (2005)

## ANEXO 5 – MEMÓRIA DE CÁLCULO E VARIÁVEIS DE APOIO

## ➤ PROJEÇÕES DE PIB E CRESCIMENTO POPULACIONAL

Quadro 18 - Projeção de PIB e população para o cenário dinheiro é o que importa

<b>CENÁRIO DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>					
<b>ANO</b>	<b>PIB (milhões de R\$)</b>	<b>VARIAÇÃO DO PIB (%)</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>CRESCIMENTO POPULACIONAL (%)</b>	<b>RENDA PER CAPITA</b>
2007	176.615,10	-	10.844.476	-	16.286,18
2008	199.494,20	13,0	10.906.958	0,58	18.290,54
2009	215.863,90	8,2	10.965.071	0,53	19.686,50
2010	252.482,60	17,0	11.019.030	0,49	22.913,32
2011	280.578,70	11,1	11.069.861	0,46	25.346,18
2012	296.342,60	5,6	11.118.261	0,44	26.653,68
2013	313.530,47	5,8	11.164.043	0,41	28.083,95
2014	323.563,45	3,2	11.207.274	0,39	28.870,84
2015	333.917,48	3,2	11.247.972	0,36	29.686,90
2016	344.602,84	3,2	11.286.500	0,34	30.532,30
2017	355.630,13	3,2	11.322.895	0,32	31.408,06
2018	367.010,29	3,2	11.356.804	0,30	32.316,34
2019	378.754,62	3,2	11.388.156	0,28	33.258,64
2020	390.874,77	3,2	11.416.895	0,25	34.236,52
2021	403.382,76	3,2	11.442.766	0,23	35.252,21
2022	416.291,01	3,2	11.465.705	0,20	36.307,49
2023	429.612,32	3,2	11.485.875	0,18	37.403,53
2024	443.359,91	3,2	11.503.184	0,15	38.542,36
2025	457.547,43	3,2	11.517.560	0,12	39.726,07
2026	472.188,95	3,2	11.528.820	0,10	40.957,27
2027	487.299,00	3,2	11.536.938	0,07	42.238,16
2028	502.892,56	3,2	11.542.054	0,04	43.570,46
2029	518.985,13	3,2	11.544.082	0,02	44.956,81
2030	535.592,65	3,2	11.542.948	-0,01	46.399,99

Fonte: O autor

Quadro 19 - Projeção de PIB e população para o cenário sustentabilidade é o objetivo

<b>CENÁRIO SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>					
<b>ANO</b>	<b>PIB (milhões de R\$)</b>	<b>VARIAÇÃO DO PIB (%)</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>CRESCIMENTO POPULACIONAL (%)</b>	<b>RENDA PER CAPITA</b>
<b>2007</b>	176.615,10	-	10.844.476	-	16.286,18
<b>2008</b>	199.494,20	13,0	10.906.958	0,58	18.290,54
<b>2009</b>	215.863,90	8,2	10.965.071	0,53	19.686,50
<b>2010</b>	252.482,60	17,0	11.019.030	0,49	22.913,32
<b>2011</b>	280.578,70	11,1	11.069.861	0,46	25.346,18
<b>2012</b>	296.342,60	5,6	11.118.261	0,44	26.653,68
<b>2013</b>	313.530,47	5,8	11.164.043	0,41	28.083,95
<b>2014</b>	326.385,22	4,1	11.207.274	0,39	29.122,62
<b>2015</b>	339.767,01	4,1	11.247.972	0,36	30.206,96
<b>2016</b>	353.697,46	4,1	11.286.500	0,34	31.338,10
<b>2017</b>	368.199,06	4,1	11.322.895	0,32	32.518,10
<b>2018</b>	383.295,22	4,1	11.356.804	0,30	33.750,27
<b>2019</b>	399.010,32	4,1	11.388.156	0,28	35.037,31
<b>2020</b>	415.369,75	4,1	11.416.895	0,25	36.382,02
<b>2021</b>	432.399,91	4,1	11.442.766	0,23	37.788,06
<b>2022</b>	450.128,30	4,1	11.465.705	0,20	39.258,67
<b>2023</b>	468.583,56	4,1	11.485.875	0,18	40.796,51
<b>2024</b>	487.795,49	4,1	11.503.184	0,15	42.405,26
<b>2025</b>	507.795,10	4,1	11.517.560	0,12	44.088,77
<b>2026</b>	528.614,70	4,1	11.528.820	0,10	45.851,59
<b>2027</b>	550.287,91	4,1	11.536.938	0,07	47.697,92
<b>2028</b>	572.849,71	4,1	11.542.054	0,04	49.631,52
<b>2029</b>	596.336,55	4,1	11.544.082	0,02	51.657,34
<b>2030</b>	620.786,35	4,1	11.542.948	-0,01	53.780,57

Fonte: O autor

Quadro 20 - Projeção de PIB e população para o cenário salvem o planeta

<b>CENÁRIO SALVEM O PLANETA</b>					
<b>ANO</b>	<b>PIB (milhões de R\$)</b>	<b>VARIAÇÃO DO PIB (%)</b>	<b>POPULAÇÃO</b>	<b>CRESCIMENTO POPULACIONAL (%)</b>	<b>RENDA PER CAPITA</b>
<b>2007</b>	176.615,10	-	10.844.476	-	16.286,18
<b>2008</b>	199.494,20	13,0	10.906.958	0,58	18.290,54
<b>2009</b>	215.863,90	8,2	10.965.071	0,53	19.686,50
<b>2010</b>	252.482,60	17,0	11.019.030	0,49	22.913,32
<b>2011</b>	280.578,70	11,1	11.069.861	0,46	25.346,18
<b>2012</b>	296.342,60	5,6	11.118.261	0,44	26.653,68
<b>2013</b>	313.530,47	5,8	11.164.043	0,41	28.083,95
<b>2014</b>	329.520,52	5,1	11.207.274	0,39	29.402,38
<b>2015</b>	346.326,07	5,1	11.247.972	0,36	30.790,09
<b>2016</b>	363.988,70	5,1	11.286.500	0,34	32.249,92
<b>2017</b>	382.552,12	5,1	11.322.895	0,32	33.785,72
<b>2018</b>	402.062,28	5,1	11.356.804	0,30	35.402,77
<b>2019</b>	422.567,46	5,1	11.388.156	0,28	37.105,87
<b>2020</b>	444.118,40	5,1	11.416.895	0,25	38.900,10
<b>2021</b>	466.768,44	5,1	11.442.766	0,23	40.791,57
<b>2022</b>	490.573,63	5,1	11.465.705	0,20	42.786,17
<b>2023</b>	515.592,88	5,1	11.485.875	0,18	44.889,30
<b>2024</b>	541.888,12	5,1	11.503.184	0,15	47.107,66
<b>2025</b>	569.524,42	5,1	11.517.560	0,12	49.448,36
<b>2026</b>	598.570,16	5,1	11.528.820	0,10	51.919,46
<b>2027</b>	629.097,24	5,1	11.536.938	0,07	54.528,96
<b>2028</b>	661.181,20	5,1	11.542.054	0,04	57.284,54
<b>2029</b>	694.901,44	5,1	11.544.082	0,02	60.195,47
<b>2030</b>	730.341,41	5,1	11.542.948	-0,01	63.271,65

Fonte: O autor

➤ **TARIFA MÉDIA PRATICADA NO RIO GRANDE DO SUL  
CONSIDERANDO IMPOSTOS INCIDENTES**

Quadro 21 - Tarifa final média pratica no RS considerando impostos

ANO	TARIFA MÉDIA FINAL (R\$/KWh)		
	DINHEIRO É O QUE IMPORTA	SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO	SALVEM O PLANETA
2003	0,337761924	0,337761924	0,337761924
2004	0,37789803	0,37789803	0,37789803
2005	0,420684954	0,420684954	0,420684954
2006	0,448604485	0,448604485	0,448604485
2007	0,405623191	0,405623191	0,405623191
2008	0,415717829	0,415717829	0,415717829
2009	0,430477293	0,430477293	0,430477293
2010	0,441858674	0,441858674	0,441858674
2011	0,467995633	0,467995633	0,467995633
2012	0,499329679	0,499329679	0,499329679
2013	0,396636297	0,396636297	0,396636297
2014	0,397692963	0,397692963	0,397692963
2015	0,398673171	0,358805854	0,478407805
2016	0,426238573	0,383614716	0,511486288
2017	0,433403998	0,390063598	0,520084797
2018	0,440569423	0,39651248	0,528683307
2019	0,447734847	0,402961363	0,537281817
2020	0,454900272	0,409410245	0,545880326
2021	0,462065697	0,415859127	0,554478836
2022	0,469231121	0,422308009	0,563077346
2023	0,476396546	0,428756892	0,571675855
2024	0,483561971	0,435205774	0,580274365
2025	0,490727396	0,441654656	0,588872875
2026	0,49789282	0,448103538	0,597471385
2027	0,505058245	0,454552421	0,606069894
2028	0,51222367	0,461001303	0,614668404
2029	0,519389095	0,467450185	0,623266914
2030	0,526554519	0,473899068	0,631865423
2031	0,533719944	0,48034795	0,640463933
2032	0,540885369	0,486796832	0,649062443
2033	0,548050794	0,493245714	0,657660952
2034	0,555216218	0,499694597	0,666259462
2035	0,562381643	0,506143479	0,674857972
2036	0,569547068	0,512592361	0,683456482
2037	0,576712493	0,519041243	0,692054991
2038	0,583877917	0,525490126	0,700653501
2039	0,591043342	0,531939008	0,709252011



<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 21</b>			
<b>ANO</b>	<b>DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>	<b>SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>	<b>SALVEM O PLANETA</b>
<b>2040</b>	0,598208767	0,53838789	0,71785052
<b>2041</b>	0,605374192	0,544836772	0,72644903
<b>2042</b>	0,612539616	0,551285655	0,73504754
<b>2043</b>	0,619705041	0,557734537	0,743646049
<b>2044</b>	0,626870466	0,564183419	0,752244559
<b>2045</b>	0,634035891	0,570632302	0,760843069
<b>2046</b>	0,641201315	0,577081184	0,769441578
<b>2047</b>	0,64836674	0,583530066	0,778040088
<b>2048</b>	0,655532165	0,589978948	0,786638598
<b>2049</b>	0,66269759	0,596427831	0,795237108
<b>2050</b>	0,669863014	0,602876713	0,803835617

Fonte: O autor

➤ MÉDIA DOS INDICADORES DE CONTINUIDADE NO RS

Quadro 22 - Indicadores de continuidade no RS

<b>INDICADORES DE CONTINUIDADE PARA RIO GRANDE DO SUL</b>				
<b>ANO</b>	<b>DEC</b>	<b>DEC LIMITE</b>	<b>FEC</b>	<b>FEC LIMITE</b>
<b>2000</b>	17,79	35,96	14,79	33,47
<b>2001</b>	22,02	25,53	19,62	24,80
<b>2002</b>	22,20	22,63	19,27	21,76
<b>2003</b>	21,76	23,84	16,17	20,99
<b>2004</b>	18,24	21,38	13,40	19,14
<b>2005</b>	22,41	20,38	14,94	18,46
<b>2006</b>	21,68	19,33	13,85	17,76
<b>2007</b>	21,44	18,23	14,03	16,90
<b>2008</b>	20,11	17,32	13,09	16,07
<b>2009</b>	21,07	16,87	12,14	15,69
<b>2010</b>	18,33	16,07	11,58	14,61
<b>2011</b>	16,10	15,75	11,85	14,11
<b>2012</b>	17,06	14,20	10,79	12,72
<b>2013</b>	19,09	13,62	11,50	11,99
<b>2014</b>	16,62	13,46	10,38	11,88
<b>2015</b>	16,36	12,95	10,03	10,85
<b>2016</b>	16,11	12,14	9,69	9,83
<b>2017</b>	15,87	11,34	9,36	8,94
<b>2018</b>	15,63	10,66	9,05	8,16
<b>2019</b>	15,40	10,43	8,75	7,30
<b>2020</b>	15,17	10,15	8,47	7,16
<b>2021</b>	14,95	9,88	8,19	7,02

<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 22</b>				
<b>ANO</b>	<b>DEC</b>	<b>DEC LIMITE</b>	<b>FEC</b>	<b>FEC LIMITE</b>
<b>2022</b>	14,73	9,63	7,93	6,90
<b>2023</b>	14,52	9,39	7,68	6,79
<b>2024</b>	14,31	9,16	7,43	6,68
<b>2025</b>	14,11	8,94	7,20	6,57
<b>2026</b>	13,91	8,74	6,97	6,48
<b>2027</b>	13,72	8,54	6,76	6,39
<b>2028</b>	13,53	8,36	6,55	6,30
<b>2029</b>	13,34	8,18	6,35	6,22
<b>2030</b>	13,16	8,02	6,16	6,15

Fonte: O autor

➤ **RETORNO DO INVESTIMENTO (PAYBACK) E CUSTO INSTALADO**

Quadro 23 - Payback para o cenário dinheiro é o que importa

<b>DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>		
<b>ANO</b>	<b>CUSTO INSTALADO (R\$)</b>	<b>PAYBACK (ANOS)</b>
<b>2014</b>	32040,00	24,13
<b>2015</b>	30758,40	23,07
<b>2016</b>	29528,06	21,97
<b>2017</b>	28346,94	20,94
<b>2018</b>	27213,06	19,96
<b>2019</b>	26124,54	19,02
<b>2020</b>	25079,56	18,12
<b>2021</b>	24076,38	17,26
<b>2022</b>	23113,32	16,43
<b>2023</b>	22188,79	15,65
<b>2024</b>	21301,24	14,90
<b>2025</b>	20449,19	14,18
<b>2026</b>	19631,22	13,49
<b>2027</b>	18845,97	12,84
<b>2028</b>	18092,13	12,21
<b>2029</b>	17368,45	11,62
<b>2030</b>	16673,71	11,05

Fonte: O autor

Quadro 24 - Payback para o cenário sustentabilidade é o objetivo

<b>CENÁRIO SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>		
<b>ANO</b>	<b>CUSTO INSTALADO (R\$)</b>	<b>PAYBACK (ANOS)</b>
<b>2014</b>	25632,00	18,23
<b>2015</b>	24350,40	17,18
<b>2016</b>	23132,88	16,16
<b>2017</b>	27470,30	18,57
<b>2018</b>	26096,78	17,53
<b>2019</b>	24791,94	16,53
<b>2020</b>	23552,34	15,59
<b>2021</b>	22374,73	14,69
<b>2022</b>	21255,99	13,85
<b>2023</b>	20193,19	13,05
<b>2024</b>	19183,53	12,29
<b>2025</b>	18224,35	11,57
<b>2026</b>	17313,14	10,90
<b>2027</b>	16447,48	10,26
<b>2028</b>	15625,11	9,65
<b>2029</b>	14843,85	9,09
<b>2030</b>	14101,66	8,55

Fonte: O autor

Quadro 25 - Payback para o cenário salvem o planeta

<b>CENÁRIO SALVEM O PLANETA</b>		
<b>ANO</b>	<b>CUSTO INSTALADO (R\$)</b>	<b>PAYBACK (ANOS)</b>
<b>2014</b>	22428,00	13,91
<b>2015</b>	21082,32	12,82
<b>2016</b>	19817,38	11,91
<b>2017</b>	18628,34	11,10
<b>2018</b>	17510,64	10,33
<b>2019</b>	16460,00	9,62
<b>2020</b>	15472,40	8,95
<b>2021</b>	20777,22	11,62
<b>2022</b>	19530,59	10,83
<b>2023</b>	18358,75	10,09
<b>2024</b>	17257,23	9,40
<b>2025</b>	16221,79	8,75
<b>2026</b>	15248,49	8,15
<b>2027</b>	14333,58	7,58

<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 25</b>		
<b>ANO</b>	<b>CUSTO INSTALADO (R\$)</b>	<b>PAYBACK (ANOS)</b>
<b>2028</b>	13473,56	7,06
<b>2029</b>	12665,15	6,57
<b>2030</b>	11905,24	6,11

Fonte: O autor

➤ **CONSUMO PROJETADO SEM CONSIDERAR INSERÇÃO FOTOVOLTAICA**

Quadro 26 - Consumo residencial sem considerar inserção fotovoltaica (GWh)

<b>CONSUMO PROJETADO SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>			
<b>ANO</b>	<b>DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>	<b>SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>	<b>SALVEM O PLANETA</b>
<b>2008</b>	6081,70	6081,70	6081,70
<b>2009</b>	6369,18	6369,18	6369,18
<b>2010</b>	6673,04	6673,04	6673,04
<b>2011</b>	6866,17	6866,17	6866,17
<b>2012</b>	7238,05	7238,05	7238,05
<b>2013</b>	7721,01	7721,01	7721,01
<b>2014</b>	7558,83	7624,75	7698,00
<b>2015</b>	7785,99	7834,68	7871,14
<b>2016</b>	8038,42	8087,20	8121,83
<b>2017</b>	8202,28	8251,31	8285,13
<b>2018</b>	8421,98	8471,68	8505,11
<b>2019</b>	8646,40	8696,76	8729,72
<b>2020</b>	8875,59	8926,58	8958,99
<b>2021</b>	9090,02	9141,45	9173,02
<b>2022</b>	9348,74	9400,91	9431,94
<b>2023</b>	9592,43	9645,15	9675,34
<b>2024</b>	9841,05	9894,28	9923,52
<b>2025</b>	10094,60	10148,31	10176,48
<b>2026</b>	10353,20	10407,35	10434,33
<b>2027</b>	10616,74	10671,27	10696,93
<b>2028</b>	10885,04	10939,91	10964,12
<b>2029</b>	11158,33	11213,49	11236,09
<b>2030</b>	11436,58	11491,97	11512,81

Fonte: O autor

➤ VARIÁVEIS COMUNS A TODOS CENÁRIOS

Quadro 27 – Variáveis comuns a todos cenários

<b>VARIÁVEIS COMUNS A TODOS CENÁRIOS</b>				
<b>Ano</b>	<b>Pop. (pessoas) (Fonte: IBGE)</b>	<b>Cresc. Pop. (%)</b>	<b>Nº dom. perm.</b>	<b>TAXA DE URBANIZAÇÃO (Fonte: EPE)</b>
2014	11207274	0,39	3813487	0,859
2015	11247972	0,36	3862070	0,862
2016	11286500	0,34	3910451	0,864
2017	11322895	0,32	3958629	0,866
2018	11356804	0,30	4006464	0,869
2019	11388156	0,28	4053913	0,871
2020	11416895	0,25	4100936	0,873
2021	11442766	0,23	4147419	0,876
2022	11465705	0,20	4193317	0,878
2023	11485875	0,18	4238666	0,88
2024	11503184	0,15	4283407	0,883
2025	11517560	0,12	4327489	0,885
2026	11528820	0,10	4370818	0,888
2027	11536938	0,07	4413354	0,89
2028	11542054	0,04	4455124	0,892
2029	11544082	0,02	4496066	0,895
2030	11542948	-0,01	4536121	0,897

Fonte: O autor

➤ BASE DE CÁLCULO PARA FATOR DE COMPORTAMENTO DA PROSUMIDOR

Quadro 28 - Projeção das variáveis que compõem o fator de comportamento

<b>ANO</b>	<b>PERCENTUAL COM ENSINO MÉDIO COMPLETO</b>	<b>PERCENTUAL COM ENSINO SUPERIOR COMPLETO</b>	<b>IDH EDUCAÇÃO</b>
2014	36,28	9,17	0,54
2015	37,68	9,59	0,55
2016	39,14	10,03	0,55
2017	40,66	10,49	0,55
2018	42,23	10,97	0,56
2019	43,87	11,48	0,56
2020	45,57	12,01	0,57
2021	47,33	12,56	0,57
2022	49,17	13,14	0,57
2023	51,07	13,74	0,58
2024	53,05	14,37	0,58
2025	55,10	15,04	0,58

<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 28</b>			
<b>ANO</b>	<b>PERCENTUAL COM ENSINO MÉDIO COMPLETO</b>	<b>PERCENTUAL COM ENSINO SUPERIOR COMPLETO</b>	<b>IDH EDUCAÇÃO</b>
<b>2026</b>	57,24	15,73	0,59
<b>2027</b>	59,45	16,45	0,59
<b>2028</b>	61,76	17,21	0,60
<b>2029</b>	64,15	18,00	0,60
<b>2030</b>	66,63	18,83	0,60

Fonte: IBGE (2014)

➤ **FATORES DE CORREÇÃO**

Quadro 29 - Fatores de correção para o cenário dinheiro é o que importa

<b>CENÁRIO DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>				
<b>ANO</b>	<b>FATOR DE RENDA</b>	<b>FATOR DE VERTICALIZAÇÃO</b>	<b>FATOR DE CONTINUIDADE</b>	<b>FATOR DE COMPORTAMENTO</b>
<b>2014</b>	0,136	0,720	1,078	1,000
<b>2015</b>	0,140	0,718	1,167	1,039
<b>2016</b>	0,144	0,716	1,308	1,080
<b>2017</b>	0,148	0,714	1,466	1,123
<b>2018</b>	0,152	0,712	1,627	1,167
<b>2019</b>	0,157	0,711	1,771	1,212
<b>2020</b>	0,161	0,709	1,769	1,260
<b>2021</b>	0,166	0,707	1,765	1,309
<b>2022</b>	0,171	0,705	1,758	1,360
<b>2023</b>	0,176	0,704	1,750	1,413
<b>2024</b>	0,181	0,702	1,740	1,468
<b>2025</b>	0,187	0,700	1,728	1,525
<b>2026</b>	0,193	0,699	1,715	1,585
<b>2027</b>	0,199	0,697	1,699	1,646
<b>2028</b>	0,205	0,695	1,683	1,710
<b>2029</b>	0,212	0,694	1,665	1,776
<b>2030</b>	0,218	0,692	1,645	1,845

Fonte: O autor

Quadro 30 - Fatores de correção para o cenário sustentabilidade é o objetivo

<b>CENÁRIO SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>				
<b>ANO</b>	<b>FATOR DE RENDA</b>	<b>FATOR DE VERTICALIZAÇÃO</b>	<b>FATOR CONTINUIDADE</b>	<b>FATOR DE COMPORTAMENTO</b>
2014	0,137	0,720	1,078	1,000
2015	0,142	0,718	1,167	1,094
2016	0,148	0,716	1,308	1,197
2017	0,153	0,714	1,466	1,309
2018	0,159	0,712	1,627	1,432
2019	0,165	0,711	1,771	1,567
2020	0,171	0,709	1,769	1,714
2021	0,178	0,707	2,063	1,875
2022	0,185	0,705	2,055	2,050
2023	0,192	0,704	2,046	2,242
2024	0,200	0,702	2,034	2,452
2025	0,208	0,700	2,020	2,682
2026	0,216	0,699	2,239	2,933
2027	0,225	0,697	2,220	3,207
2028	0,234	0,695	2,198	3,506
2029	0,243	0,694	2,174	3,834
2030	0,253	0,692	2,149	4,191

Fonte: O autor

Quadro 31 - Fatores de correção para o cenário salvem o planeta

<b>CENÁRIO SALVEM O PLANETA</b>				
<b>ANO</b>	<b>FATOR DE RENDA</b>	<b>FATOR DE VERTICALIZAÇÃO</b>	<b>FATOR CONTINUIDADE</b>	<b>FATOR DE COMPORTAMENTO</b>
2014	0,138	0,720	1,260	1,000
2015	0,145	0,718	1,364	1,149
2016	0,152	0,716	1,529	1,320
2017	0,159	0,714	1,713	1,516
2018	0,167	0,712	1,902	1,741
2019	0,175	0,711	2,070	2,000
2020	0,183	0,709	2,068	2,297
2021	0,192	0,707	2,305	2,638
2022	0,201	0,705	2,297	3,029
2023	0,211	0,704	2,286	3,479
2024	0,222	0,702	2,273	3,995
2025	0,233	0,700	3,072	4,587
2026	0,244	0,699	3,048	5,266
2027	0,257	0,697	3,021	6,047
2028	0,270	0,695	2,991	6,942
2029	0,283	0,694	2,959	7,970

<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 31</b>				
<b>ANO</b>	<b>FATOR DE RENDA</b>	<b>FATOR DE VERTICALIZAÇÃO</b>	<b>FATOR CONTINUIDADE</b>	<b>FATOR DE COMPORTAMENTO</b>
<b>2030</b>	0,298	0,692	2,925	9,149

Fonte: O autor

➤ CONSUMO PROJETADO COM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA E SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA

Quadro 32 - Consumo para o cenário dinheiro é o que importa

<b>CENÁRIO DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>		
<b>ANO</b>	<b>CONSUMO PROJETADO COM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>	<b>CONSUMO PROJETADO SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>
<b>2008</b>	6081,70	6081,70
<b>2009</b>	6369,18	6369,18
<b>2010</b>	6673,04	6673,04
<b>2011</b>	6866,17	6866,17
<b>2012</b>	7238,05	7238,05
<b>2013</b>	7721,01	7721,01
<b>2014</b>	7556,86	7558,83
<b>2015</b>	7783,59	7785,99
<b>2016</b>	8035,36	8038,42
<b>2017</b>	8198,40	8202,28
<b>2018</b>	8417,10	8421,98
<b>2019</b>	8640,38	8646,40
<b>2020</b>	8868,77	8875,59
<b>2021</b>	9082,31	9090,02
<b>2022</b>	9340,02	9348,74
<b>2023</b>	9582,59	9592,43
<b>2024</b>	9829,94	9841,05
<b>2025</b>	10082,09	10094,60
<b>2026</b>	10339,11	10353,20
<b>2027</b>	10600,89	10616,74
<b>2028</b>	10867,23	10885,04
<b>2029</b>	11138,33	11158,33
<b>2030</b>	11414,14	11436,58

Fonte: O autor



Quadro 33 - Consumo para o cenário sustentabilidade é o objetivo

<b>CENÁRIO SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>		
<b>ANO</b>	<b>CONSUMO PROJETADO COM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>	<b>CONSUMO PROJETADO SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>
2008	6081,70	6081,70
2009	6369,18	6369,18
2010	6673,04	6673,04
2011	6866,17	6866,17
2012	7238,05	7238,05
2013	7721,01	7721,01
2014	7622,11	7624,75
2015	7831,20	7834,68
2016	8082,45	8087,20
2017	8246,02	8251,31
2018	8464,53	8471,68
2019	8687,30	8696,76
2020	8915,09	8926,58
2021	9125,13	9141,45
2022	9381,14	9400,91
2023	9621,19	9645,15
2024	9865,28	9894,28
2025	10113,23	10148,31
2026	10359,95	10407,35
2027	10614,08	10671,27
2028	10870,93	10939,91
2029	11130,36	11213,49
2030	11391,86	11491,97

Fonte: O autor

Quadro 34 - Consumo projetado para o cenário salvem o planeta

<b>CENÁRIO SALVEM O PLANETA</b>		
<b>ANO</b>	<b>CONSUMO PROJETADO COM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>	<b>CONSUMO PROJETADO SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>
2008	6081,70	6081,70
2009	6369,18	6369,18
2010	6673,04	6673,04
2011	6866,17	6866,17
2012	7238,05	7238,05
2013	7721,01	7721,01
2014	7693,88	7698,00
2015	7865,29	7871,14
2016	8113,24	8121,83
2017	8272,57	8285,13

<b>CONTINUAÇÃO DO QUADRO 34</b>		
<b>ANO</b>	<b>CONSUMO PROJETADO COM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>	<b>CONSUMO PROJETADO SEM INSERÇÃO FOTOVOLTAICA (GWh)</b>
<b>2018</b>	8486,90	8505,11
<b>2019</b>	8703,83	8729,72
<b>2020</b>	8925,23	8958,99
<b>2021</b>	9137,94	9173,02
<b>2022</b>	9386,27	9431,94
<b>2023</b>	9616,03	9675,34
<b>2024</b>	9846,54	9923,52
<b>2025</b>	10040,45	10176,48
<b>2026</b>	10258,39	10434,33
<b>2027</b>	10469,21	10696,93
<b>2028</b>	10669,73	10964,12
<b>2029</b>	10855,70	11236,09
<b>2030</b>	11021,88	11512,81

Fonte: O autor

- COMPARAÇÃO ENTRE A METODOLOGIA PROPOSTA E A DE LAUTENSCHLEGER

Quadro 35 - Comparação da taxa de adesão por metodologia

<b>TAXA DE ADESÃO (%)</b>						
	<b>CENÁRIO</b>					
<b>ANO</b>	<b>DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>	<b>CHUVOSO</b>	<b>SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>	<b>NUBLADO</b>	<b>SALVEM O PLANETA</b>	<b>ENSOLARADO</b>
<b>2014</b>	0,01230	0,00006	0,01651	0,00012	0,02566	0,00025
<b>2015</b>	0,01486	0,00031	0,02150	0,00062	0,03619	0,00124
<b>2016</b>	0,01867	0,00310	0,02903	0,00620	0,05245	0,01240
<b>2017</b>	0,02343	0,03100	0,03197	0,06200	0,07582	0,12400
<b>2018</b>	0,02913	0,12400	0,04264	0,24800	0,10860	0,49600
<b>2019</b>	0,03553	0,31000	0,05580	0,62000	0,15261	1,24000
<b>2020</b>	0,03978	0,62000	0,06703	1,24000	0,19682	2,48000
<b>2021</b>	0,04451	1,24000	0,09404	2,48000	0,20251	4,96000
<b>2022</b>	0,04976	1,86000	0,11280	3,72000	0,26039	7,44000

Fonte: O autor

Quadro 36 - Consumo por residência (MWh)

<b>CONSUMO PROJETADO POR DOMICÍLIO COM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA (MWh)</b>						
<b>ANO</b>	<b>CENÁRIO</b>					
	<b>DINHEIRO É O QUE IMPORTA</b>	<b>SUSTENTABILIDADE É O OBJETIVO</b>	<b>SALVEM O PLANETA</b>	<b>CHUVOSO</b>	<b>NUBLADO</b>	<b>ENSOLARADO</b>
<b>2014</b>	1,9816	1,9987	2,0175	1,9292	1,8114	1,7249
<b>2015</b>	2,0154	2,0277	2,0365	2,0888	1,8984	1,7773
<b>2016</b>	2,0548	2,0669	2,0748	2,1855	1,9870	1,8837
<b>2017</b>	2,0710	2,0830	2,0898	2,2688	2,0338	1,9000
<b>2018</b>	2,1009	2,1127	2,1183	2,3273	2,0770	1,9310
<b>2019</b>	2,1314	2,1429	2,1470	2,3964	2,1385	1,9973
<b>2020</b>	2,1626	2,1739	2,1764	2,4328	2,1445	1,9575
<b>2021</b>	2,1899	2,2002	2,2033	2,4763	2,1638	1,9423
<b>2022</b>	2,2274	2,2372	2,2384	2,5111	2,1793	1,9272
<b>2023</b>	2,2608	2,2699	2,2686	2,5631	2,2292	1,9808

Fonte: O autor