

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ALINE RODRIGUES

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
BATERIA INTEGRADA AO INVERSOR NO ÂMBITO DA TARIFA
BRANCA**

Araranguá, SC

2019

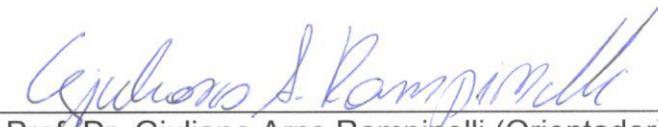
ALINE RODRIGUES

**SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
BATERIA INTEGRADA AO INVERSOR NO ÂMBITO DA TARIFA
BRANCA**

Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 27 de novembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Leonardo Elizeire Bremermann
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher
Universidade Federal de Santa Catarina

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rodrigues, Aline
SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM
BATERIA INTEGRADA AO INVERSOR NO ÂMBITO DA TARIFA BRANCA /
Aline Rodrigues ; orientador, Giuliano Arns Rampinelli,
2019.
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Tarifa Branca. 3. Sistema
Fotovoltaico Conectado à Rede. 4. Bateria Integrada ao
Inversor. I. Rampinelli, Giuliano Arns. II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Energia. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por iluminar meus caminhos me concedendo forças para ir atrás dos meus objetivos. À minha família, especialmente meus pais, por sempre estarem ao meu lado, me dando amor, apoio e incentivo. Ao meu namorado, pela parceria e apoio. Ao meu orientador, Prof. Dr. Giuliano, por me auxiliar na realização deste trabalho e ser um excelente profissional. Aos professores que compõem a minha banca examinadora, Prof. Dr. Leonardo e Prof. Dr. Luciano, que tenho grande respeito.

RESUMO

Os consumidores cativos do grupo B, especificamente, do subgrupo B1, residencial, pagam um valor de tarifa correspondente à energia elétrica consumida. As tarifas destinadas a esse subgrupo são a tarifa branca e convencional. Aprovada em 2016, a tarifa branca, é subdividida em horários de ponta, intermediário e fora de ponta, com diferentes valores de tarifa para os respectivos horários. A tarifa convencional, tem apenas um valor fixo de tarifa, independente do horário. Uma alternativa para os consumidores não apenas utilizarem a energia elétrica proveniente da rede, é a geração distribuída, ela permite que o consumidor possa gerar sua própria energia elétrica, e é regulamentada no Brasil pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. A fonte solar fotovoltaica é a mais usada pelos consumidores brasileiros na geração distribuída. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede e que possuem baterias integradas aos inversores, apresentam a possibilidade de armazenar energia na bateria e descarregar nos horários solicitados. Este trabalho apresenta a simulação e análise de sistemas fotovoltaicos conectados à rede e com bateria de 2, 4 e 10 kWh integrada aos inversores no âmbito da tarifa branca. Nas simulações foram consideradas distintas curvas de carga residenciais e diferentes sistemas fotovoltaicos nos cenários de tarifa convencional e tarifa branca. Os resultados consistiram em comparações sobre o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede, à energia injetada na rede, aos créditos de energia, como também, o custo da fatura de energia elétrica, sendo que tais parâmetros são dependentes da curva de carga do consumidor. Para as curvas de carga selecionadas, o custo da fatura de energia elétrica no âmbito da tarifa branca pode ser reduzido em função da capacidade da bateria.

Palavras-chave: Tarifa Branca. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede. Bateria Integrada ao Inversor.

ABSTRACT

Captive consumers in group B, specifically, subgroup B1, residential, pay a tariff amount corresponding to the electricity consumed. The tariffs for this subgroup are the white and conventional tariffs. Approved in 2016, the white tariff is subdivided into peak, intermediate and off-peak hours, with different tariff values for the respective times. The conventional tariff has only a fixed tariff amount, regardless of time. An alternative for consumers not only to use electricity from the grid, is distributed generation, it allows consumers to generate their own electricity, and is regulated in Brazil by ANEEL Normative Resolution n° 482/2012. The photovoltaic solar source is the most used by Brazilian consumers in distributed generation. Photovoltaic systems connected to the grid and which have integrated batteries to the inverters, have the possibility to store energy in the battery and discharge at the requested times. This paper presents the simulation and analysis of grid-connected photovoltaic systems with 2, 4 and 10 kWh battery integrated with the inverters under the white tariff. In the simulations different residential load curves and different photovoltaic systems were considered in the conventional and white tariff scenarios. The results consisted of comparisons on the amount of the billing corresponding to the electricity of the grid, the injected energy in the grid, the energy credits, as well as the cost of the electricity bill, and these parameters are dependent on the consumer load curve. For the selected load curves, the cost of the electricity bill under the white tariff may be reduced depending on the battery capacity.

Keywords: White Tariff. Grid-connected Photovoltaic System. Inverter with Integrated Battery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Inversor de bateria integrada <i>sunny boy 3600 / 5000 smart energy</i>	18
Figura 2 – Curva de carga de um consumidor residencial real.	20
Figura 3 – Curva de carga diária média no Brasil.	21
Figura 4 – Dados de população, consumo na rede, consumo per capita, consumidores, consumidores residências, consumo médio, consumo residencial médio.	22
Figura 5 – Comparação entre as modalidades branca e convencional.	24
Figura 6 – Composição da estrutura tarifária.	24
Figura 7 – Postos tarifários da tarifa branca.	25
Figura 8 – Tipos de sistemas fotovoltaicos.	27
Figura 9 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede.....	27
Figura 10 – (a) Configuração de um sistema isolado; (b) exemplo de um sistema híbrido.	28
Figura 11 – Curva representativas de dia útil da classe 301 a 500 kWh/mês.....	33
Figura 12 – Curvas representativas de sábado da classe 301 a 500 kWh/mês	33
Figura 13 – Curvas representativas de domingo de classe 301 a 500 kWh/mês.	33
Figura 14 – Despacho de armazenamento para a aplicação da tarifa branca.	36
Figura 15 – Despacho de armazenamento para a aplicação da tarifa convencional.....	37
Figura 16 – Organização dos resultados.....	41
Figura 17 – Curvas de carga para o dia útil, sábado e domingo.....	42
Figura 18 – Valor pago pela energia consumida do cenário 1.	44
Figura 19 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 1.	45
Figura 20 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 1 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.	46
Figura 21 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.....	48
Figura 22 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.....	50
Figura 23 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 1.....	51
Figura 24 – Curva de carga com geração de energia solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 1.	52

Figura 25 – Curva de carga com geração solar da configuração 2 do cenário 1 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.....	53
Figura 26 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.....	55
Figura 27 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.....	56
Figura 28 – Valor da fatura da configuração 2 do cenário 1.	58
Figura 29 – Comparação do valor da fatura para todos os arranjos do cenário 1.	59
Figura 30 – Curvas de carga para dia útil para o verão, outono, inverno e primavera.....	60
Figura 31 – Curvas de carga para o sábado para o verão, outono, inverno e primavera.....	60
Figura 32 – Curvas de carga para o domingo para o verão, outono, inverno e primavera.....	61
Figura 33 – Valor da fatura do cenário 2.....	62
Figura 34 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 2. .	63
Figura 35 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 2 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.	64
Figura 36 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.....	66
Figura 37 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.....	67
Figura 38 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 2.....	68
Figura 39 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 2. .	69
Figura 40 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 2 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.	70
Figura 41 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.....	72
Figura 42 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.....	73
Figura 43 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.....	75

Figura 44 – Valor da fatura para todos os arranjos do cenário 2..... 76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características dos inversores selecionados para cenário 1 e 2.....	35
Quadro 2 – Arranjos.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo cativo por classe de consumo (GWh).....	21
Tabela 2 – Subgrupos do grupo A.....	22
Tabela 3 – Subgrupos do grupo B.....	23
Tabela 4 – Frequência que os sistemas com bateria Li-íon simulados injetam e consomem energia da rede.....	29
Tabela 5 – Frequência que os sistemas com bateria Pb-ácido simulados injetam e consomem energia na/da rede.....	29
Tabela 6 – Resultados para os cenários pertencentes à segunda estratificação.....	30
Tabela 7 – Comparativo de VPLs das duas modalidades tarifárias.....	30
Tabela 8 – Número de dias e horas para os meses de um ano.....	31
Tabela 9 – Média para o consumo mensal entre 80 e 220 kWh para dia útil, sábado e domingo.....	32
Tabela 10 – Irradiação média da cidade de Florianópolis – SC.....	34
Tabela 11: Valores de tarifa convencional para o grupo B sem tributos.....	37
Tabela 12: Valores de tarifa para o grupo B sem tributos para a modalidade tarifária branca.....	38
Tabela 13 – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).....	39
Tabela 14 – Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS).....	39
Tabela 15 – Horários intermediários e ponta para a Celesc Distribuição.....	40
Tabela 16 – Valores de tarifa convencional e branca com impostos.....	41
Tabela 17 – Consumo de energia elétrica do cenário 1.....	43
Tabela 18 – Valor pago pela energia consumida do cenário 1.....	43
Tabela 19 – Quantidade, potência de módulos e inversores, strings, e fator de dimensionamento de inversor.....	44
Tabela 20 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica consumida da rede da configuração 1 do cenário 1.....	47
Tabela 21 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.....	49
Tabela 22 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 1.....	50
Tabela 23 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.....	54

Tabela 24 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.....	56
Tabela 25 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia elétrica da configuração 2 do cenário 1.....	57
Tabela 26 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 1.	57
Tabela 27 – Consumo mensal para o cenário 2.....	61
Tabela 28 – Valor da fatura de energia elétrica do cenário 2.....	62
Tabela 29 – Quantidade, potência de módulos e inversores, strings, e fator de dimensionamento de inversor do cenário 2.....	63
Tabela 30 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.....	65
Tabela 31 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.....	66
Tabela 32 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 2.	68
Tabela 33 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.....	71
Tabela 34 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.....	72
Tabela 35 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.....	73
Tabela 36 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.	74
Tabela 37 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia não utilizados da configuração 2 do cenário 2.....	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN Balanço Energético Nacional
Celpa Centrais Elétricas do Pará
c. a. Corrente Alternada
c. c. Corrente Contínua
COFINS Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
D Disponibilidade
E Energia
EP Energia de Ponta
EI Energia Intermediária
EFP Energia Fora de Ponta
Eletrobras Centrais Elétricas Brasileiras S. A.
EPE Empresa de Pesquisa Energética
Et Consumo Anual
G Irradiância Padrão
HOMER *Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*
HSP Horas de Sol Pleno
H Irradiação Anual
ICMS Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
Li-Íon Íon de Lítio
MME Ministério de Minas e Energia
NMC *Lithium Ion: Nickel Manganese Cobalt Oxide*
NREL *National Renewable Energy Laboratory*
Pb-ácido Chumbo-ácido
 P_{FV} Potência de Pico
PIS Programa de Integração Social
Procel Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SAM *System Advisor Model*
SFCR Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFH Sistema Fotovoltaico Híbrido
SFI Sistema Fotovoltaico Isolado
SFV Sistema Puramente Fotovoltaico

SRD Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição

TB Tarifa Branca

TC Tarifa Convencional

TD Taxa de Desempenho

TE Tarifa de Energia

TEc – E Tarifa de Energia Convencional (R\$/MWh)

Teh – EFP Tarifa de Energia – Horária – Fora Ponta (R\$/MWh)

Teh – EP Tarifa de Energia – Horária – Ponta (R\$/MWh)

TUSD Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

TUSD_b – EFP Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – Branca – Fora Ponta (R\$/MWh)

TUSD_b – EI Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – Branca – Intermediária (R\$/MWh)

TUSD_b – EP Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – Branca – Ponta (R\$/MWh)

TUSD_{cb} – E Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – Convencional (R\$/MWh)

UC Unidade Consumidora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	Objetivo Específicos.....	19
1.2	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	19
2.1.1	Curva de Carga Residencial	20
2.1.2	Consumidores.....	21
2.1.3	Grupo A e Grupo B	22
2.1.4	Tarifas de Energia Brasileiras.....	23
2.1.5	Tarifa Branca	25
2.1.6	Geração Distribuída	26
2.1.7	Sistemas Fotovoltaicos.....	26
2.2	ESTADO DA ARTE	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1	CURVA DE CARGA RESIDENCIAL.....	31
3.1.1	Cenário 1.....	31
3.1.2	Cenário 2.....	32
3.2	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	34
3.3	<i>SOFTWARE SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)</i>	35
3.4	TARIFAS DE ENERGIA.....	37
3.5	ARRANJOS.....	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	CENÁRIO 1.....	42
4.1.1	Configuração 1	45

4.1.2	Configuração 2.....	52
4.1.3	Análise das Configurações	59
4.2	CENÁRIO 2.....	60
4.2.1	Configuração 1.....	63
4.2.2	Configuração 2.....	69
4.2.3	Análise das Configurações	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o consumo de energia elétrica está em constante crescimento, devido aos avanços tecnológicos. Geralmente, as residências possuem uma quantidade maior de equipamentos elétricos e eletrônicos do que antigamente. Entre os setores que contribuíram para o crescimento do consumo final de eletricidade no Brasil em 2018, o residencial apresentou a maior taxa de crescimento, com um aumento de consumo em 1,8 TWh (+ 1,3 %) (BRASIL, 2019).

As curvas de carga típicas da classe residencial apresentam picos de consumo a noite, em consequência da utilização do chuveiro elétrico nesse período. Para os consumidores residenciais são aplicados valores de tarifas sobre o consumo de energia elétrica, em que pode ser a tarifa branca com horários de ponta, intermediário e fora de ponta dependendo do dia da semana, ou a convencional com um único valor independente do dia ou hora. Antes da tarifa branca ser criada, existia apenas a tarifa convencional.

A mudança em hábitos de consumo dos consumidores residenciais poderia resultar em um custo menor de fatura de energia elétrica com a escolha da tarifa branca, se o consumo nos horários de ponta e intermediário fossem redirecionados para os horários fora de ponta. Dessa forma, a escolha da melhor modalidade tarifária para uma determinada unidade consumidora depende da curva de carga, pois possibilita uma análise mais precisa.

A energia solar fotovoltaica, utiliza o sol como recurso e é considerada uma tecnologia limpa. Nos dias de hoje, para os consumidores brasileiros a energia solar fotovoltaica está em primeira posição em quantidade de unidades consumidoras e em potência instalada (kW), sendo a tecnologia mais aplicada na geração distribuída (BRASIL, [201-d]). Segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2019, ano base 2018, a energia solar fotovoltaica de 2017 para 2018 cresceu cerca de 316,1 % em geração elétrica (BRASIL, 2019).

As unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos conectadas à rede, geram energia apenas durante o dia. Quando não há radiação solar, a energia consumida é proveniente da rede, em consequência há consumo nos horários de ponta e intermediário, que são horários com valores de tarifa branca mais elevados.

Sendo assim, ao adicionar um banco de baterias aos sistemas fotovoltaicos, ocorre a armazenagem de energia elétrica e o descarregamento em um determinado horário, que podem contribuir para suprir todo ou parte do consumo nos horários de pico ou em horários que a energia é mais cara. A capacidade de energia da bateria é o número total (em Wh) que é

capaz de ser retirado de uma célula ou bateria plenamente carregada (PINHO; GALDINO, 2014).

Os inversores com bateria integrada são inversores com uma pequena bateria incorporada, que podem ser utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Primeiramente, o inversor converte a energia solar c.c. em c.a., para ser consumida instantaneamente. Segundo sua bateria permite armazenar temporariamente a energia para posteriormente ser utilizada. Terceiro, se há algum excedente de energia, o mesmo é injetado à rede elétrica. A Figura 1 apresenta um modelo de bateria integrada ao inversor.

Figura 1 – Inversor de bateria integrada *sunny boy 3600 / 5000 smart energy*.



Fonte: (SMA SOLAR TECHNOLOGY, [201-]).

1.1 OBJETIVOS

A seguir são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho de conclusão de curso.

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo simular e analisar o faturamento, em kWh e em R\$, do consumo de energia elétrica de unidades consumidoras no âmbito da tarifa convencional e branca. No trabalho são analisados três cenários para cada tipo de tarifa:

- Unidade consumidora atendida exclusivamente pela rede elétrica;
- Unidade consumidora atendida pela rede elétrica e com geração distribuída;
- Unidade consumidora atendida pela rede elétrica e com geração distribuída e armazenamento de energia.

1.1.2 Objetivo Específicos

- Identificar e selecionar curvas de carga residenciais típicas a partir da literatura científica;
- Dimensionar distintas configurações de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída com e sem armazenamento de energia;
- Realizar simulações em *software* para as configurações propostas;
- Aplicar as modalidades tarifárias branca e convencional para os diferentes cenários e configurações;
- Analisar a influência do faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica a partir de distintas configurações e cenários propostos.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 seções, a primeira é a introdutória que consiste em apresentar o tema, o objetivo geral e os objetivos específicos. A segunda seção denota de uma revisão bibliográfica referentes as informações sobre os sistemas fotovoltaicos, as tarifas de energia elétrica e os consumidores residenciais.

A terceira seção trata da metodologia utilizada no presente trabalho, em que consiste em definir as curvas de carga utilizadas, as simulações em *software*, e a aplicação das tarifas. A quarta seção aborda os resultados, em que fundamenta-se em comparações entre a tarifa branca e a convencional. A quinta seção apresenta as considerações finais do trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa seção consiste em apresentar o embasamento teórico e o estado da arte relacionados aos sistemas fotovoltaicos, as tarifas de energia elétrica e as curvas de carga típicas residenciais.

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

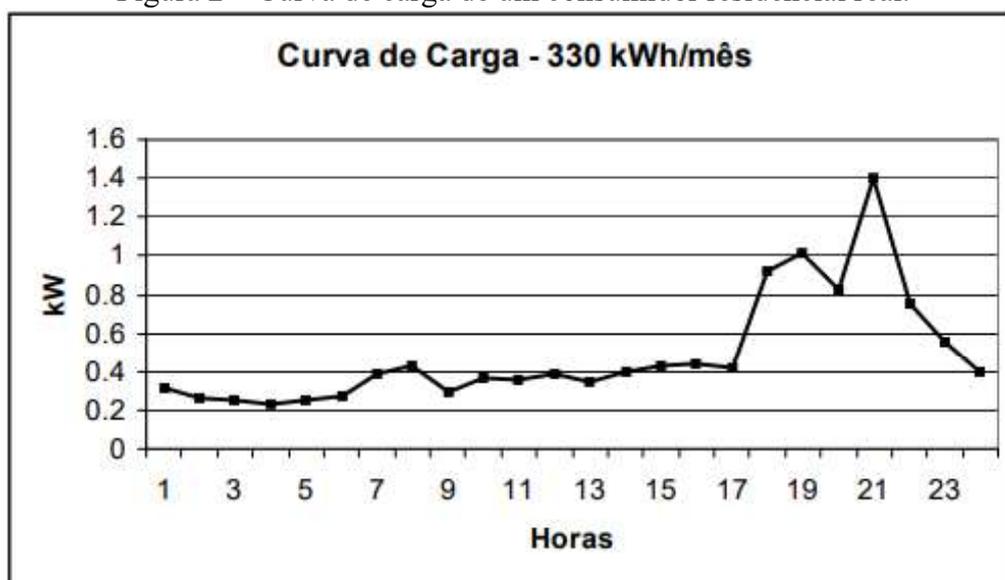
O objetivo dessa seção secundária é apresentar os principais temas abordados no trabalho para auxiliar na compreensão do mesmo.

2.1.1 Curva de Carga Residencial

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) a curva de carga é “um registro horário, em um período diário, das demandas de capacidade, podendo ser, excepcionalmente para período semanal, mensal ou anual” (BRASIL, [201-b], documento eletrônico).

O consumidor residencial dispõe de uma curva de carga representada por um consumo aproximadamente constante ao longo do dia, no final da tarde há um aumento da demanda e um pico entre as 18:00 e 21:00 horas. Normalmente, os picos são causados pelo uso do chuveiro elétrico (FRANCISQUINI, 2006). A Figura 2 ilustra a curva de carga de um dia útil de um consumidor residencial real.

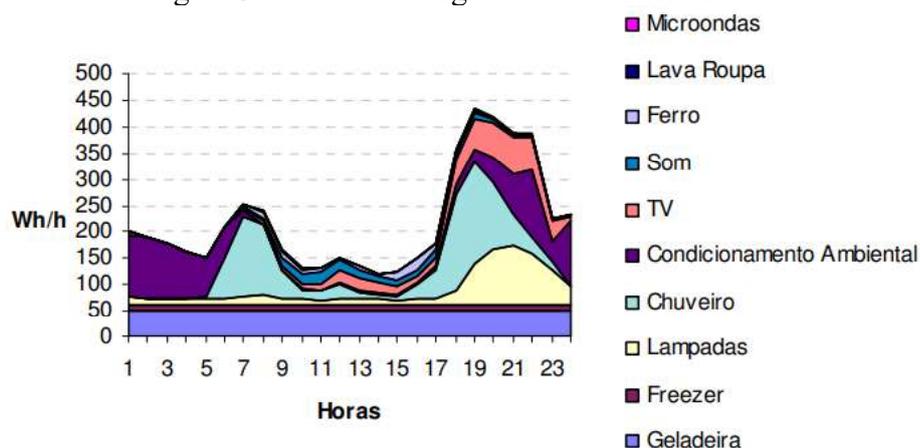
Figura 2 – Curva de carga de um consumidor residencial real.



Fonte: Francisquini (2006).

A Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil do ano base 2005 sucedido pela Eletrobras, por meio do Procel, apresenta a curva de carga diária média no Brasil de um consumidor residencial hipotético, onde mostra a hora e potência em que os equipamentos elétricos foram utilizados (CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A.; PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2007). A curva de carga mostrada na Figura 3, contém um aumento do consumo pela manhã, e praticamente constante no restante do dia, com picos a noite provocados principalmente pelo chuveiro elétrico.

Figura 3 – Curva de carga diária média no Brasil.



Fonte: Centrais Elétricas Brasileiras S.A. e Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (2007).

2.1.2 Consumidores

No Brasil, há basicamente três tipos de consumidores de energia elétrica, o cativo, o livre e o especial. O consumidor cativo é aquele que apenas compra energia da concessionária em que estão conectados. O livre é aquele com demanda acima de 3000 kW, ele tem a autonomia de decidir o seu fornecedor de energia elétrica através de negociação. Já, o especial é aquele com demanda entre 500 kW e 3000 kW, e deve comprar a energia apenas de fontes incentivadas como pequenas centrais hidrelétricas, eólica, biomassa ou solar (BRAGA, 2018; BRASIL, [201-a]; CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, [201-]).

Os consumidores residenciais são enquadrados como consumidores cativos. A Tabela 1 mostra o consumo cativo por classe de consumo, onde o setor residencial tem a maior porcentagem de participação, com 42 % (BRASIL, 2018).

Tabela 1 – Consumo cativo por classe de consumo (GWh).

	2013	2014	2015	2016	2017	Δ% (2017/2016)	Part. % (2017)"	
Brasil	336.740	354.164	349.867	337.323	319.958	-5,1	100	Brazil
Residencial	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368	1,1	42,0	Residential
Industrial	67.180	67.815	63.305	52.816	39.564	-25,1	12,4	Industrial
Comercial	77.399	83.003	83.930	78.892	72.867	-7,6	22,8	Commercial
Rural	23.267	25.442	25.689	26.748	27.563	3,0	8,6	Rural
Poder público	14.584	15.285	15.119	15.022	14.783	-1,6	4,6	Public sector
Iluminação pública	13.512	14.043	14.716	15.035	15.443	2,7	4,8	Public lighting
Serviço público	12.692	13.010	12.615	12.741	12.273	-3,7	3,8	Public service
Próprio	3.197	3.265	3.304	3.196	3.096	-3,1	1,0	Own

Fonte: Brasil (2018).

De acordo com o Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018, ano base 2017, o consumo residencial médio para o Brasil é de 158 kWh/mês e para a região Sul é de 177 kWh/mês (BRASIL, 2018). A Figura 4 apresenta os dados de consumo residencial para as regiões brasileiras.

Figura 4 – Dados de população, consumo na rede, consumo per capita, consumidores, consumidores residências, consumo médio, consumo residencial médio.



Fonte: Brasil (2018).

2.1.3 Grupo A e Grupo B

O grupo A é composto de unidades consumidoras atendidas com tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou a partir de sistema subterrâneo de distribuição atendidas em tensão inferior a 2,3 kV (TAMIETTI, 2009). A Tabela 2 apresenta as subdivisões do grupo A.

Tabela 2 – Subgrupos do grupo A.

Subgrupos	Tensão de fornecimento
A1	Igual ou superior a 230 kV
A2	88 kV a 138 kV
A3	69 kV
A3a	30 kV a 44 kV
A4	2,3 kV a 25 kV
AS	Inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição

Fonte: Adaptado de Brasil (2010a).

O grupo B concentra os consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV (BRASIL, 2010a). A Tabela 3 apresenta as subdivisões do grupo B.

Tabela 3 – Subgrupos do grupo B.

Subgrupos	Classificação
B1	Residencial
	Residencial Baixa Renda
B2	Rural
	Cooperativa de Eletrificação Rural
	Serviço Público de Irrigação
B3	Demais classes
B4-a	Iluminação pública (Rede de Distribuição)
B4-b	Iluminação Pública (Bulbo da lâmpada)

Fonte: Adaptado de Brasil (2010a).

Para as unidades consumidores pertencentes ao grupo B, os consumidores pagam pelo custo de disponibilidade, mesmo que não haja consumo de energia elétrica da rede. O custo de disponibilidade consiste no valor mínimo faturável para disponibilizar o serviço de eletricidade, de acordo com o tipo de ligação, monofásica (30 kWh), bifásica (50 kWh) e trifásica (100 kWh) (BRASIL, 2015a).

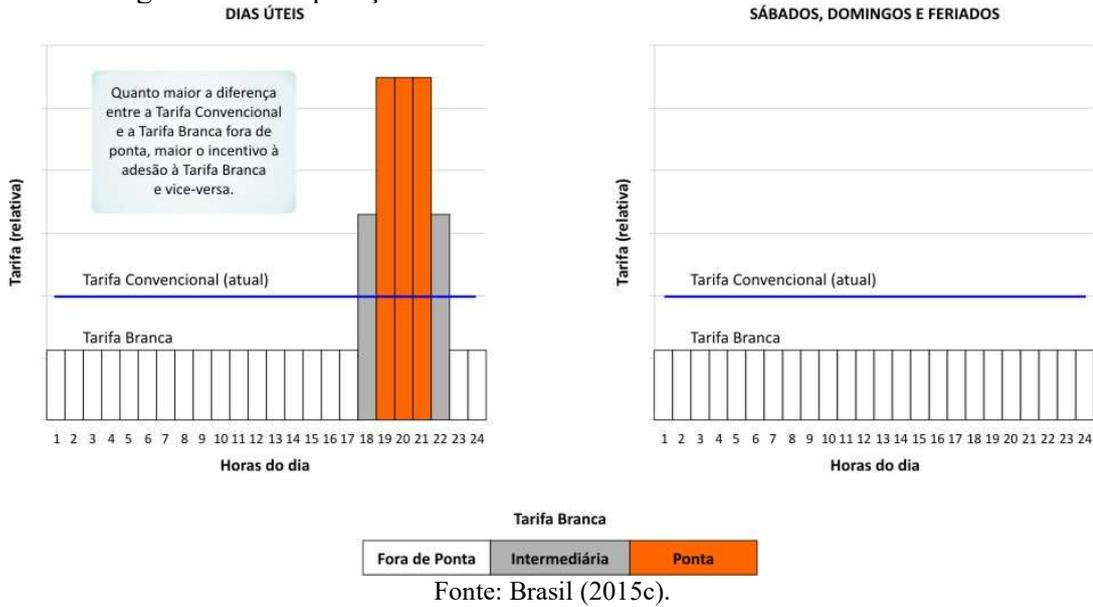
Os consumidores residenciais são classificados no grupo B, especificamente no subgrupo B1, o qual, neste estudo, será foco de análise.

2.1.4 Tarifas de Energia Brasileiras

As modalidades tarifárias “são um conjunto de tarifas aplicáveis às componentes de consumo de energia elétrica e demanda de potência ativas”, entre elas estão a azul, verde, convencional binômia, convencional monômia, e branca. As tarifas azul, verde e convencional binômia são aplicadas as unidades consumidoras do grupo A. As tarifas aplicadas aos consumidores do grupo B são classificadas como convencional monômia e branca. No entanto, a tarifa branca não é aplicada para as subclasses baixa renda do subgrupo B1 e o para o subgrupo B4 (BRASIL, 2015b, documento eletrônico).

A tarifa convencional monômia tem um único valor, igual em todos os dias e em todas as horas, ou seja, é independentemente das horas de utilização do dia. Logo, a tarifa branca tem valores em função da hora e do dia da semana, ela é subdividida em três períodos ao longo do dia (BERNARDES, 2016; BRASIL, 2015b). A Figura 5 ilustra uma comparação entre a tarifa branca e convencional.

Figura 5 – Comparação entre as modalidades branca e convencional.



As tarifas são compostas pela Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD) e Tarifa de Energia (TE). A TUSD é um serviço remunerado que corresponde ao meio físico, a rede e os vários serviços relacionados, com o propósito do suporte dos inúmeros usuários do sistema de distribuição. A TE é um serviço remunerado que corresponde ao fornecimento da energia elétrica aos consumidores e as distribuidoras. Os consumidores que compram energia pelo mercado livre não pagam pela TE. Na composição da TUSD e TE há encargos setoriais, que são componentes tarifários que desempenham a efetuar políticas setoriais determinadas por Lei (BRASIL, 2010b). A Figura 6 apresenta a composição da estrutura tarifária para os consumidores residenciais.

Figura 6 – Composição da estrutura tarifária.



Fonte: Brasil (2011).

Onde:

- E: Energia (MWh);
- EP: Energia de ponta (MWh);

- EI: Energia intermediária (MWh);
- EFP: Energia fora de ponta (MWh).

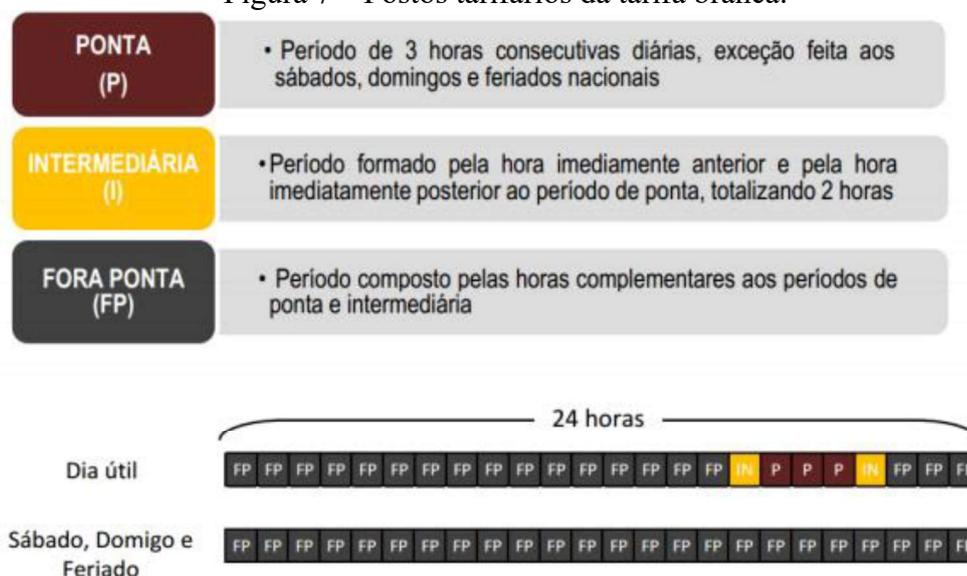
2.1.5 Tarifa Branca

Em 2016, a tarifa branca foi aprovada, e passou a valer em 1º janeiro de 2018 para as unidades consumidoras que tivessem média anual de consumo mensal maior que 500 kWh/mês e para novas ligações. Em 1º de janeiro de 2019 para as unidades com média anual de consumo mensal maior que 250 kWh/mês. Em 1º de janeiro de 2020 a tarifa branca estará disponível para todas as unidades consumidoras (BRASIL, [201-c]).

A tarifa branca foi criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com a finalidade de ter valores distintos para os horários de consumo. Os horários em que há um maior consumo de energia elétrica causam custos altos as distribuidoras, em virtude da necessidade de investimentos na ampliação da capacidade das redes elétricas (CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ, [201-]).

Assim sendo, a tarifa branca varia em três horários, ponta, intermediário e fora de ponta. O horário de ponta é aquele com maior demanda de energia, que contém um valor mais alto de tarifa, de maneira oposta, o horário fora de ponta é aquele com menor demanda de energia, com valor menor de tarifa. No sábado, domingo e nos feriados nacionais, o valor é sempre fora de ponta (BERNARDES, 2016, BRASIL, 2015c). A Figura 7 apresenta os três postos tarifários da modalidade tarifária branca.

Figura 7 – Postos tarifários da tarifa branca.



Fonte: (Brasil, 2010b).

2.1.6 Geração Distribuída

Em abril de 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, estabelecendo as condições gerais relacionadas a geração distribuída (BRASIL, 2015a). A geração distribuída caracteriza-se principalmente pela instalação da central geradora próxima a carga de consumo, conectada na rede de distribuição. Ela está ligada as vantagens em que pode trazer ao sistema elétrico, como a minimização de perdas durante o transporte, economia nos investimentos em linhas de transmissão e distribuição, uma vez que evita a necessidade de extensas linhas de transmissão (MIRANDA, 2013).

Desde de 1º de março de 2016, é concedido a utilização de qualquer fonte renovável, como também, a cogeração qualificada. A central geradora com potência instalada até 75 kW é designada como microgeração distribuída. Logo, a minigeração distribuída é determinada por a com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW. As unidades consumidoras com central geradora são conectadas na rede de distribuição (BRASIL, 2015a).

O consumidor com geração distribuída pode fornecer o excedente de energia elétrica à rede de distribuição. Portanto, quando a energia injetada na rede tem valores maiores do que a energia consumida, obtém-se créditos de energia, que pode ser usado para abater o consumo nos meses consecutivos, e possui validade de 60 meses (BRASIL, 2015a).

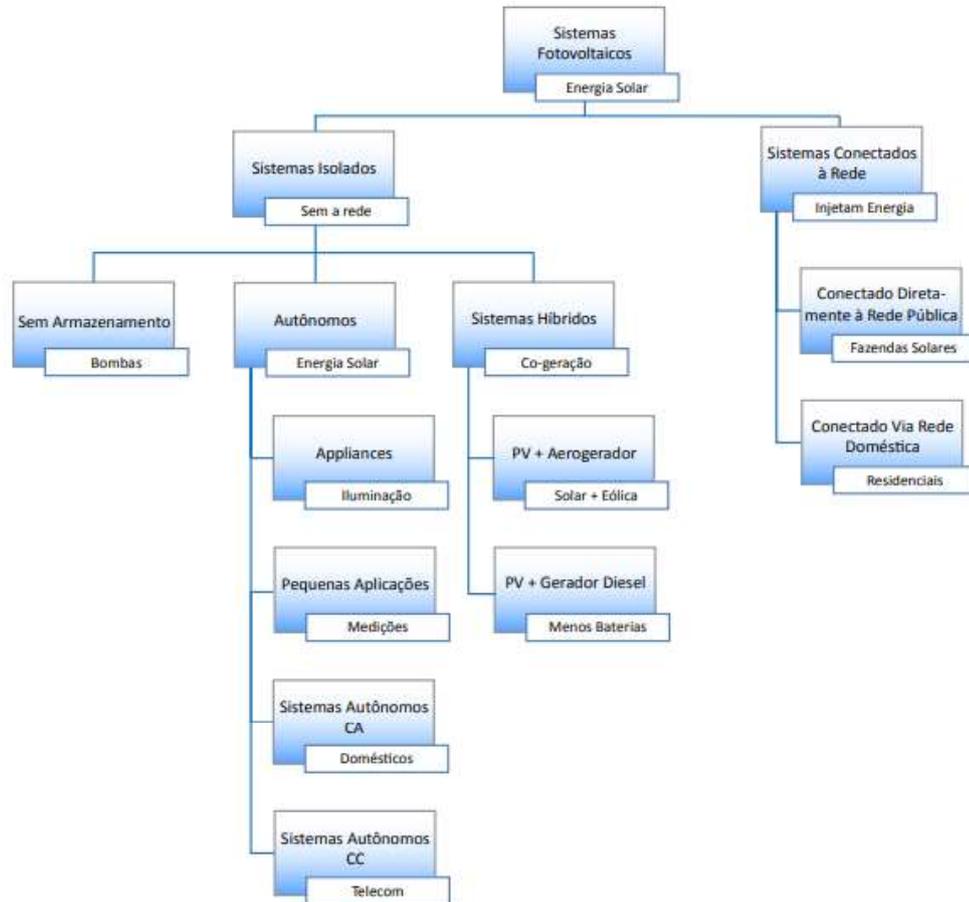
2.1.7 Sistemas Fotovoltaicos

Em 1839, Edmond Becquerel observou o efeito fotovoltaico, que implica ao surgimento de uma diferença de potencial nos terminais de um semicondutor, provocada pela absorção da luz visível. Os sistemas fotovoltaicos são as centrais geradoras que produzem energia elétrica a partir da radiação solar, através das células fotovoltaicas (SOUZA, 2017).

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores c.c.-c.c., seguidor de ponto de potência máxima (SPPM), inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento. (PINHO; GALDINO, 2014, p. 114).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em isolados ou conectados à rede (*on grid*). A Figura 8 ilustra os tipos de sistemas fotovoltaicos.

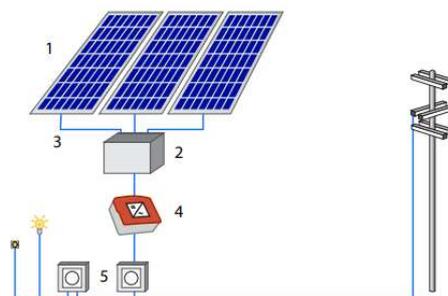
Figura 8 – Tipos de sistemas fotovoltaicos.



Fonte: Souza (2017).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR) geram energia que pode ser consumida instantaneamente pela carga, ou injetada na rede elétrica. Eles foram incluídos na Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 9 mostra os componentes de um sistema fotovoltaico.

Figura 9 – Componentes de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

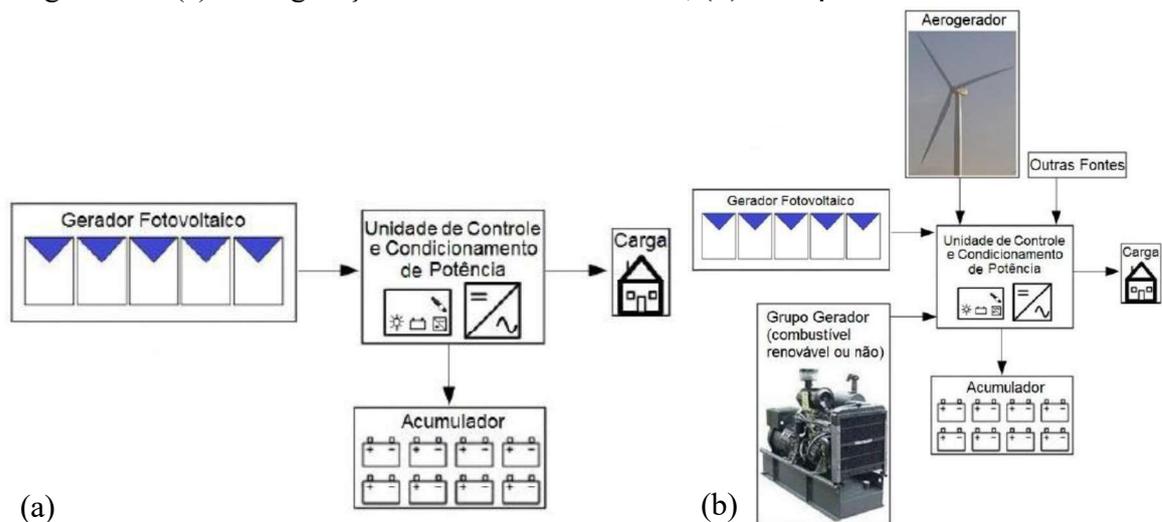


Fonte: Souza (2017).

- 1 – Módulos fotovoltaicos;
- 2 – Caixa de junção dos módulos fotovoltaicos;
- 3 – Cabeamento;
- 4 – Inversor *grid-tie*;
- 5 – Medidor(es) de energia.

Os sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), não tem ligação com a rede elétrica. Eles podem ser puramente fotovoltaicos (SFV), ou híbridos (SFH) quando há mais de uma forma de geração de energia. Geralmente, eles precisam de algum tipo de armazenamento, como baterias. Nos sistemas com bombeamento de água, ocorre normalmente o armazenamento de energia no estado de energia potencial gravitacional (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 10 ilustra a configuração de um sistema isolado e híbrido.

Figura 10 – (a) Configuração de um sistema isolado; (b) exemplo de um sistema híbrido.



Fonte: Adaptado de PINHO; GALDINO (2014).

2.2 ESTADO DA ARTE

Freitas (2017), realizou um estudo sobre um sistema fotovoltaico de potência de 4 kWp com bateria integrada de alto desempenho. Foram feitas comparações de bancos de baterias de Li-íon e Pb-ácido, com armazenamento entre 2, 4 e 10 kWh, onde foram realizadas simulações no *software* SAM. O banco de baterias foi configurado para carregar por meio da energia gerada pelo sistema fotovoltaico e descarregar nos horários das 18:00 às 22:00 horas. As baterias de Li-íon de 2 kWh para esse sistema ainda consomem uma grande quantidade de energia da rede, já com baterias de 4 kWh a demanda tem grande parte suprida

nos horários de ponta e de 10 kWh totalmente suprida. A Tabela 4 apresenta os resultados com bateria Li-íon.

Tabela 4 – Frequência que os sistemas com bateria Li-íon simulados injetam e consomem energia da rede.

SFV 4 kW _p			Bateria li-ion					
			2 kWh		4 kWh		10 kWh	
Energia / ano	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
Consumida da rede	5556	63,42	5726	65,37	5618	64,13	5068	57,85
Injetada na rede	3204	36,58	3034	34,63	3142	35,87	3692	42,15

Fonte: Freitas (2017).

Os acumuladores de Pb-ácido, apresentaram resultados próximos das baterias de Li-íon, porém, o uso da bateria poderia ser prolongado, em virtude de levarem um maior tempo para descarregar (FREITAS, 2017). A Tabela 5 apresenta os resultados com a bateria Pb-ácido.

Tabela 5 – Frequência que os sistemas com bateria Pb-ácido simulados injetam e consomem energia na/da rede.

SFV 4 kW _p			Bateria pb-ácido					
			2 kWh		4 kWh		10 kWh	
Energia / ano	Horas	%	Horas	%	Horas	%	Horas	%
Consumida da rede	5556	63,42	5804	66,26	5721	65,31	4780	54,57
Injetada na rede	3204	36,58	2956	33,74	3039	34,69	3980	45,43

Fonte: Freitas (2017).

As baterias Li-íon são mais compactas, por essa razão é capaz de ser integradas em um inversor, e possuem ciclo de vida maior do que os das baterias Pb-ácido (FREITAS, 2017).

Menezes (2014), realizou comparações entre a aplicação da tarifa branca e a convencional com os custos da fatura de energia elétrica. Os dados de curvas de carga foram obtidos com a Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição, SRD/ANEEL, onde foi feita uma caracterização das curvas de carga de acordo com faixa de consumo e distribuidora. Para a faixa de consumo de 80 a 220 kWh, são apresentados os resultados na Tabela 6.

Tabela 6 – Resultados para os cenários pertencentes à segunda estratificação.

	Modalidade	Consumo [kWh]	Valor da Fatura	Opção
Celtins	Convencional		R\$ 40,05	
	Horária Branca	113,47	R\$ 46,89	Convencional
Celpe	Convencional		R\$ 52,12	
	Horária Branca	147,68	R\$ 59,73	Convencional
CEB	Convencional		R\$ 49,33	
	Horária Branca	139,78	R\$ 54,76	Convencional
Elektro	Convencional		R\$ 72,67	
	Horária Branca	205,90	R\$ 84,66	Convencional
AES Sul	Convencional		R\$ 62,65	
	Horária Branca	177,51	R\$ 67,65	Convencional

Fonte: Menezes (2014).

Menezes (2014), concluiu que a modalidade horária branca não evidência ser economicamente viável, pois o consumidor precisa alterar os hábitos de consumo.

Thomaz (2017), realizou um estudo sobre a viabilidade econômica de adesão à tarifa branca para unidades consumidoras residenciais com sistemas fotovoltaicos conectados à rede, utilizando o programa HOMER para a realização de simulações. A Tabela 7 apresenta um dos resultados.

Tabela 7 – Comparativo de VPLs das duas modalidades tarifárias.

Tarifa Convencional		Tarifa Branca	
Configuração	VPL (R\$)	Configuração	VPL (R\$)
Rede + GD	15.094,00	Rede	16.873,00
Rede + GD	15.539,00	Rede + GD	18.691,00
Rede	16.063,00	Rede + GD	19.681,00

Fonte: Thomaz (2017).

Portanto, Thomaz (2017), concluiu que para a metodologia proposta em seu trabalho, que a configuração mais vantajosa economicamente é a unidade consumidora com sistema fotovoltaico conectada à rede no âmbito da tarifa convencional (Rede + GD: TC + Inversor + PV).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

De maneira geral, essa seção consiste em apresentar a metodologia usada para as simulações em *software* de sistemas fotovoltaicos com bateria integrada ao inversor

conectadas à rede de energia elétrica atendidas em tensão monofásica, utilizando curvas de carga residenciais no âmbito da tarifa branca e convencional.

3.1 CURVA DE CARGA RESIDENCIAL

Para analisar as variações nos valores de consumo de energia elétrica com a aplicação da tarifa branca ou convencional são apresentados dois cenários de curvas de carga residenciais. A partir dos valores utilizados nas curvas de carga correspondente ao seu cenário, foi criada uma semana para o cenário 1 e quatro semanas para o cenário 2, no qual para os dois cenários as semanas foram repetidas até obter-se um total de 8760 horas de consumo, número de horas correspondente a um ano civil. A Tabela 8 apresenta as estações, o número de dias e de horas para os dozes meses de um ano, em que foi utilizado de referência na obtenção de resultados.

Tabela 8 – Número de dias e horas para os meses de um ano.

Estação	Mês	Número de dias	Número de horas
Verão	Janeiro	31	744
	Fevereiro	28	672
Outono	Março	31	744
	Abril	30	720
	Maio	31	744
Inverno	Junho	30	720
	Julho	31	744
	Agosto	31	744
Primavera	Setembro	30	720
	Outubro	31	744
	Novembro	30	720
Verão	Dezembro	31	744
Total		365	8760

Fonte: Autora (2019).

3.1.1 Cenário 1

As curvas de carga residenciais para o cenário 1 indica a média dos dias úteis, sábado e domingo, estabelecidas na área de concessão da AES Sul em que no presente denomina-se de RGE Sul, com consumo mensal entre 80 e 220 kWh, estando dentro do consumo residencial médio para a região sul, atualmente de 177 kWh/mês, apresentada na Tabela 9.

Tabela 9 – Média para o consumo mensal entre 80 e 220 kWh para dia útil, sábado e domingo.

Tempo (h)	Dia útil (kW)	Sábado (kW)	Domingo (kW)
1	0,1996	0,1961	0,2069
2	0,1606	0,1582	0,1860
3	0,1253	0,1383	0,1491
4	0,1147	0,1051	0,1059
5	0,1024	0,1169	0,1005
6	0,1382	0,1224	0,1094
7	0,2192	0,2057	0,1210
8	0,2115	0,1578	0,1479
9	0,1887	0,1698	0,2123
10	0,1866	0,1717	0,2653
11	0,2735	0,2733	0,3933
12	0,2993	0,2530	0,3871
13	0,2719	0,2689	0,3103
14	0,1965	0,2234	0,2420
15	0,1841	0,2051	0,2659
16	0,2196	0,2751	0,3568
17	0,2688	0,2464	0,4473
18	0,3438	0,2648	0,3058
19	0,3420	0,3399	0,3408
20	0,3682	0,5065	0,3758
21	0,3948	0,4637	0,4318
22	0,4044	0,3608	0,3171
23	0,3552	0,2887	0,2451
24	0,3060	0,2820	0,2511
Total	5,5689	5,5116	6,0234

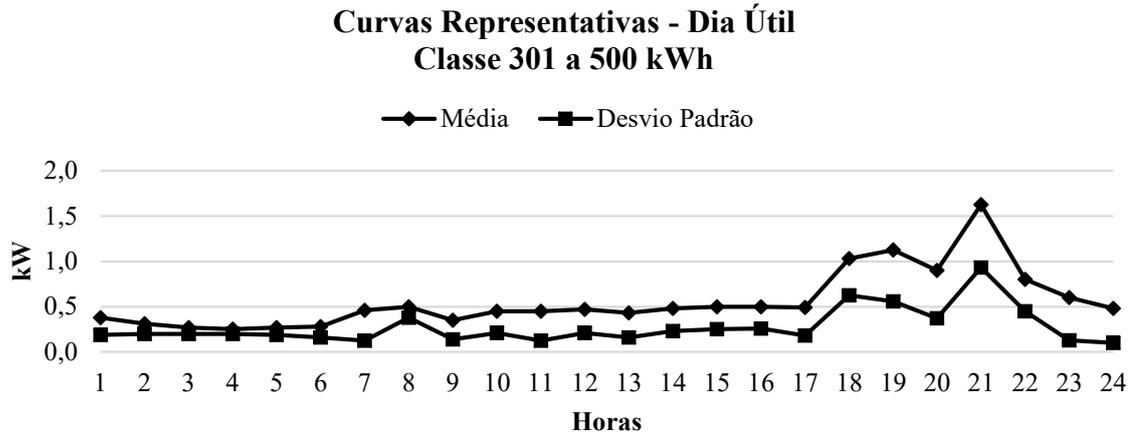
Fonte: Adaptado de Menezes (2014).

Portanto, com os dados da tabela 9, foi criada uma semana e repetida até obter 8760 horas.

3.1.2 Cenário 2

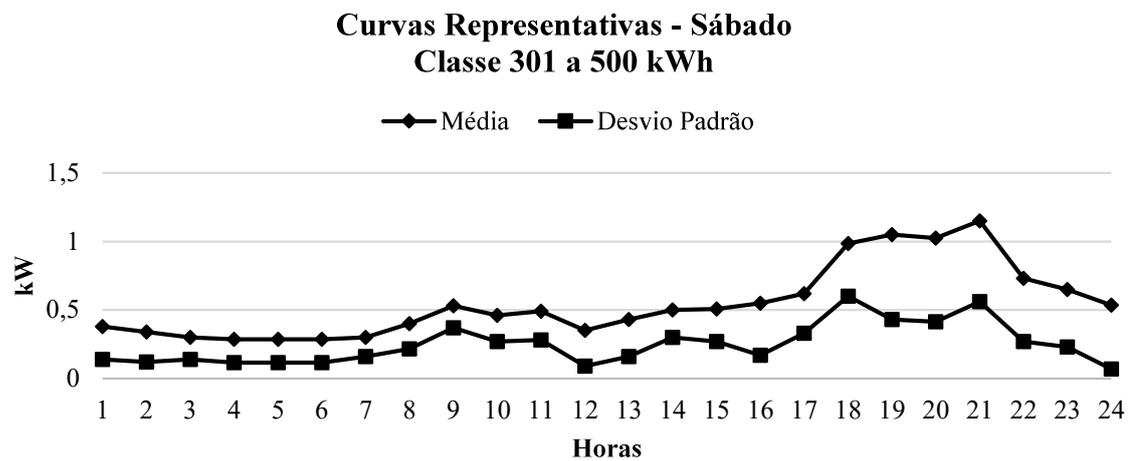
O segundo cenário apresenta a média e o desvio padrão das curvas de carga para uma residência, com classe de 301 a 500 kWh, para dia útil, sábado e domingo, respectivamente, nas Figuras 11, 12 e 13.

Figura 11 – Curva representativas de dia útil da classe 301 a 500 kWh/mês.



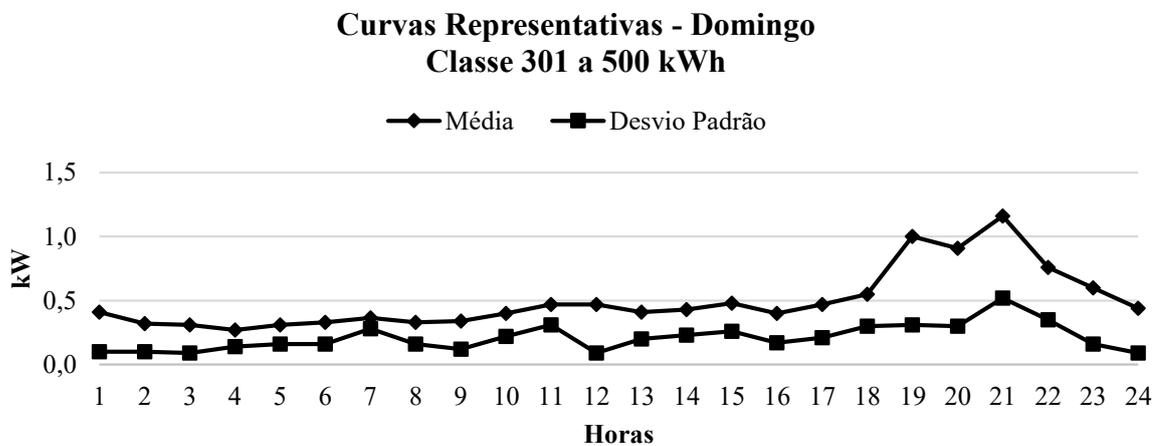
Fonte: Adaptado de Francisquini (2006).

Figura 12 – Curvas representativas de sábado da classe 301 a 500 kWh/mês



Fonte: Adaptado de Francisquini (2006).

Figura 13 – Curvas representativas de domingo de classe 301 a 500 kWh/mês.



Fonte: Adaptado de Francisquini (2006).

Com base nos dados das Figuras 11, 12 e 13, foi criada uma semana, para o verão, outono, primavera e inverno. Assim, para representar o verão foi adicionado um desvio padrão a média, para representar o inverno foi subtraído um desvio padrão da média, para o outono e primavera foi considerado apenas a média. Dessa maneira, as semanas foram organizadas de acordo com a Tabela 8, totalizando 8760 horas.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

No dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, utiliza-se os dados de irradiação média da cidade de Florianópolis - SC, fornecido pelo *software* Radasol 2, com inclinação do módulo fotovoltaico de 20° e desvio azimutal de 0° (norte). O Radasol 2 é um programa que fornece dados de irradiação solar diária e horária, através da seleção do local (KREZNINGER; BUGS, 2010).

Tabela 10 – Irradiação média da cidade de Florianópolis – SC.

Mês	Irradiação Média (kWh/m²dia)
Janeiro	5,59
Fevereiro	5,60
Março	5,40
Abril	4,88
Mai	4,30
Junho	3,92
Julho	3,91
Agosto	4,41
Setembro	4,73
Outubro	5,15
Novembro	5,51
Dezembro	5,70
Média	4,93
Anual (H)	1797,63

Fonte: Adaptado de Radasol 2 (2019).

A equação 1, apresenta o número de horas de sol pleno (HSP), ou seja, número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m², representado pela divisão da irradiação anual (*H*) e da irradiância padrão (*G*). Verifica-se através da Tabela 10, que a irradiação anual (*H*) equivale a 1.797,63 kWh/m²dia, e a irradiância padrão (*G*) corresponde a 1 kW/m² (PINHO; GALDINO, 2014).

$$HSP = \frac{H}{G} \quad (1)$$

A fim de determinar a potência de pico (P_{FV}) para estimar as potências utilizadas nos sistemas fotovoltaicos aplica-se a equação (2).

$$P_{FV} = \frac{Et - (12 * D)}{HSP * TD} \quad (2)$$

Sendo, Et o consumo anual da unidade consumidora, D a disponibilidade mensal garantida, no caso de 30 kWh para o sistema com ligação monofásica. A taxa de desempenho (TD), é referente a relação entre o desempenho real do sistema sobre o desempenho máximo teórico possível, em que foi considerado de 80 %, número utilizado para sistemas fotovoltaicos residenciais, bastante ventilados e não sombreados nas condições de radiação solar encontradas no Brasil (PINHO; GALDINO, 2014).

3.3 SOFTWARE SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)

A realização das simulações de sistemas fotovoltaicos foi feita com o auxílio do *software System Advisor Model (SAM)*, onde as curvas de carga foram inseridas. De acordo com o *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, o SAM é um *software* projetado para facilitar a tomada de decisões para indivíduos envolvidos no setor de energia renovável (*NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY*, [201-]).

Para a realização das simulações para os dois cenários, foram adotadas as características da cidade de Florianópolis – SC. O módulo fotovoltaico utilizado para as simulações foi o módulo da fabricante Canadian Solar e modelo CS6K – 275P, com máxima potência de entrada 275,28 Wp, com inclinação de 20° e azimute de 0°. Os inversores selecionados para os respectivos cenários são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Características dos inversores selecionados para cenário 1 e 2.

Inversores			
Cenário	1	1 e 2	2
Fabricante	SMA America	Fronius USA	SMA America
Modelo	SB1100U	Galvo 1.5-1	SB3000HFUS-30
Máxima potência de entrada	1215,95 W	1573,69 W	3191,58 W
Máxima potência de saída	1100 W	1500 W	3070 W

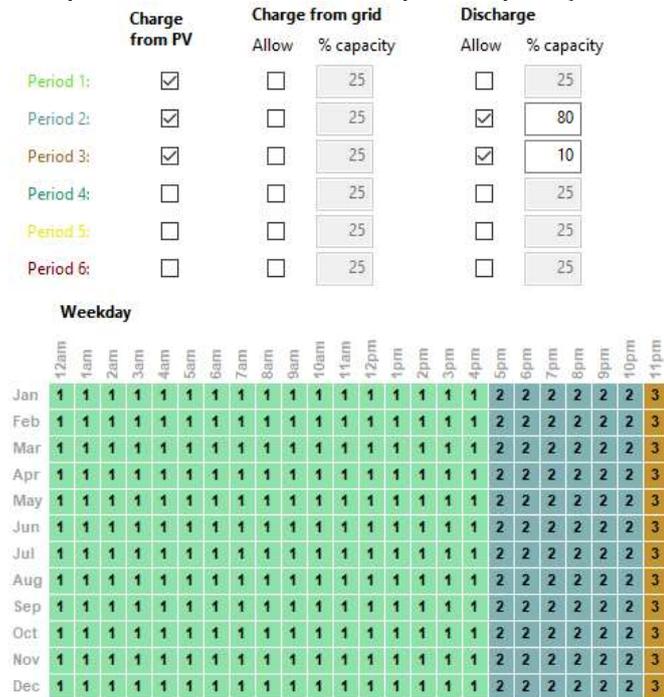
Fonte: Adaptado de *System Advisor Model* (2017).

Inversores com bateria integrada estão presentes no mercado internacional, onde no mesmo ocorre o armazenamento de energia elétrica em sua bateria. As baterias de íon de lítio ocupam um menor espaço, e é uma tecnologia utilizada nas baterias integradas dos inversores. Assim, para a bateria foi considerada a de íon de lítio: óxido de níquel, manganês e cobalto (*lithium ion: nickel manganese cobalt oxide – NMC*) e dimensionado para bancos com capacidade de 2 kWh, 4 kWh e 10 kWh, como também, houve simulações sem bateria.

O SAM permite que o usuário controle o sistema de operação (despacho) da planta com a configuração de períodos de despacho diferentes, que podem ser distribuídos ao longo das horas de cada mês, e também permite uma distribuição separada para o fim de semana (MALAGUETA; DIEGO, 2013 apud KALBERMATTER, 2017). Logo, como o final de semana o valor é sempre fora de ponta, o banco de baterias não foi configurado para descarregar nos finais de semana.

No despacho de armazenamento a bateria foi configurada para carregar apenas através da energia gerada pelo sistema fotovoltaico para todos os casos. Para a modalidade tarifária branca, a bateria foi configurada para descarregar nos horários intermediário 1 e 2, e ponta, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Despacho de armazenamento para a aplicação da tarifa branca.



Fonte: Autora (2019).

Para a tarifa convencional a bateria foi configurada para descarregar das 18:00 as 23:00 horas, em virtude de que nesse período há um pico de consumo de energia elétrica

segundo uma curva de carga residencial padrão. A Figura 15 apresenta o despacho de armazenamento para a tarifa convencional.

Figura 15 – Despacho de armazenamento para a aplicação da tarifa convencional.



Fonte: Autora (2019).

Os dados fornecidos pelo SAM foram extraídos para o EXCEL, para a aplicação das tarifas e para análise.

3.4 TARIFAS DE ENERGIA

De acordo com a Resolução Homologatória nº 2.593, de 20 de agosto de 2019, a tarifa convencional e branca tem os seguintes valores sem tributos para o grupo B, respectivamente, mostrada nas Tabelas 11 e 12, para a concessionária Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) Distribuição S.A., que possui área de concessão por quase todo o estado de Santa Catarina e um município paranaense (CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA, [201-a]).

Tabela 11: Valores de tarifa convencional para o grupo B sem tributos.

(continua)

Tarifa Convencional - Grupo B (sem tributos)		
Subgrupos	Classificação	Energia (R\$/kWh)
B1	Residencial Normal	0,46978

Tabela 11: Valores de tarifa convencional para o grupo B sem tributos.

(conclusão)

Tarifa Convencional - Grupo B (sem tributos)		
Subgrupos	Classificação	Energia (R\$/kWh)
B1	Residencial Baixa Renda de 31 a 100 kWh	0,245748
	Residencial Baixa Renda de 101 a 220 kWh	0,368622
	Residencial Baixa Renda acima de 220 kWh	0,40958
B2	Rural, não cooperativa	0,35703
	Cooperativa de Eletrificação	0,35703
	Serviço Público de Irrigação	0,31945
B3	Água, Esgoto e Saneamento	0,4134064
	Demais Classes	0,46978
B4a	Iluminação Pública - Rede de Distribuição	0,25838
B4b	Iluminação Pública - Bulbo da Lâmpada	0,28187

Fonte: Adaptado de Centrais Elétricas de Santa Catarina ([201-b]).

Os valores de tarifa considerados para a modalidade tarifária convencional e branca foi a classificação residencial.

Tabela 12: Valores de tarifa para o grupo B sem tributos para a modalidade tarifária branca.

Tarifa Branca (sem tributos)				
Subgrupos	Classificação	Componentes	Demanda (R\$/kW)	Energia (R\$/kWh)
B1	Residencial	Ponta	0	0,83916
		Intermediário	0	0,53394
		Fora Ponta	0	0,39765
B2	Rural	Ponta	0	0,66173
		Intermediário	0	0,42018
		Fora Ponta	0	0,30701
	Rural - Cooperativa	Ponta	0	0,66173
		Intermediário	0	0,42018
		Fora Ponta	0	0,30701
Rural - Serviço Público de Irrigação	Ponta	0	0,59208	
	Intermediário	0	0,37595	
	Fora Ponta	0	0,27469	
B3		Ponta	0	0,93381
		Intermediário	0	0,59073
		Fora Ponta	0	0,41658

Fonte: Adaptado de Centrais Elétricas de Santa Catarina ([201-b]).

O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) é considerado no cálculo do valor da tarifa final, do mesmo modo, o Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS). A Tabela 13 e 14 mostram a porcentagem dos mesmos.

Tabela 13 – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

Observações (ICMS):	
ICMS: Lei Estadual n.º 7.547, de 27/01/89	
Classe	ICMS:
Classe Residencial: Primeiros 150 kWh	12 %
Classe Residencial Acima de 150 kWh	25 %
Classe Rural: Primeiros 500 kWh	12 %
Classe Rural Acima de 500 kWh	25 %
Demais Classes	25 %
ICMS Mun. de Rio Negro - PR - Todas as Classes	29 %

Fonte: Adaptado de Centrais Elétricas de Santa Catarina ([201-b]).

Tabela 14 – Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS).

Alíquotas de tributos		
Referência	PIS	COFINS
10/2019	0,58 %	2,70 %
09/2019	0,99 %	4,56 %
08/2019	1,65 %	7,60 %
07/2019	1,54 %	7,07 %
06/2016	0,84 %	3,89 %
05/2019	0,12 %	0,55 %
04/2019	0,00 %	0,00 %
03/2019	0,25 %	1,17 %
02/2019	0,98 %	4,52 %
01/2019	1,52 %	6,99 %
12/2018	1,44 %	6,63 %
11/2018	0,75 %	3,46 %
10/2018	0,41 %	1,87 %
09/2018	0,41 %	1,94 %

Fonte: Adaptado de Centrais Elétricas de Santa Catarina ([201-b]).

O ICMS considerado no cálculo da tarifa final foi da classe residencial, primeiros 150 kWh, e para o PIS e COFINS foi o mês de referência 10/2019. A equação (3) representa o valor da tarifa final de energia elétrica para Celesc Distribuição S.A., sem considerar a adição de bandeiras.

$$Tarifa\ final\ R\$: \frac{Tarifa\ Homologada}{[100 - (alíquota\ PIS + alíquota\ COFINS + alíquota\ ICMS)]} \quad (3)$$

100

Para a tarifa branca, os horários intermediários, ponta e fora ponta são determinados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nas revisões tarifárias periódicas de cada

distribuidora (BRASIL, 2015c). A Tabela 15 apresenta os horários e as classificações da Celesc Distribuição S. A.

Tabela 15 – Horários intermediários e ponta para a Celesc Distribuição.

Celesc Distribuição		
	Horário (horas)	Horário de verão (horas)
Intermediário 1	17:30-18:29	18:30-19:29
Ponta	18:30-21:29	19:30-22:29
Intermediário 2	21:30-22:29	22:30-23:29

Fonte: Adaptado de Brasil (2015).

No presente trabalho foi considerado apenas o horário para os cálculos, já que não haverá horário de verão na temporada 2019/2020. Nos finais de semana foi considerado apenas o horário fora de ponta para a tarifa branca.

3.5 ARRANJOS

Os arranjos utilizados para a comparação entre a tarifa branca e convencional consistem na unidade consumidora (UC) conectada apenas à rede de energia elétrica, com sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), e com sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) que dispõe de inversor de bateria integrada, exibidas no Quadro 2.

Quadro 2 – Arranjos.

Tarifa Branca	Tarifa Convencional
UC conectada à rede elétrica	UC conectada à rede elétrica
UC + SFCR	UC + SFCR
UC + SFCR + Bateria de 2 kWh	UC + SFCR + Bateria de 2 kWh
UC + SFCR + Bateria de 4 kWh	UC + SFCR + Bateria de 4 kWh
UC + SFCR + Bateria de 10 kWh	UC + SFCR + Bateria de 10 kWh

Fonte: Autora (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

São apresentados e discutidos nesta seção os resultados obtidos para os dois cenários. A seguir a definição dos termos relacionados ao faturamento.

- Energia elétrica da rede: energia elétrica fornecida pela distribuidora de energia;
- Energia elétrica injetada na rede: energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico que não foi consumida instantaneamente, e é injetada na rede de distribuição;

- Créditos de energia: diferença entre a energia elétrica injetada na rede e a energia elétrica da rede, isso se a energia elétrica injetada for maior que a energia consumida;
- Valor da fatura de energia elétrica (R\$): Valor final pago pelo consumidor pela prestação de serviço público de energia elétrica, pertencente a um período estabelecido, considerando a energia injetada na rede e créditos de energia.

A energia elétrica da rede e a energia elétrica injetada na rede são fornecidas pelo SAM (em kWh) e são multiplicadas pelos valores das tarifas (em R\$/kWh) para as 8760 horas. Portanto, foram utilizados os valores de tarifa branca e convencional obtidos pela equação (3), onde são mostrados na Tabela 16.

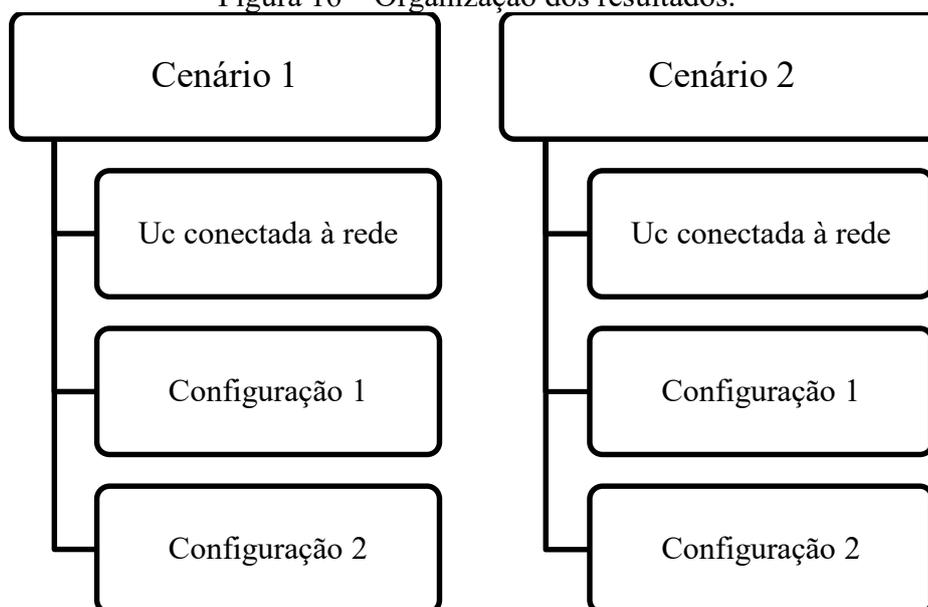
Tabela 16 – Valores de tarifa convencional e branca com impostos.

Residencial Normal (R\$/kWh)		
Tarifa Convencional	Tarifa Branca	
0,55451	Ponta	0,99051
	Intermediário	0,63024
	Fora Ponta	0,46937

Fonte: Autora (2019).

As potências selecionadas dos sistemas fotovoltaicos foram baseadas nos resultados obtidos pela equação (2), porém, para cada cenário foram consideradas duas potências, uma com e outra sem créditos de energia ao mês. A Figura 16 apresenta a organização dos resultados para os cenários.

Figura 16 – Organização dos resultados.



Fonte: Autora (2019).

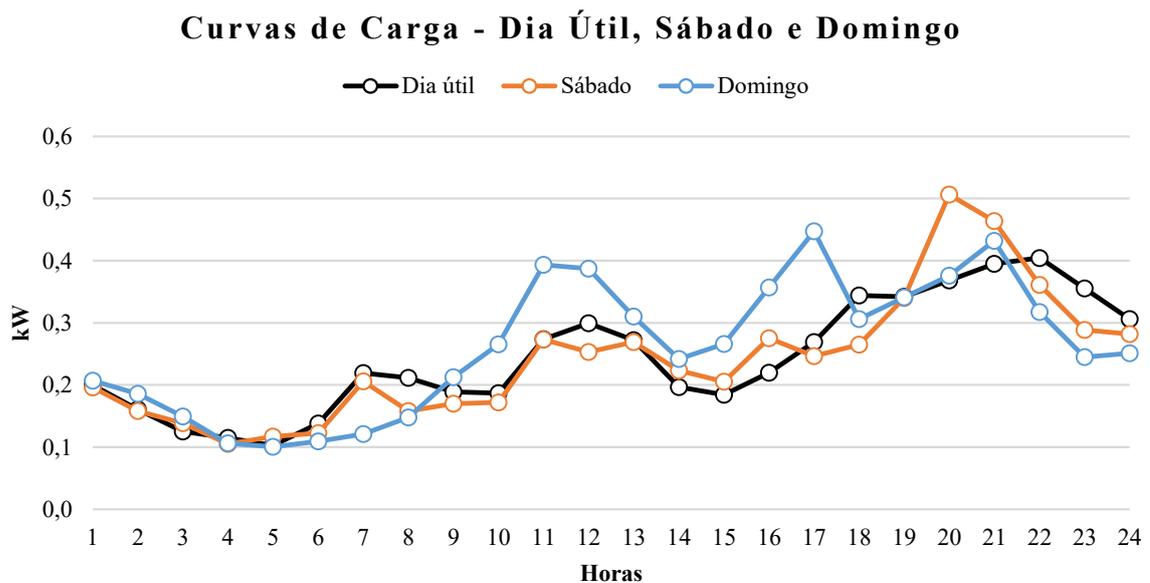
Assim, para cada cenário são apresentados resultados relacionados a unidade consumidora conectada à rede, a configuração 1 com sistema fotovoltaico que não apresenta créditos de energia ao mês, e a configuração 2 com sistema fotovoltaico que apresenta créditos de energia.

Nas seções terciárias dos resultados e discussão é apresentado o termo opção, que indica o menor valor do faturamento (em R\$) correspondente ao consumo de energia elétrica da rede, o maior valor do faturamento (em R\$) correspondente à energia elétrica injetada na rede, a maior quantidade do valor do faturamento (em R\$) correspondente aos créditos de energia, e o menor valor de fatura de energia elétrica, com comparação entre a tarifa branca e convencional nas mesmas condições.

4.1 CENÁRIO 1

As curvas de carga foram obtidas conforme a subseção cenário 1 da seção materiais e métodos, onde são apresentados a média do dia útil, sábado e domingo para o cenário 1. Elas apresentam um aumento do consumo ao longo do dia, iniciando as 07:00 horas para os dias úteis e os sábados, e para os domingos as 09:00 horas, com picos a noite independente do dia. A Figura 17 apresenta as curvas de carga de um dia útil, sábado e domingo.

Figura 17 – Curvas de carga para o dia útil, sábado e domingo.



Fonte: Autora (2019).

Para o dia útil, o horário das 17:00 as 23:00 horas, representa 44 % do consumo. Empregando as curvas de carga da Figura 17, se obtém o consumo de energia elétrica para cada mês e total apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 – Consumo de energia elétrica do cenário 1.

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	183,40
Fevereiro	165,77
Março	183,31
Abril	177,92
Maio	183,40
Junho	177,44
Julho	183,79
Agosto	183,40
Setembro	177,84
Outubro	183,40
Novembro	177,52
Dezembro	183,71
Consumo Anual (Et)	2.160,90

Fonte: Autora (2019).

Através dos dados de curvas de carga para cada hora de um ano civil calcula-se o valor da fatura de energia elétrica para os meses de janeiro a dezembro, utilizando a tarifa convencional e branca para uma residência conectada à rede de energia elétrica, onde é apresentado na Tabela 18.

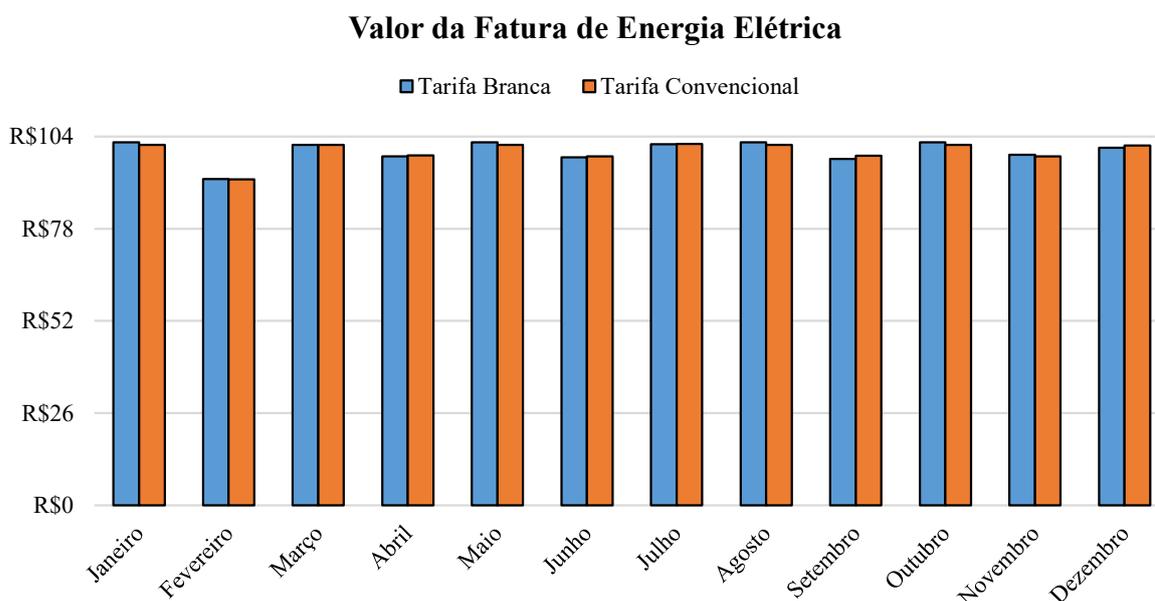
Tabela 18 – Valor pago pela energia consumida do cenário 1.

Valor da Fatura de Energia Elétrica		
Mês	Tarifa Branca (TB)	Tarifa Convencional (TC)
Janeiro	R\$ 102,38	R\$ 101,69
Fevereiro	R\$ 91,98	R\$ 91,92
Março	R\$ 101,62	R\$ 101,64
Abril	R\$ 98,40	R\$ 98,67
Maio	R\$ 102,38	R\$ 101,69
Junho	R\$ 98,16	R\$ 98,38
Julho	R\$ 101,87	R\$ 101,93
Agosto	R\$ 102,37	R\$ 101,68
Setembro	R\$ 97,66	R\$ 98,63
Outubro	R\$ 102,38	R\$ 101,69
Novembro	R\$ 98,90	R\$ 98,42
Dezembro	R\$ 100,81	R\$ 101,52
Total	R\$ 1198,90	R\$ 1197,86
Opção	Tarifa Convencional	

Fonte: Autora (2019).

O valor de fatura com a escolha da tarifa convencional em seu total é cerca de 0,09 % menor do que com a tarifa branca. Desse modo, analisando mês a mês, as duas tarifas apresentaram valores semelhantes, a tarifa convencional em alguns meses tem valores menores como em janeiro, fevereiro, maio, agosto, outubro e novembro, e em outros a tarifa branca como março, abril, junho, julho, setembro e dezembro. A Figura 18 ilustra o consumo de energia com a tarifa branca e convencional mensalmente.

Figura 18 – Valor pago pela energia consumida do cenário 1.



Fonte: Autora (2019).

A potência nominal (P_{FV}) obtida pela equação (2) é de 1,25 kW, com consumo anual (Et) de 2.160,90 kWh. As potências utilizadas foram de 1,101 kWp e de 1,376 kWp, a primeira sem e a segunda com créditos de energia. A Tabela 19 apresenta as configurações aplicadas.

Tabela 19 – Quantidade, potência de módulos e inversores, strings, e fator de dimensionamento de inversor.

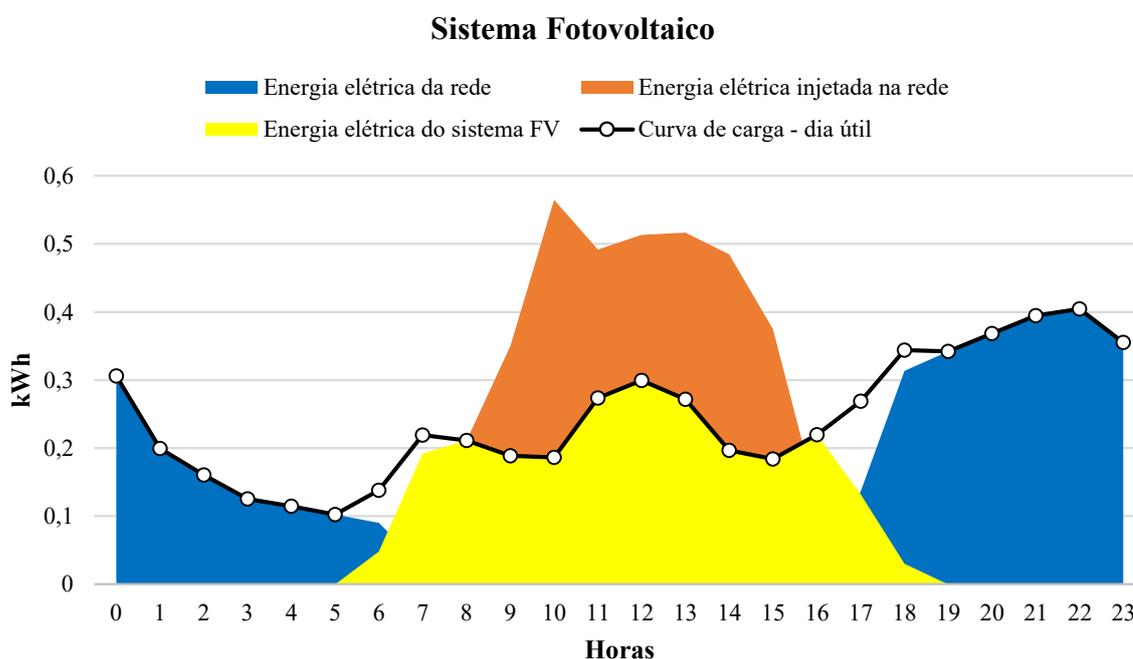
Parâmetro	Configuração 1	Configuração 2
Quantidade de módulos	4	5
Potência de módulos	1,101 kWp	1,376 kWp
Strings	1	1
Quantidade de inversores	1	1
Potência de saída de inversores	1,1 kW	1,5 kW
Fator de dimensionamento do inversor (FDI)	1	1,09

Fonte: Autora (2019).

4.1.1 Configuração 1

A Figura 19 mostra a curva de carga de um dia útil ensolarado, para uma unidade consumidora conectada à rede de distribuição e com sistema fotovoltaico de potência de 1,101 kWp. Há geração de energia solar fotovoltaica, das 06:00 as 18:00 horas, e supre a demanda da carga das 08:00 as 16:00 horas. Na apresentação da curva de carga com geração solar fotovoltaica, é utilizado um dia ensolarado de verão para todos os casos.

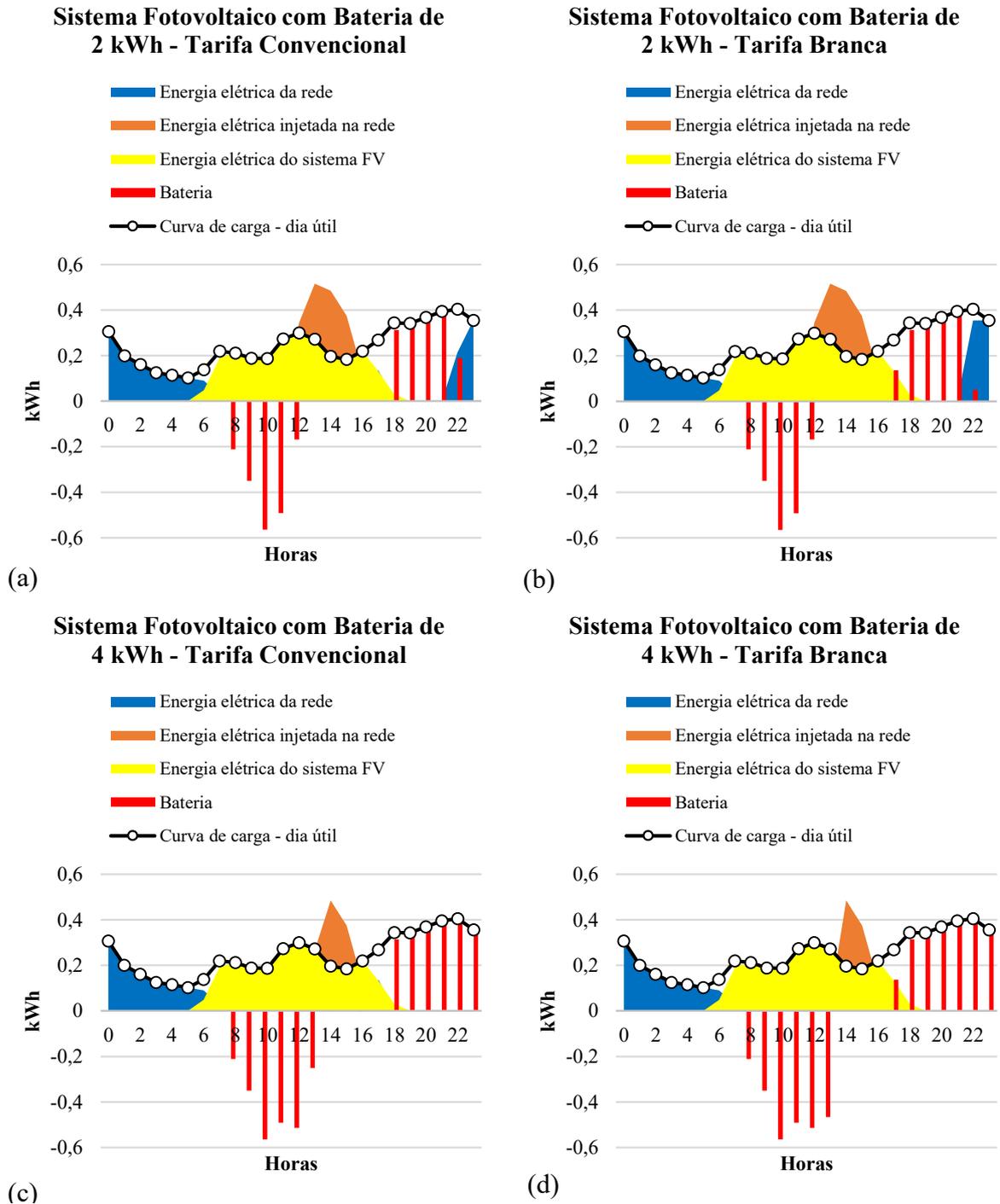
Figura 19 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 1.



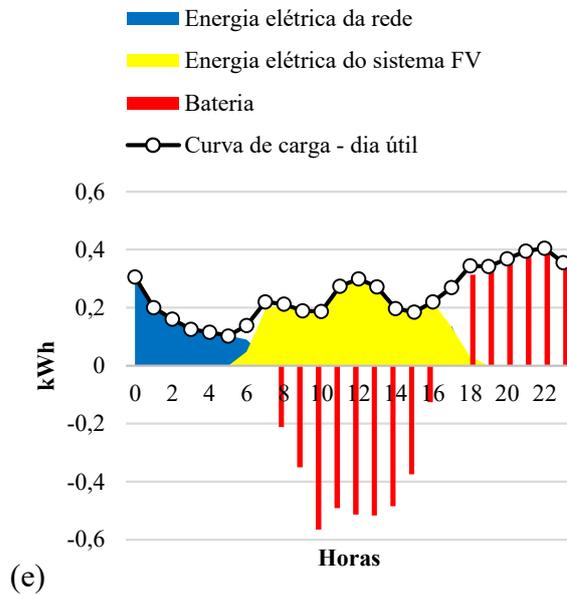
Fonte: Autora (2019).

A Figura 20 apresenta a curva de carga de um dia útil com geração solar fotovoltaica e com bateria integrada ao inversor, para uma unidade consumidora conectada à rede elétrica no âmbito da tarifa convencional e branca.

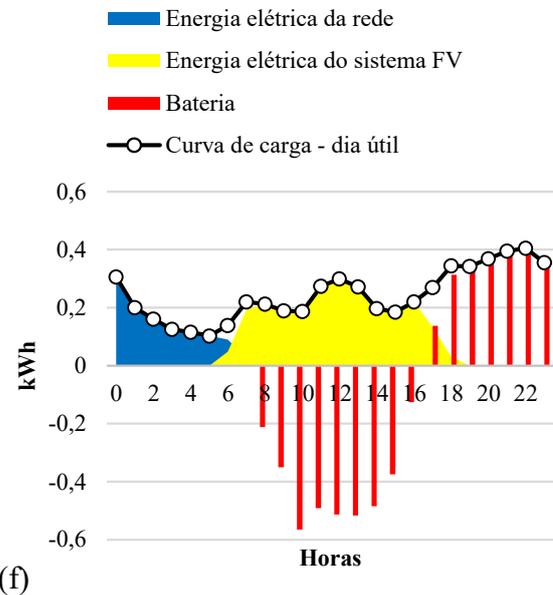
Figura 20 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 1 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Convencional



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Branca



Fonte: Autora (2019).

A bateria é carregada nos horários de maior incidência de radiação solar e descarregada nos horários de maior consumo de energia elétrica, iniciando as 18:00 horas, para a unidade consumidora com a tarifa convencional. Para a residência com a tarifa branca, a bateria é descarregada as 17:00 horas, isso porque as 17:30 horas inicia o horário intermediário 1 que apresenta valores maiores de tarifa.

A Tabela 20 apresenta o valor do faturamento correspondente à energia elétrica utilizada da rede para o sistema fotovoltaico sem bateria, com bateria de capacidade de 2 kWh, com bateria de capacidade de 4 kWh e com bateria de capacidade de 10 kWh, com a tarifa branca (TB) e tarifa convencional (TC).

Tabela 20 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica consumida da rede da configuração 1 do cenário 1.

(continua)

Mês	Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica da Rede							
	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 66,87	R\$ 60,20	R\$ 36,71	R\$ 40,74	R\$ 27,91	R\$ 33,42	R\$ 25,75	R\$ 32,30
Fevereiro	R\$ 61,17	R\$ 55,83	R\$ 35,06	R\$ 38,97	R\$ 26,95	R\$ 32,41	R\$ 25,15	R\$ 31,46
Março	R\$ 68,21	R\$ 62,33	R\$ 38,86	R\$ 43,37	R\$ 29,96	R\$ 35,98	R\$ 28,01	R\$ 35,39
Abril	R\$ 68,99	R\$ 63,97	R\$ 45,54	R\$ 48,55	R\$ 37,07	R\$ 41,88	R\$ 30,61	R\$ 38,25
Maiο	R\$ 73,99	R\$ 68,15	R\$ 49,91	R\$ 52,18	R\$ 42,42	R\$ 46,12	R\$ 37,33	R\$ 42,25
Junho	R\$ 72,35	R\$ 67,89	R\$ 50,64	R\$ 53,40	R\$ 45,79	R\$ 49,22	R\$ 41,51	R\$ 45,52
Julho	R\$ 77,00	R\$ 72,54	R\$ 56,79	R\$ 59,00	R\$ 52,07	R\$ 55,13	R\$ 49,68	R\$ 52,08
Agosto	R\$ 73,87	R\$ 68,04	R\$ 48,17	R\$ 51,10	R\$ 38,81	R\$ 43,45	R\$ 31,74	R\$ 39,87

Tabela 20 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica consumida da rede da configuração 1 do cenário 1.

(conclusão)

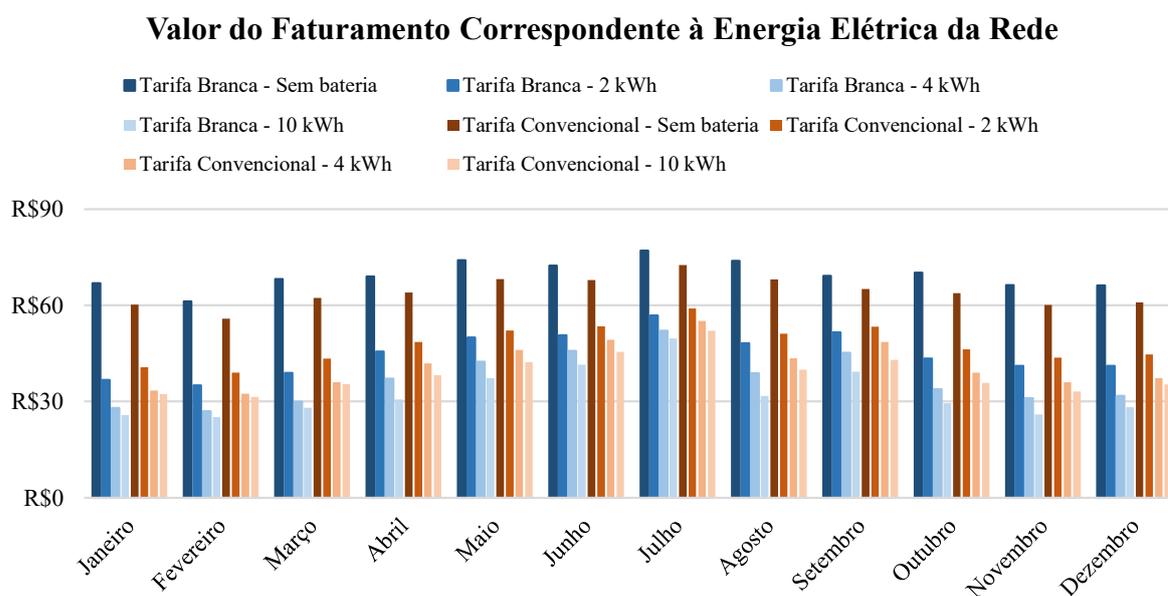
Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica da Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Setembro	R\$ 69,17	R\$ 65,03	R\$ 51,51	R\$ 53,30	R\$ 45,19	R\$ 48,53	R\$ 39,33	R\$ 42,98
Outubro	R\$ 70,16	R\$ 63,74	R\$ 43,40	R\$ 46,27	R\$ 33,78	R\$ 39,03	R\$ 29,44	R\$ 35,82
Novembro	R\$ 66,31	R\$ 60,06	R\$ 41,09	R\$ 43,63	R\$ 31,02	R\$ 36,02	R\$ 25,96	R\$ 33,12
Dezembro	R\$ 66,15	R\$ 60,90	R\$ 41,08	R\$ 44,71	R\$ 31,75	R\$ 37,29	R\$ 28,30	R\$ 35,34
Média	R\$ 69,52	R\$ 64,06	R\$ 44,90	R\$ 47,93	R\$ 36,89	R\$ 41,54	R\$ 32,73	R\$ 38,70
Opção	TC		TB		TB		TB	

Fonte: Autora (2019).

A residência com a tarifa convencional traz valores menores do faturamento correspondente à energia elétrica da rede para o sistema fotovoltaico sem bateria, em média 8 % menor do que com a tarifa branca. Com a adição de bateria integrada ao inversor no sistema fotovoltaico, a unidade consumidora com a tarifa branca apresentou valores menores do faturamento correspondente à energia elétrica do que com a convencional.

O sistema fotovoltaico com bateria de 2, 4 e 10 kWh e com a tarifa branca propôs uma redução de valores em média de 6 %, 11 % e 15 % no faturamento correspondente à energia elétrica da rede, respectivamente, comparado com a tarifa convencional. O valor do faturamento correspondente à energia elétrica utilizada da rede de distribuição com a tarifa branca e convencional, é vista na Figura 21.

Figura 21 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.



Fonte: Autora (2019).

Verifica-se que o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede reduz com a capacidade da bateria, quanto maior a capacidade da bateria menor o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede. O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede é mostrado na Tabela 21 com a tarifa branca e convencional.

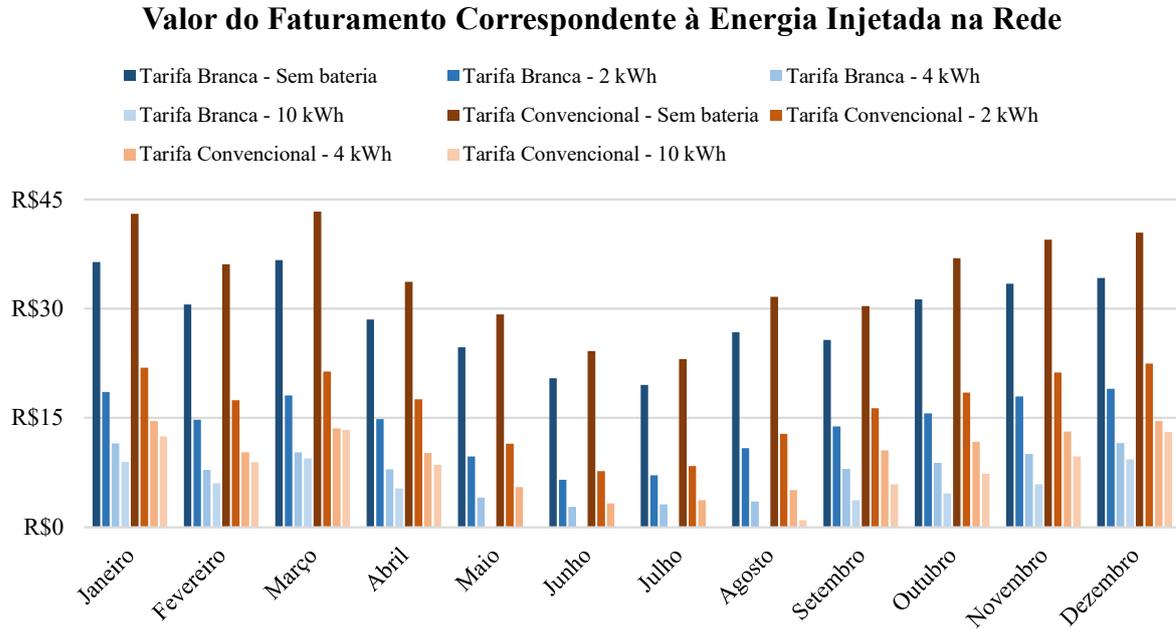
Tabela 21 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Injetada na Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 36,42	R\$ 43,03	R\$ 18,56	R\$ 21,90	R\$ 11,50	R\$ 14,58	R\$ 8,95	R\$ 12,46
Fevereiro	R\$ 30,56	R\$ 36,11	R\$ 14,76	R\$ 17,42	R\$ 7,90	R\$ 10,30	R\$ 6,04	R\$ 8,92
Março	R\$ 36,69	R\$ 43,35	R\$ 18,08	R\$ 21,36	R\$ 10,30	R\$ 13,59	R\$ 9,45	R\$ 13,33
Abril	R\$ 28,54	R\$ 33,71	R\$ 14,87	R\$ 17,57	R\$ 7,95	R\$ 10,19	R\$ 5,34	R\$ 8,56
Mai	R\$ 24,73	R\$ 29,21	R\$ 9,72	R\$ 11,48	R\$ 4,05	R\$ 5,50	R\$ 0,02	R\$ 0,06
Junho	R\$ 20,46	R\$ 24,18	R\$ 6,54	R\$ 7,72	R\$ 2,78	R\$ 3,27	R\$ 0,03	R\$ 0,02
Julho	R\$ 19,55	R\$ 23,09	R\$ 7,11	R\$ 8,40	R\$ 3,15	R\$ 3,72	R\$ 0,02	R\$ 0,02
Agosto	R\$ 26,78	R\$ 31,63	R\$ 10,86	R\$ 12,83	R\$ 3,53	R\$ 5,10	R\$ 0,02	R\$ 0,94
Setembro	R\$ 25,71	R\$ 30,37	R\$ 13,83	R\$ 16,34	R\$ 8,01	R\$ 10,56	R\$ 3,71	R\$ 5,92
Outubro	R\$ 31,27	R\$ 36,94	R\$ 15,65	R\$ 18,50	R\$ 8,84	R\$ 11,75	R\$ 4,65	R\$ 7,37
Novembro	R\$ 33,42	R\$ 39,48	R\$ 17,97	R\$ 21,23	R\$ 10,07	R\$ 13,14	R\$ 5,92	R\$ 9,70
Dezembro	R\$ 34,22	R\$ 40,43	R\$ 19,01	R\$ 22,46	R\$ 11,56	R\$ 14,57	R\$ 9,33	R\$ 13,09
Média	R\$ 29,03	R\$ 34,29	R\$ 13,91	R\$ 16,44	R\$ 7,47	R\$ 9,69	R\$ 4,46	R\$ 6,70
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

O sistema fotovoltaico sem bateria, apresenta uma maior quantidade do valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede. Os sistemas com a tarifa convencional apresentam um valor maior do faturamento correspondente à energia injetada na rede em comparação com a branca, algo que também influencia nesse parâmetro são as baterias utilizadas nas simulações, que foram configuradas para descarregar entre o período das 18:00 as 23:00 horas, um período menor que o da tarifa branca entre as 17:00 as 23:00 horas. Portanto, parte da energia que seria injetada é direcionada a bateria. A Figura 22 mostra o valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de janeiro a dezembro.

Figura 22 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 1.



O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede reduz seu valor com o aumento da capacidade da bateria. Em alguns meses o valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede se aproxima de zero, como em maio, junho, julho e agosto, para o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh.

Dado que a energia injetada na rede é menor que a energia consumida para todos os meses, a diferença entre o valor do faturamento correspondente à energia elétrica proveniente da rede de distribuição e o valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede, é considerado como o custo da fatura de energia elétrica. A Tabela 22 apresenta o valor da fatura de energia elétrica.

Tabela 22 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 1.

(continua)

Valor da Fatura de Energia Elétrica								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 30,44	R\$ 17,17	R\$ 18,15	R\$ 18,83	R\$ 16,41	R\$ 18,84	R\$ 16,80	R\$ 19,84
Fevereiro	R\$ 30,61	R\$ 19,72	R\$ 20,30	R\$ 21,55	R\$ 19,05	R\$ 22,11	R\$ 19,10	R\$ 22,55
Março	R\$ 31,52	R\$ 18,98	R\$ 20,79	R\$ 22,02	R\$ 19,67	R\$ 22,38	R\$ 18,56	R\$ 22,05
Abril	R\$ 40,46	R\$ 30,26	R\$ 30,67	R\$ 30,98	R\$ 29,11	R\$ 31,69	R\$ 25,27	R\$ 29,69
Maiο	R\$ 49,26	R\$ 38,93	R\$ 40,19	R\$ 40,69	R\$ 38,36	R\$ 40,61	R\$ 37,30	R\$ 42,19
Junho	R\$ 51,89	R\$ 43,72	R\$ 44,11	R\$ 45,68	R\$ 43,01	R\$ 45,95	R\$ 41,49	R\$ 45,50
Julho	R\$ 57,45	R\$ 49,45	R\$ 49,67	R\$ 50,60	R\$ 48,92	R\$ 51,41	R\$ 49,66	R\$ 52,06

Tabela 22 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 1.

(conclusão)

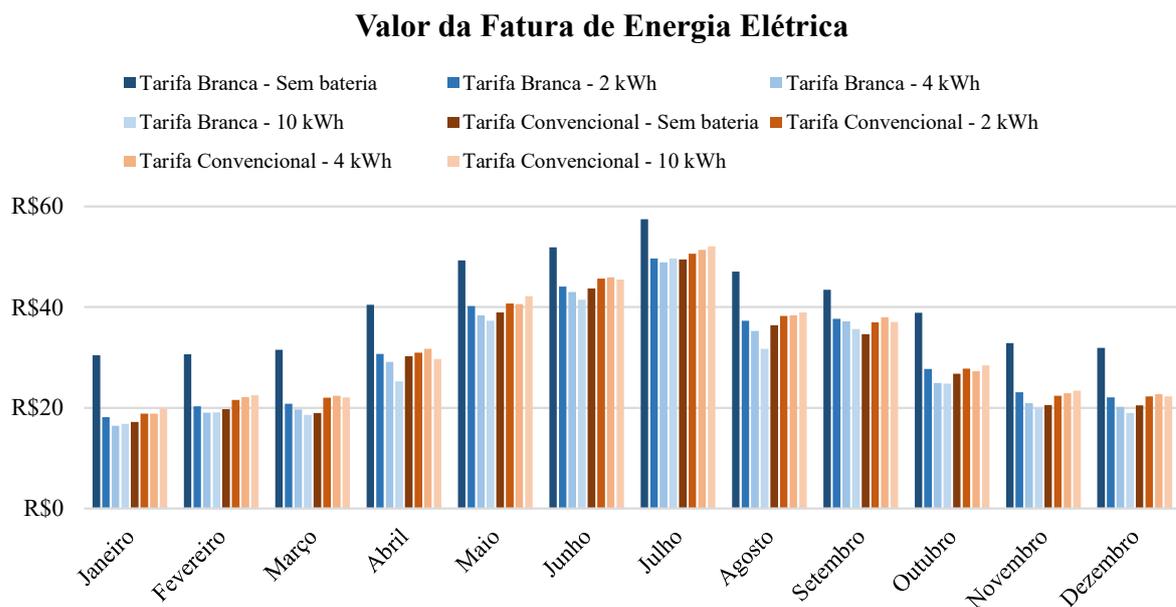
Valor da Fatura de Energia Elétrica								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Agosto	R\$ 47,09	R\$ 36,41	R\$ 37,31	R\$ 38,27	R\$ 35,28	R\$ 38,35	R\$ 31,71	R\$ 38,92
Setembro	R\$ 43,47	R\$ 34,66	R\$ 37,68	R\$ 36,96	R\$ 37,18	R\$ 37,97	R\$ 35,62	R\$ 37,06
Outubro	R\$ 38,89	R\$ 26,80	R\$ 27,75	R\$ 27,77	R\$ 24,94	R\$ 27,27	R\$ 24,80	R\$ 28,45
Novembro	R\$ 32,89	R\$ 20,58	R\$ 23,12	R\$ 22,40	R\$ 20,95	R\$ 22,89	R\$ 20,03	R\$ 23,42
Dezembro	R\$ 31,93	R\$ 20,47	R\$ 22,07	R\$ 22,25	R\$ 20,19	R\$ 22,72	R\$ 18,98	R\$ 22,25
Média	R\$ 40,49	R\$ 29,76	R\$ 30,98	R\$ 31,50	R\$ 29,42	R\$ 31,85	R\$ 28,28	R\$ 32,00
Opção	TC		TB		TB		TB	

Fonte: Autora (2019).

A tarifa convencional para os sistemas fotovoltaicos sem bateria dispõe de valores de fatura menores do que a branca na mesma situação, ela proporciona uma redução de 26 % no custo da fatura. Para os outros casos a tarifa branca é mais atrativa, com 2 %, 8 % e 12 % de redução na fatura de energia elétrica para o sistema com bateria de 2, 4 e 10 kWh, respectivamente, comparada com a tarifa convencional.

O menor valor de fatura de energia elétrica com a tarifa convencional é para o sistema fotovoltaico sem bateria, e com a tarifa branca é para o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh, uma vez que a última possui o menor de valor de fatura de energia elétrica, cerca de 5 % menor do que a primeira. O valor final pago a distribuidora de energia pode ser melhor ilustrado pela Figura 23.

Figura 23 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 1.



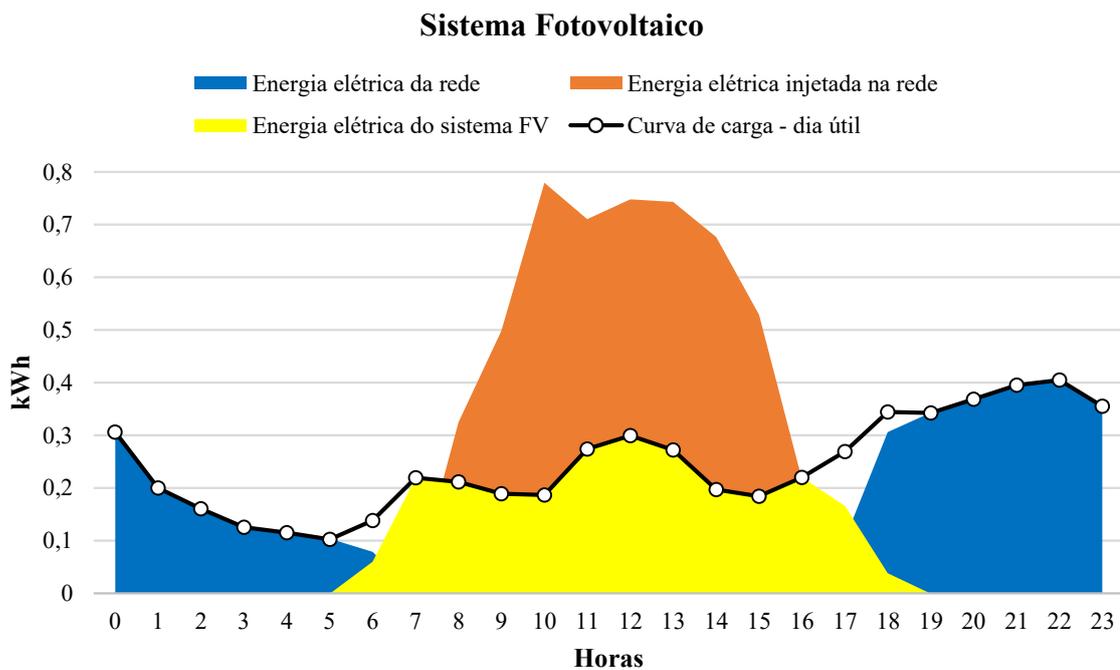
Fonte: Autora (2019).

A fatura de energia elétrica utilizando a tarifa convencional tende a ficar mais cara com o aumento da capacidade da bateria. Para a tarifa branca ocorre o contrário, a fatura fica com um valor menor com aumento da capacidade da bateria, em razão da energia elétrica armazenada na bateria ser descarregada nos horários de ponta e intermediário.

4.1.2 Configuração 2

Para o sistema fotovoltaico com potência de 1,376 kWp, a Figura 24 apresenta a curva de carga de um dia útil ensolarado com geração de energia solar fotovoltaica para uma residência conectada à rede de energia elétrica de distribuição.

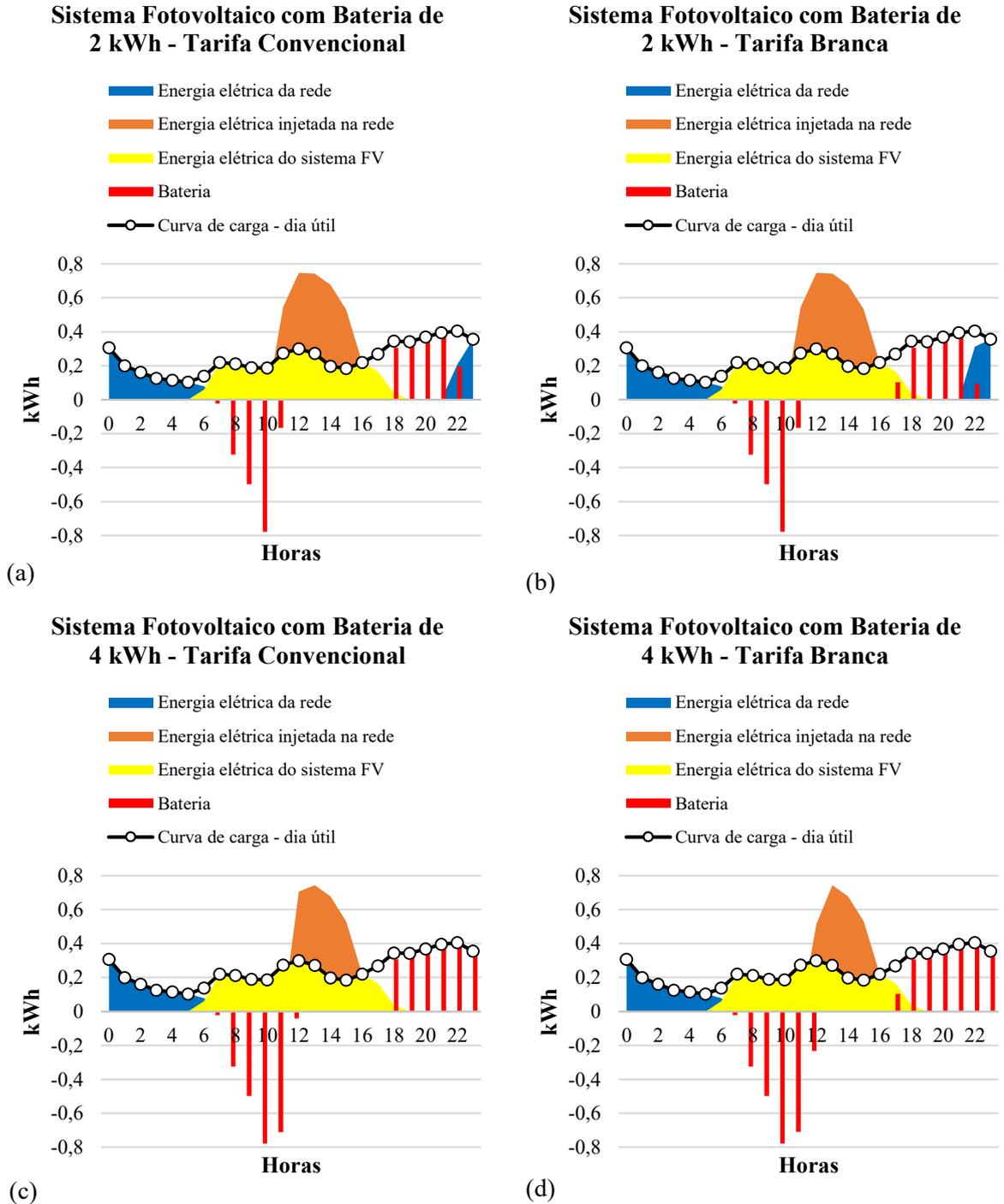
Figura 24 – Curva de carga com geração de energia solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 1.

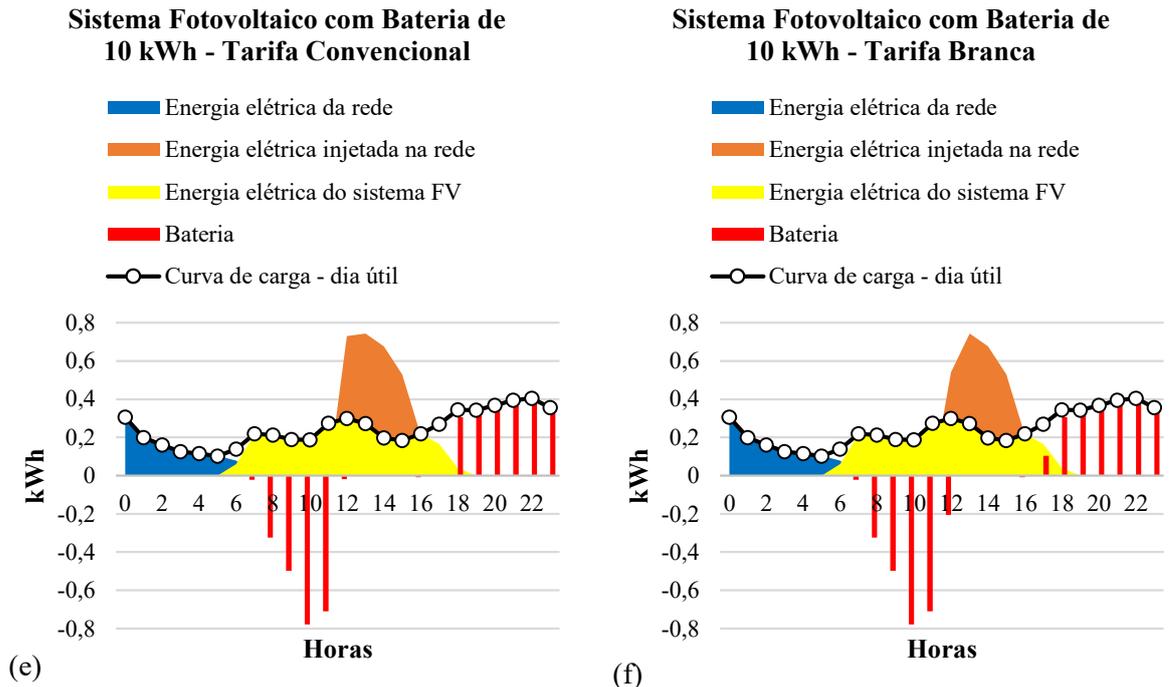


Fonte: Autora (2019).

A Figura 25 mostra a curva de carga da unidade consumidora com sistema fotovoltaico de inversor com bateria integrada com capacidade de 2, 4 e 10 kWh, no âmbito da tarifa branca e convencional.

Figura 25 – Curva de carga com geração solar da configuração 2 do cenário 1 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.





Fonte: Autora (2019).

A unidade consumidora com o sistema de bateria de 4 e 10 kWh, apenas utiliza a energia elétrica armazenada na bateria nos horários de pico, para esse dia ensolarado. O valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição é apresentado na Tabela 23, para os sistemas fotovoltaicos com e sem bateria.

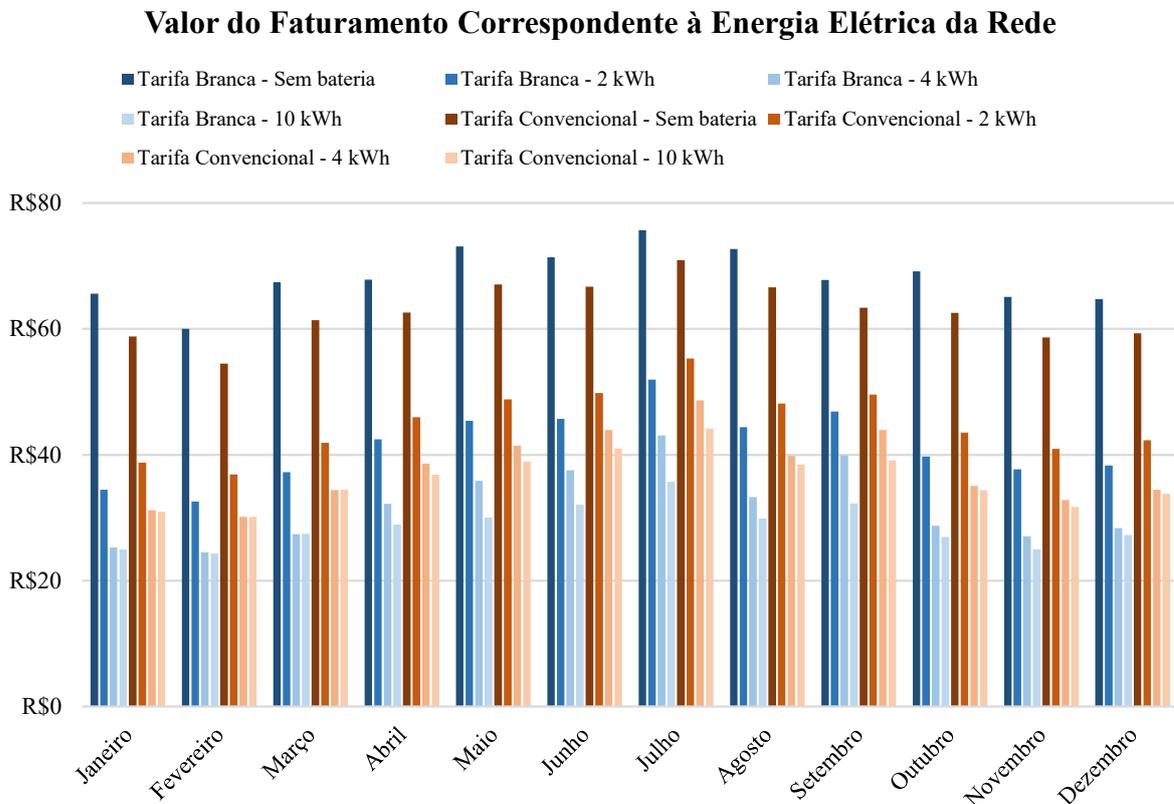
Tabela 23 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica da Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 65,61	R\$ 58,80	R\$ 34,46	R\$ 38,76	R\$ 25,29	R\$ 31,19	R\$ 24,98	R\$ 30,97
Fevereiro	R\$ 60,01	R\$ 54,50	R\$ 32,60	R\$ 36,88	R\$ 24,52	R\$ 30,15	R\$ 24,34	R\$ 30,17
Março	R\$ 67,40	R\$ 61,38	R\$ 37,23	R\$ 41,92	R\$ 27,43	R\$ 34,42	R\$ 27,45	R\$ 34,44
Abril	R\$ 67,84	R\$ 62,59	R\$ 42,45	R\$ 45,95	R\$ 32,24	R\$ 38,61	R\$ 28,92	R\$ 36,87
Maiο	R\$ 73,12	R\$ 67,08	R\$ 45,39	R\$ 48,79	R\$ 35,85	R\$ 41,44	R\$ 30,06	R\$ 38,91
Junho	R\$ 71,38	R\$ 66,71	R\$ 45,70	R\$ 49,81	R\$ 37,54	R\$ 43,93	R\$ 32,06	R\$ 40,98
Julho	R\$ 75,67	R\$ 70,93	R\$ 51,95	R\$ 55,31	R\$ 43,06	R\$ 48,67	R\$ 35,70	R\$ 44,21
Agosto	R\$ 72,69	R\$ 66,62	R\$ 44,40	R\$ 48,14	R\$ 33,27	R\$ 39,81	R\$ 29,89	R\$ 38,45
Setembro	R\$ 67,78	R\$ 63,36	R\$ 46,89	R\$ 49,56	R\$ 39,94	R\$ 43,92	R\$ 32,27	R\$ 39,12
Outubro	R\$ 69,17	R\$ 62,55	R\$ 39,76	R\$ 43,52	R\$ 28,70	R\$ 35,09	R\$ 26,95	R\$ 34,38
Novembro	R\$ 65,11	R\$ 58,65	R\$ 37,72	R\$ 40,95	R\$ 27,04	R\$ 32,86	R\$ 24,96	R\$ 31,71
Dezembro	R\$ 64,75	R\$ 59,29	R\$ 38,32	R\$ 42,33	R\$ 28,35	R\$ 34,44	R\$ 27,26	R\$ 33,78
Média	R\$ 68,38	R\$ 62,70	R\$ 41,41	R\$ 45,16	R\$ 31,94	R\$ 37,88	R\$ 28,74	R\$ 36,16
Opção	TC		TB		TB		TB	

Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição para o sistema fotovoltaico sem bateria é menor adotando a tarifa convencional, por volta de 8 % menor do que com a branca. Para os sistemas com bateria a tarifa branca traz o faturamento correspondente à energia elétrica com valores em média menores, com diferenças de 8 %, 16 % e 21 % nos valores referentes a convencional, para os sistemas com bateria de 2 kWh, 4 kWh e 10 kWh, respectivamente. A Figura 26 mostra a variação do valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de janeiro a dezembro.

Figura 26 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.



Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição varia tanto para tarifa convencional como para a branca de forma semelhante, quanto maior a capacidade da bateria menor o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede, sendo o sistema sem bateria com maiores valores de energia. O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede é apresentado na Tabela 24.

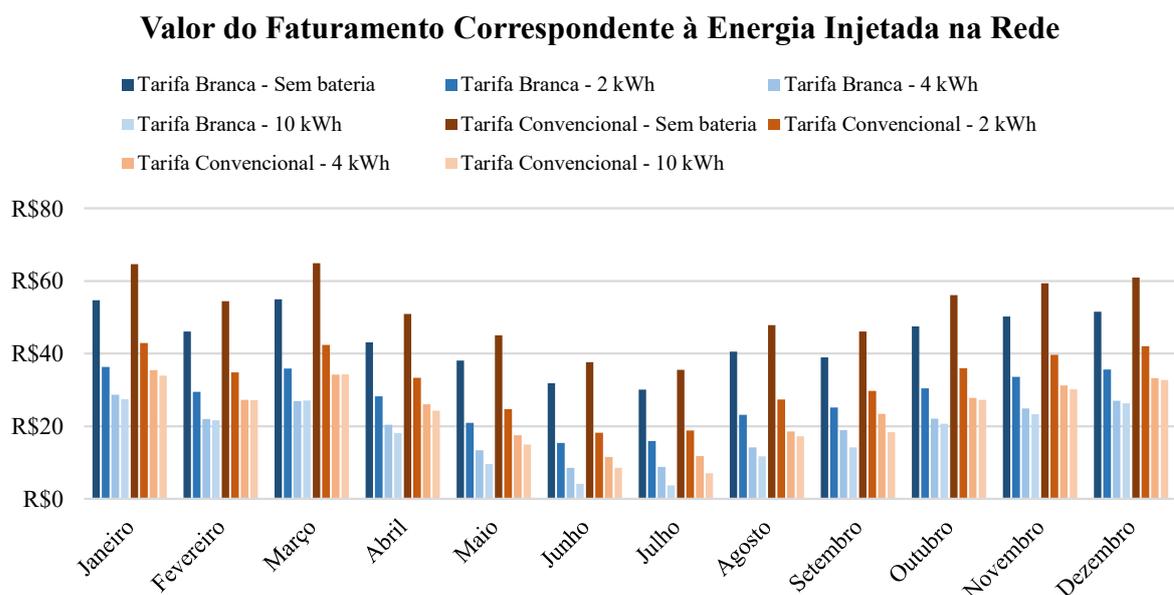
Tabela 24 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Injetada na Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 54,76	R\$ 64,69	R\$ 36,32	R\$ 42,91	R\$ 28,70	R\$ 35,43	R\$ 27,48	R\$ 33,97
Fevereiro	R\$ 46,06	R\$ 54,41	R\$ 29,52	R\$ 34,87	R\$ 22,00	R\$ 27,25	R\$ 21,63	R\$ 27,16
Março	R\$ 54,97	R\$ 64,95	R\$ 35,87	R\$ 42,37	R\$ 26,97	R\$ 34,19	R\$ 27,13	R\$ 34,35
Abril	R\$ 43,09	R\$ 50,90	R\$ 28,26	R\$ 33,39	R\$ 20,42	R\$ 26,01	R\$ 18,17	R\$ 24,28
Maió	R\$ 38,13	R\$ 45,05	R\$ 20,95	R\$ 24,75	R\$ 13,42	R\$ 17,49	R\$ 9,63	R\$ 14,95
Junho	R\$ 31,85	R\$ 37,63	R\$ 15,44	R\$ 18,24	R\$ 8,54	R\$ 11,51	R\$ 4,17	R\$ 8,54
Julho	R\$ 30,09	R\$ 35,54	R\$ 15,93	R\$ 18,82	R\$ 8,79	R\$ 11,78	R\$ 3,71	R\$ 7,08
Agosto	R\$ 40,55	R\$ 47,90	R\$ 23,17	R\$ 27,37	R\$ 14,18	R\$ 18,58	R\$ 11,70	R\$ 17,29
Setembro	R\$ 39,01	R\$ 46,09	R\$ 25,21	R\$ 29,78	R\$ 18,96	R\$ 23,44	R\$ 14,17	R\$ 18,39
Outubro	R\$ 47,53	R\$ 56,15	R\$ 30,45	R\$ 35,97	R\$ 22,06	R\$ 27,86	R\$ 20,69	R\$ 27,25
Novembro	R\$ 50,25	R\$ 59,36	R\$ 33,60	R\$ 39,69	R\$ 24,95	R\$ 31,26	R\$ 23,37	R\$ 30,21
Dezembro	R\$ 51,57	R\$ 60,92	R\$ 35,63	R\$ 42,08	R\$ 27,05	R\$ 33,24	R\$ 26,30	R\$ 32,72
Média	R\$ 43,99	R\$ 51,97	R\$ 27,53	R\$ 32,52	R\$ 19,67	R\$ 24,84	R\$ 17,35	R\$ 23,02
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede tem um valor maior com a tarifa convencional em todos os quadros. Ela varia de forma semelhante ao valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede, ou seja, com o aumento da capacidade da bateria menor o valor de energia injetada na rede. A Figura 27 mostra o valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede.

Figura 27 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 1.



Fonte: Autora (2019).

Nos meses de janeiro, para o sistema fotovoltaico sem bateria e com a tarifa convencional, a energia injetada é maior do que a energia elétrica da rede, havendo excedente. Os sistemas com bateria de 2, 4 e 10 kWh, também apresentam o valor do faturamento correspondente aos créditos de energia. Assim, a Tabela 25 apresenta os valores do faturamento correspondente aos créditos de energia, que são utilizados para compensar o consumo em outro posto horário.

Tabela 25 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia elétrica da configuração 2 do cenário 1.

Valor do Faturamento Correspondente aos Créditos de Energia Elétrica								
	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
Mês	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 0,00	R\$ 5,89	R\$ 1,86	R\$ 4,15	R\$ 3,41	R\$ 4,23	R\$ 2,50	R\$ 2,99
Fevereiro	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Março	R\$ 0,00	R\$ 3,56	R\$ 0,00	R\$ 0,45	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Abril	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Mai	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Junho	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Julho	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Agosto	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Setembro	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Outubro	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Novembro	R\$ 0,00	R\$ 0,72	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Dezembro	R\$ 0,00	R\$ 1,63	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Média	R\$ 0,00	R\$ 0,98	R\$ 0,16	R\$ 0,38	R\$ 0,28	R\$ 0,35	R\$ 0,21	R\$ 0,25
Total	R\$ 0,00	R\$ 11,81	R\$ 1,86	R\$ 4,60	R\$ 3,41	R\$ 4,23	R\$ 2,50	R\$ 2,99
Opção		TC		TC		TC		TC

Fonte: Autora (2019).

Os sistemas com a tarifa convencional apresentam um valor maior do faturamento correspondente aos créditos de energia do que com a branca, sendo o sistema fotovoltaico sem bateria com a maior quantidade de créditos relacionados ao faturamento. Esses créditos são utilizados nos meses seguintes, consequentemente eles reduzem o valor da fatura de energia elétrica. Então, o valor da fatura de energia elétrica é mostrado na Tabela 26.

Tabela 26 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 1.

(continua)

Valor da Fatura de Energia Elétrica								
	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
Mês	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Fevereiro	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Março	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64

Tabela 26: Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 1. (conclusão)

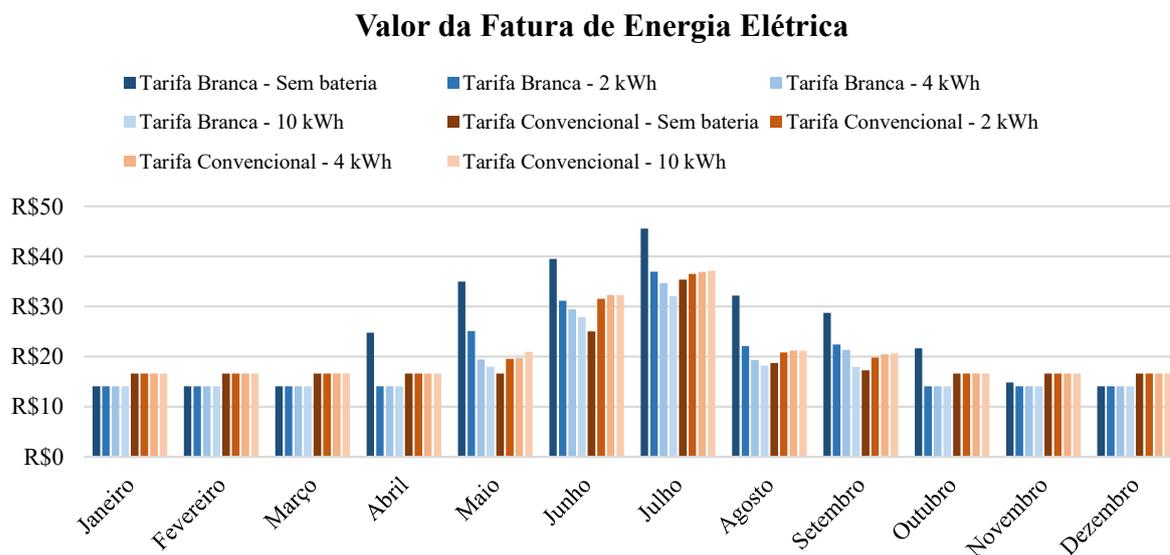
Valor da Fatura de Energia Elétrica								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Abril	R\$ 24,75	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Mai	R\$ 34,99	R\$ 16,64	R\$ 22,69	R\$ 19,45	R\$ 19,02	R\$ 19,71	R\$ 17,94	R\$ 20,97
Junho	R\$ 39,53	R\$ 25,02	R\$ 30,26	R\$ 31,57	R\$ 29,00	R\$ 32,42	R\$ 27,89	R\$ 32,44
Julho	R\$ 45,58	R\$ 35,39	R\$ 36,02	R\$ 36,49	R\$ 34,27	R\$ 36,89	R\$ 31,99	R\$ 37,13
Agosto	R\$ 32,15	R\$ 18,72	R\$ 21,23	R\$ 20,76	R\$ 19,09	R\$ 21,23	R\$ 18,19	R\$ 21,16
Setembro	R\$ 28,76	R\$ 17,27	R\$ 21,68	R\$ 19,78	R\$ 20,99	R\$ 20,48	R\$ 18,10	R\$ 20,73
Outubro	R\$ 21,64	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Novembro	R\$ 14,86	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Dezembro	R\$ 14,08	R\$ 16,64						
Média	R\$ 24,88	R\$ 19,12	R\$ 19,20	R\$ 20,38	R\$ 18,41	R\$ 20,60	R\$ 17,72	R\$ 20,74
Opção	TC		TB		TB		TB	

Fonte: Autora (2019).

Em média a tarifa convencional é atrativa para o sistema fotovoltaico sem bateria, com uma redução de 23 % no valor da fatura comparado com a tarifa branca. Os casos com bateria e com a tarifa branca apresentam um valor menor de fatura, com uma redução no valor de 6 %, 11 % e 15 %, para o sistema com bateria de 2, 4 e 10 kWh, respectivamente, comparado com a tarifa convencional.

Nos meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro o consumidor paga somente o custo de disponibilidade de R\$ 14,08 para a tarifa branca e R\$ 16,64 para a tarifa convencional, para todos os arranjos propostos. A Figura 28 mostra o custo da fatura de janeiro a dezembro.

Figura 28 – Valor da fatura da configuração 2 do cenário 1.



Fonte: Autora (2019).

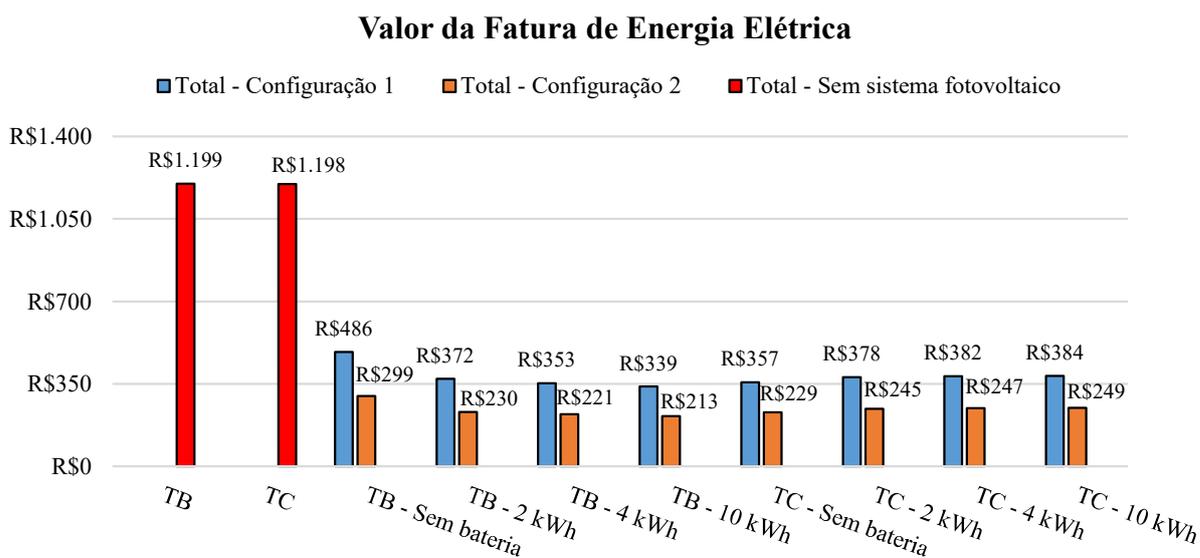
Todos os créditos foram utilizados para a tarifa branca e para convencional, porém, para o sistema fotovoltaico sem bateria associado a tarifa convencional não foram utilizados R\$ 2,35, podendo ser utilizado no ano seguinte.

O sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh com a tarifa branca apresentou o menor valor de fatura de energia elétrica. Assim, o custo da fatura para o sistema fotovoltaico sem bateria e com a tarifa convencional é 7 % maior comparado com o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh e com a tarifa branca, essas duas combinações apresentam os menores valores de fatura de energia elétrica.

4.1.3 Análise das Configurações

A configuração 2, com sistema fotovoltaico de potência de 1,376 kWp apresenta os menores valores de fatura de energia elétrica. Somente com a inserção do sistema fotovoltaico, há uma redução no valor da fatura de energia elétrica de 59 % para a configuração 1, e 75 % para a configuração 2, com a tarifa branca. Logo, com a tarifa convencional, a redução é de 70 % e 81 %, para a configuração 1 e 2, respectivamente. A Figura 29 apresenta o valor total de fatura para a unidade consumidora apenas conectada à rede de distribuição, e com sistema fotovoltaico sem bateria e com bateria de 2, 4 e 10 kWh.

Figura 29 – Comparação do valor da fatura para todos os arranjos do cenário 1.



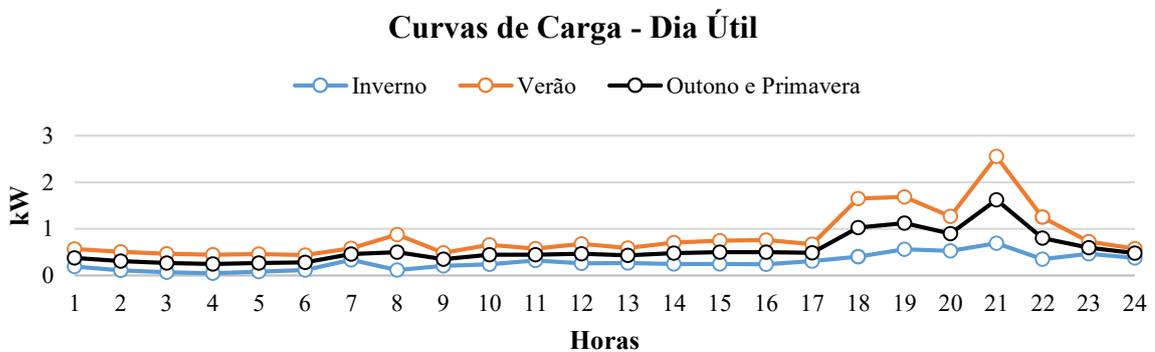
Fonte: Autora (2019).

A configuração 1 com sistema fotovoltaico de potência de 1,101 kWp apresenta valores maiores de faturas do que a configuração 2, chegando a ser de 39 % a 35 % maior.

4.2 CENÁRIO 2

As curvas de carga foram obtidas conforme a subseção do cenário 2 da seção materiais e métodos. O cenário 2, apresenta curvas de carga típicas para um dia útil de consumidores residenciais para o verão, outono, inverno e primavera, apresentando pico a noite, exatamente as 21:00 horas, e com consumo constante durante o dia. No intervalo das 17:00 as 23:00 horas há 49 % de consumo. As curvas de carga apresentada na Figura 30, é comum de consumidores que não permanecem em suas residências no decorrer do dia e que retornam para elas a noite.

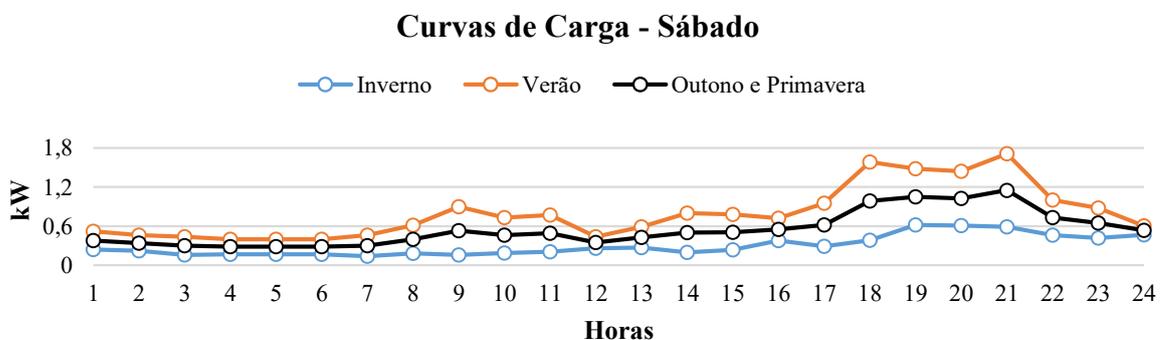
Figura 30 – Curvas de carga para dia útil para o verão, outono, inverno e primavera.



Fonte: Autora (2019).

Para o sábado, as curvas de carga durante o dia apresentam poucas variações. Os picos se concentram a noite, entre as 18:00 e 21:00 horas. A Figura 31 mostra as curvas de carga para o sábado referentes as estações de um ano.

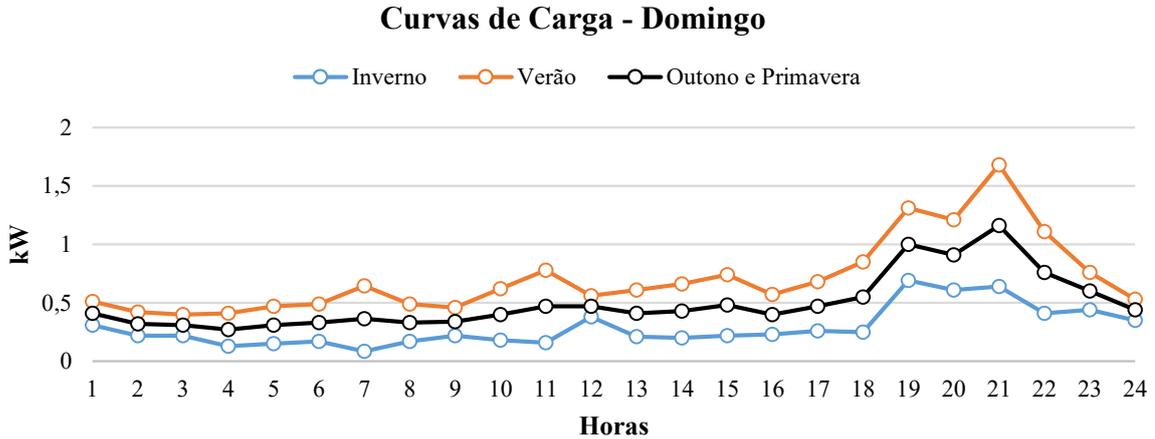
Figura 31 – Curvas de carga para o sábado para o verão, outono, inverno e primavera.



Fonte: Autora (2019).

O domingo apresenta curvas de carga de perfil semelhante ao dia útil. Os picos de consumo se concentram entre as 19:00 e 21:00 horas. A Figura 32 exibe as curvas de carga para o domingo.

Figura 32 – Curvas de carga para o domingo para o verão, outono, inverno e primavera.



Fonte: Autora (2019).

Após organizar os dados horários presentes nas curvas de carga para o verão, outono, inverno e primavera, se faz um somatório para cada mês para obter o consumo mensal e anual, apresentado na Tabela 27.

Tabela 27 – Consumo mensal para o cenário 2.

Mês	Consumo total (kWh)
Janeiro	603,58
Fevereiro	543,65
Março	408,23
Abril	393,63
Mai	408,49
Junho	206,96
Julho	213,49
Agosto	213,41
Setembro	393,36
Outubro	408,49
Novembro	395,09
Dezembro	599,66
Consumo Anual (Et)	4.788,04

Fonte: Autora (2019).

Aplicando as tarifas no consumo de energia elétrica em base horária se obtém o valor da fatura de energia elétrica para a unidade consumidora apenas conectada à rede de energia elétrica, apresentado na Tabela 28.

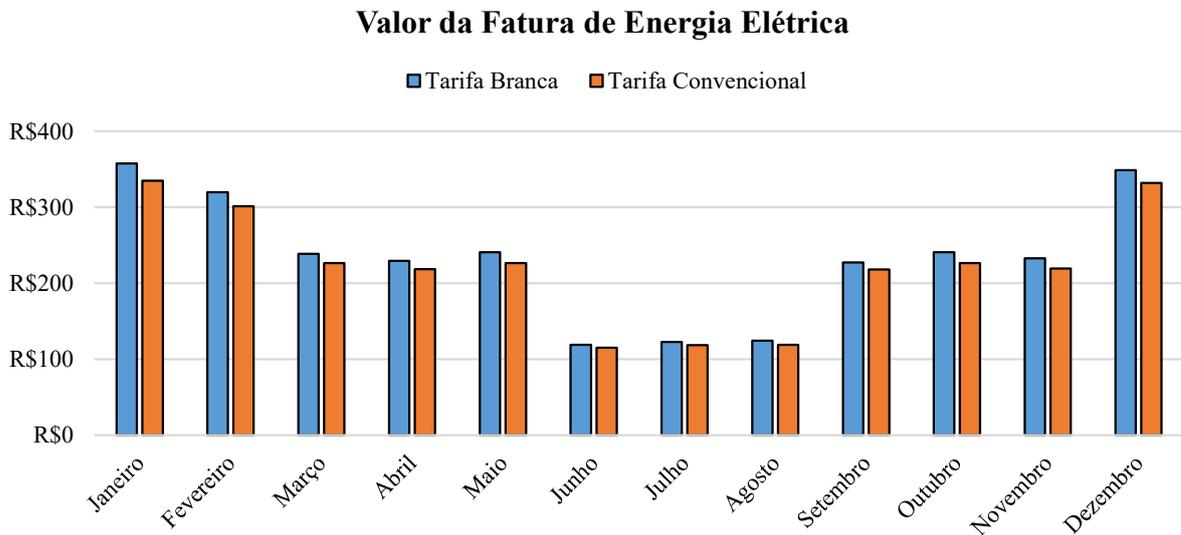
Tabela 28 – Valor da fatura de energia elétrica do cenário 2.

Valor da Fatura de Energia Elétrica		
Mês	Tarifa Branca (TB)	Tarifa Convencional (TC)
Janeiro	R\$ 357,60	R\$ 334,69
Fevereiro	R\$ 319,56	R\$ 301,19
Março	R\$ 238,44	R\$ 226,37
Abril	R\$ 229,46	R\$ 218,27
Mai	R\$ 240,47	R\$ 226,24
Junho	R\$ 118,80	R\$ 114,87
Julho	R\$ 122,70	R\$ 118,27
Agosto	R\$ 124,06	R\$ 118,65
Setembro	R\$ 227,17	R\$ 218,08
Outubro	R\$ 240,70	R\$ 226,51
Novembro	R\$ 232,47	R\$ 219,31
Dezembro	R\$ 348,56	R\$ 331,64
Total	R\$ 2.799,99	R\$ 2.654,09
Opção	Tarifa Convencional	

Fonte: Autora (2019).

A unidade consumidora com a tarifa convencional apresenta para todos os meses valores faturados menores do que a tarifa branca, cerca de 5 % menor ao total. A Figura 33 exhibe o valor da fatura de energia elétrica.

Figura 33 – Valor da fatura do cenário 2.



Fonte: Autora (2019).

A partir da equação (2) obtém-se a potência de pico (P_{FV}), sendo o consumo anual (E_t) igual a 4.788,04 kWh, resultando em P_{FV} igual a 3,08 kWp. Assim, utiliza-se duas potências de módulos e inversores, como indica a Tabela 29.

Tabela 29 – Quantidade, potência de módulos e inversores, strings, e fator de dimensionamento de inversor do cenário 2.

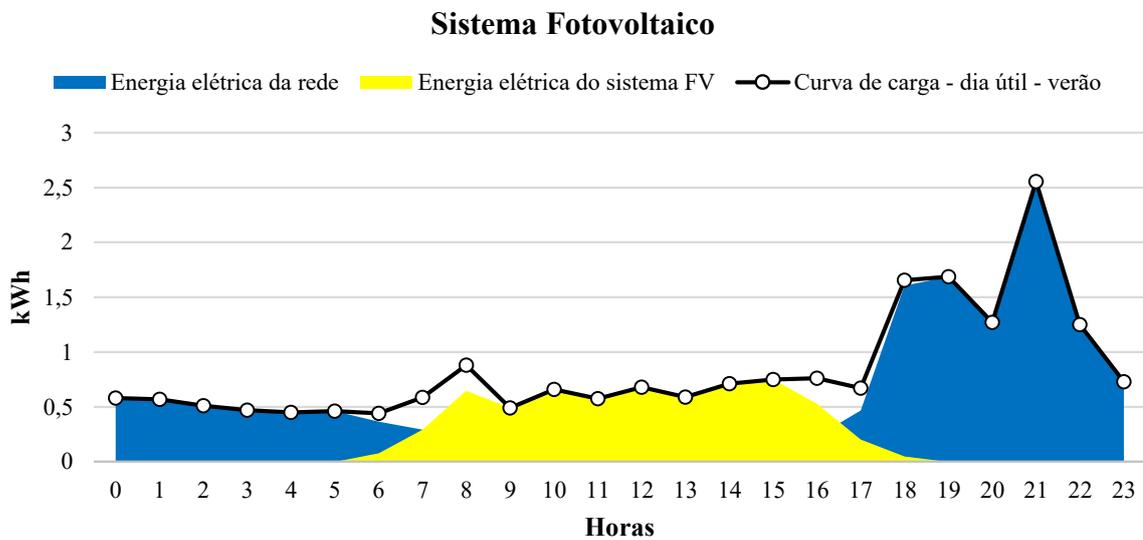
Parâmetro	Configuração 1	Configuração 2
Quantidade de módulos	6	12
Potência de módulos	1,652 kWp	3,303 kWp
Strings	1	1
Quantidade de inversores	1	1
Potência de saída de inversores	1500 W	3,070 W
Fator de dimensionamento do inversor (FDI)	0,91	0,93

Fonte: Autora (2019).

4.2.1 Configuração 1

A potência de 1,652 kWp foi selecionada em razão de apresentar o valor mais próximo da potência calculada que não gera créditos de energia, os quais poderiam ser utilizados nos próximos meses. A Figura 34 mostra a curva de carga de um dia útil de verão com geração solar fotovoltaica.

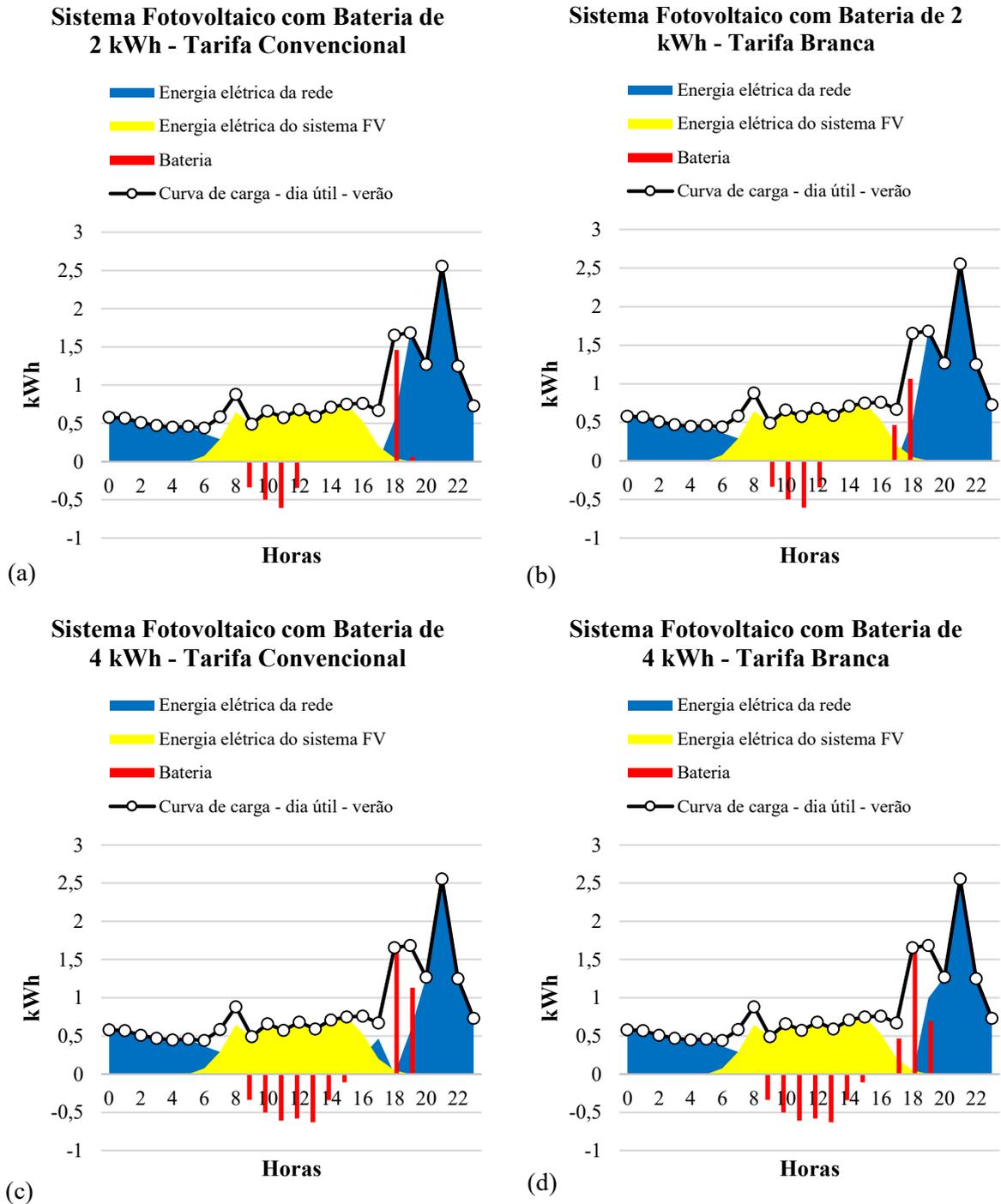
Figura 34 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 2.



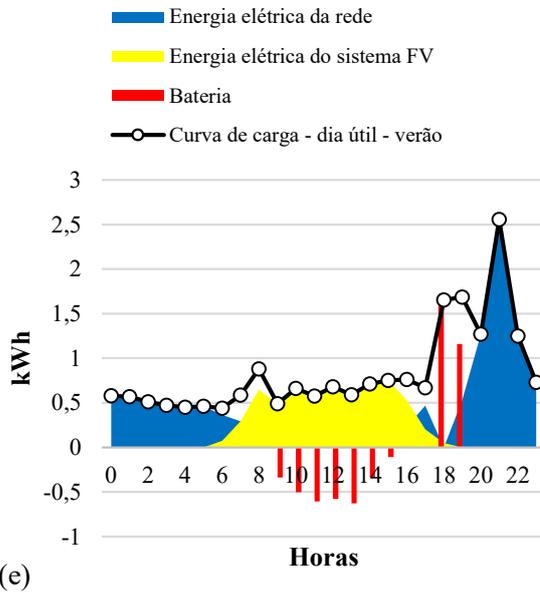
Fonte: Autora (2019).

Para esse dia, o sistema não apresenta energia elétrica injetada na rede. A Figura 35, apresenta a curva de carga de um dia útil de verão de uma residência com sistema fotovoltaico com bateria integrada ao inversor.

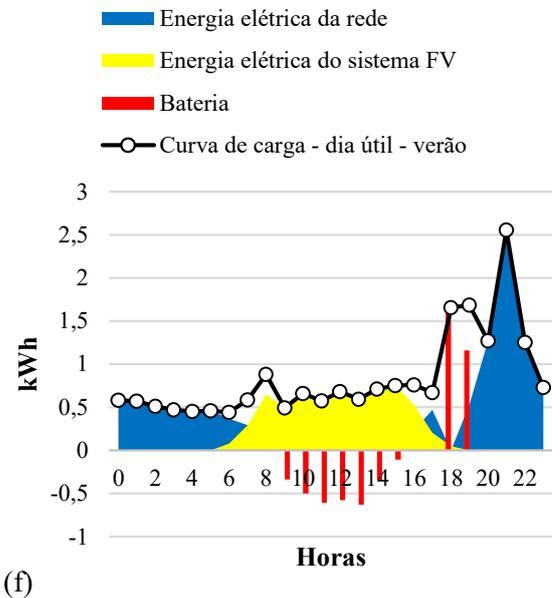
Figura 35 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 1 do cenário 2 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Convencional



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Branca



Fonte: Autora (2019).

Verifica-se que mesmo o sistema contendo bateria, há consumo de energia elétrica da rede nos horários de pico, devido a quantidade de energia elétrica armazenada na bateria não ser suficiente para suprir o consumo desse dia. O valor do faturamento correspondente à energia elétrica consumida da rede de distribuição é apresentado na Tabela 30.

Tabela 30 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.

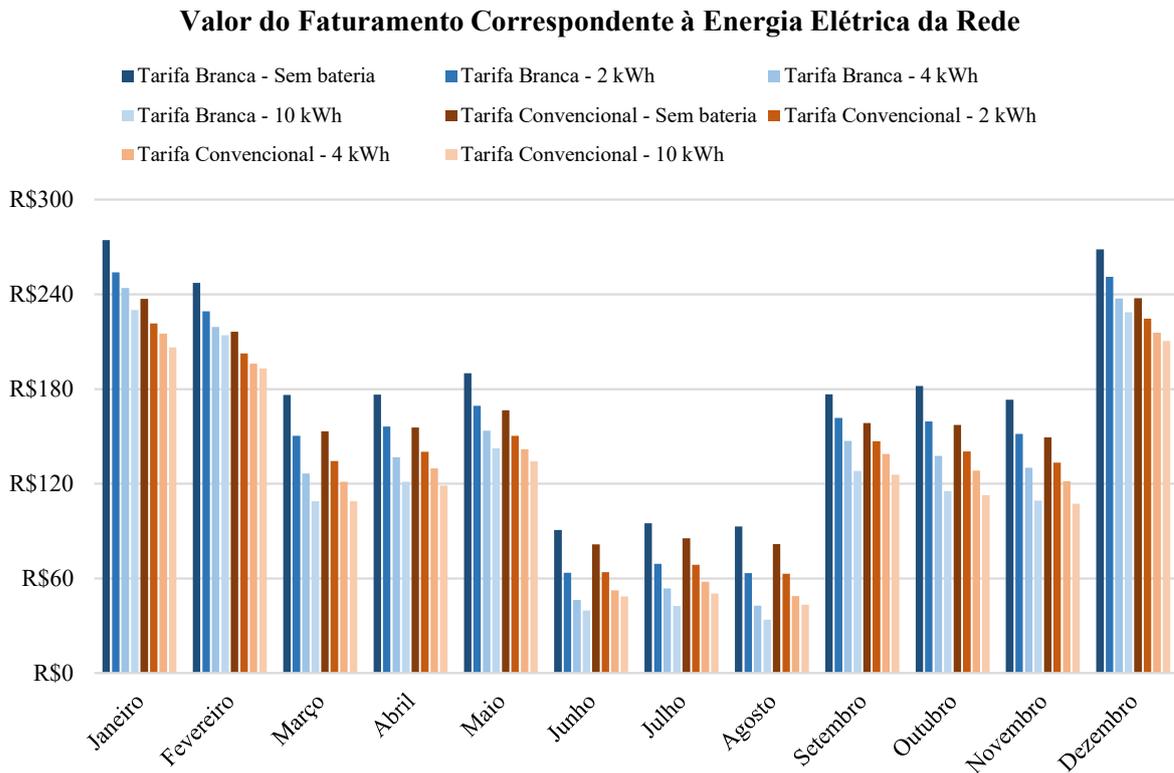
Mês	Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica da Rede							
	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 274,46	R\$ 237,17	R\$ 254,03	R\$ 221,61	R\$ 244,04	R\$ 215,21	R\$ 230,00	R\$ 206,52
Fevereiro	R\$ 247,36	R\$ 216,35	R\$ 229,26	R\$ 202,54	R\$ 219,32	R\$ 196,16	R\$ 214,12	R\$ 193,11
Março	R\$ 176,30	R\$ 153,17	R\$ 150,40	R\$ 134,45	R\$ 126,50	R\$ 121,15	R\$ 108,94	R\$ 108,83
Abril	R\$ 176,38	R\$ 155,60	R\$ 156,34	R\$ 140,34	R\$ 136,86	R\$ 129,66	R\$ 121,34	R\$ 118,73
Mai	R\$ 190,06	R\$ 166,64	R\$ 169,49	R\$ 150,42	R\$ 153,64	R\$ 141,82	R\$ 142,56	R\$ 134,13
Junho	R\$ 90,71	R\$ 81,64	R\$ 63,55	R\$ 64,03	R\$ 46,35	R\$ 52,49	R\$ 39,73	R\$ 48,60
Julho	R\$ 94,92	R\$ 85,40	R\$ 69,33	R\$ 68,73	R\$ 53,61	R\$ 57,85	R\$ 42,52	R\$ 50,42
Agosto	R\$ 92,84	R\$ 81,79	R\$ 63,34	R\$ 62,88	R\$ 42,76	R\$ 48,74	R\$ 33,74	R\$ 43,32
Setembro	R\$ 176,68	R\$ 158,48	R\$ 161,63	R\$ 146,88	R\$ 147,15	R\$ 138,87	R\$ 128,13	R\$ 125,64
Outubro	R\$ 182,02	R\$ 157,33	R\$ 159,52	R\$ 140,38	R\$ 137,57	R\$ 128,37	R\$ 115,37	R\$ 112,73
Novembro	R\$ 173,16	R\$ 149,44	R\$ 151,52	R\$ 133,29	R\$ 130,21	R\$ 121,60	R\$ 109,22	R\$ 107,25
Dezembro	R\$ 268,60	R\$ 237,67	R\$ 251,17	R\$ 224,56	R\$ 237,31	R\$ 215,67	R\$ 228,69	R\$ 210,43
Média	R\$ 178,62	R\$ 156,73	R\$ 156,63	R\$ 140,84	R\$ 139,61	R\$ 130,63	R\$ 126,20	R\$ 121,64
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição para todas as configurações é menor com a tarifa convencional do que com a branca, cerca de

12 % para o sistema sem bateria, 10 % com bateria de 2 kWh, 6 % com bateria de 4 kWh e 4 % com bateria de 10 kWh. A Figura 36 apresenta valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede.

Figura 36 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.



Fonte: Autora (2019).

Nos meses de janeiro, fevereiro e dezembro, o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede para a unidade consumidora com sistema fotovoltaico sem bateria e com a tarifa convencional, apresenta valores próximos do sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh e com a tarifa branca. O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição é apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.

(continua)

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Injetada na Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 27,36	R\$ 32,32	R\$ 12,21	R\$ 14,42	R\$ 6,86	R\$ 8,10	R\$ 0,17	R\$ 0,19
Fevereiro	R\$ 22,04	R\$ 26,04	R\$ 8,25	R\$ 9,74	R\$ 2,59	R\$ 3,05	R\$ 0,02	R\$ 0,02

Tabela 31 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.

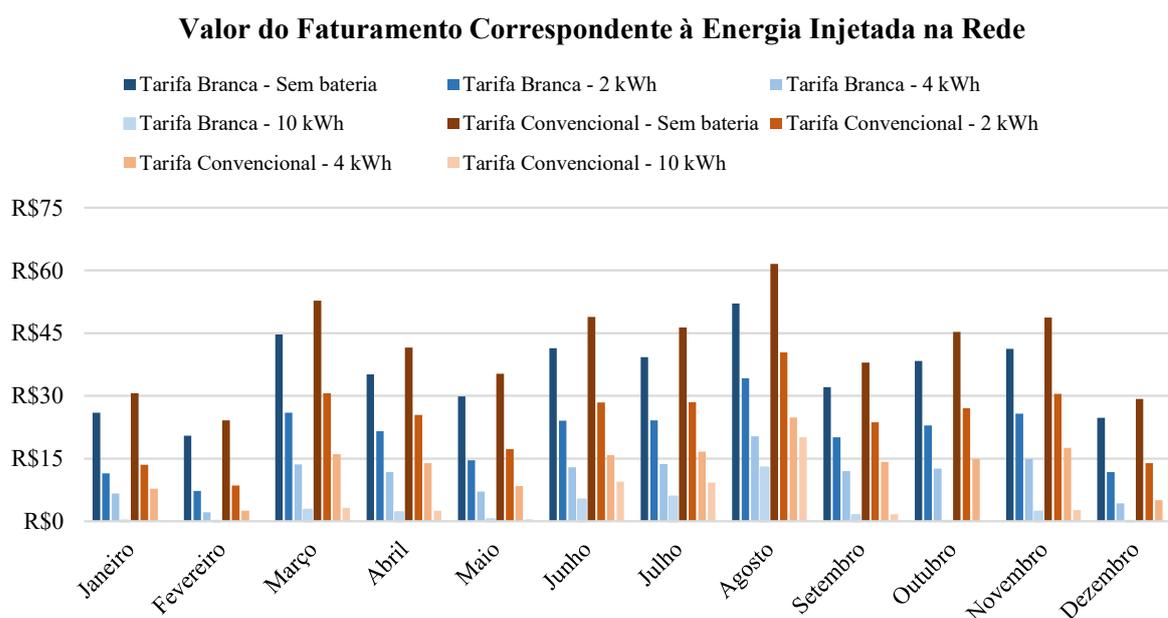
(conclusão)

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Injetada na Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Março	R\$ 45,47	R\$ 53,72	R\$ 26,66	R\$ 31,49	R\$ 14,09	R\$ 16,64	R\$ 3,03	R\$ 3,57
Abril	R\$ 35,83	R\$ 42,33	R\$ 21,99	R\$ 25,97	R\$ 12,23	R\$ 14,44	R\$ 2,38	R\$ 2,81
Mai	R\$ 30,99	R\$ 36,61	R\$ 15,38	R\$ 18,17	R\$ 7,42	R\$ 8,76	R\$ 0,52	R\$ 0,62
Junho	R\$ 42,76	R\$ 50,52	R\$ 25,33	R\$ 29,93	R\$ 13,84	R\$ 17,38	R\$ 6,53	R\$ 10,63
Julho	R\$ 40,29	R\$ 47,60	R\$ 25,25	R\$ 29,83	R\$ 14,68	R\$ 18,14	R\$ 7,08	R\$ 10,31
Agosto	R\$ 53,61	R\$ 63,33	R\$ 35,68	R\$ 42,14	R\$ 21,59	R\$ 26,94	R\$ 15,01	R\$ 21,50
Setembro	R\$ 32,76	R\$ 38,70	R\$ 20,77	R\$ 24,53	R\$ 12,62	R\$ 14,90	R\$ 1,66	R\$ 1,95
Outubro	R\$ 38,81	R\$ 45,85	R\$ 23,33	R\$ 27,55	R\$ 12,90	R\$ 15,23	R\$ 0,03	R\$ 0,03
Novembro	R\$ 42,15	R\$ 49,79	R\$ 26,59	R\$ 31,40	R\$ 15,69	R\$ 18,52	R\$ 2,61	R\$ 3,08
Dezembro	R\$ 25,88	R\$ 30,57	R\$ 12,56	R\$ 14,84	R\$ 4,70	R\$ 5,55	R\$ 0,10	R\$ 0,11
Média	R\$ 36,50	R\$ 43,12	R\$ 21,17	R\$ 25,00	R\$ 11,60	R\$ 13,97	R\$ 3,26	R\$ 4,57
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

A opção pela tarifa convencional para todos os casos tem o valor do faturamento correspondente à energia injetada maiores do que com a tarifa branca. Em alguns meses, o valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede se aproxima de zero, como janeiro, fevereiro, maio, outubro e dezembro para o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh, exibido na Figura 37.

Figura 37 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 1 do cenário 2.



Fonte: Autora (2019).

A Tabela 32 apresenta o valor da fatura de energia elétrica de janeiro a dezembro para todas as hipóteses, em que consiste no cálculo de subtração entre energia elétrica da rede e a energia injetada na rede.

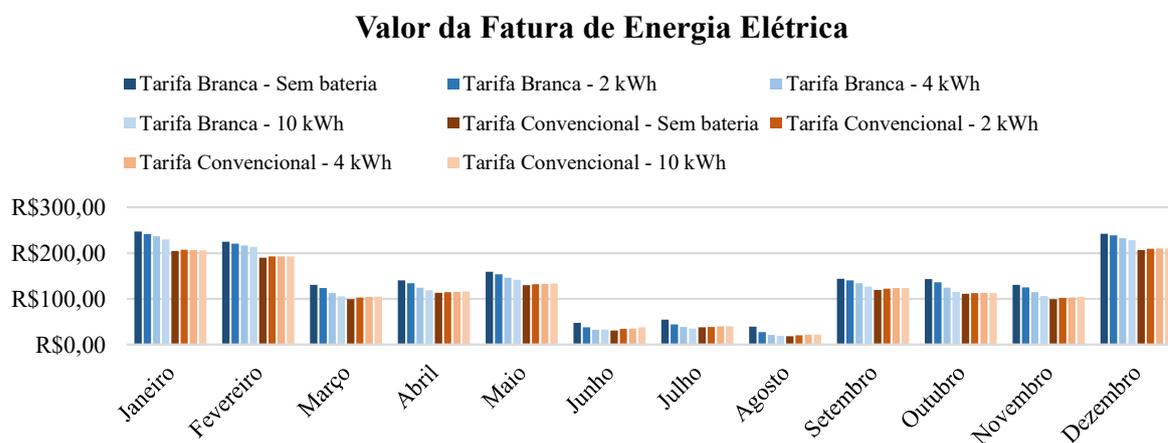
Tabela 32 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 2.

Valor da Fatura de Energia Elétrica								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 247,10	R\$ 204,84	R\$ 241,82	R\$ 207,19	R\$ 237,18	R\$ 207,11	R\$ 229,83	R\$ 206,33
Fevereiro	R\$ 225,32	R\$ 190,32	R\$ 221,01	R\$ 192,80	R\$ 216,73	R\$ 193,11	R\$ 214,11	R\$ 193,10
Março	R\$ 130,83	R\$ 99,46	R\$ 123,74	R\$ 102,96	R\$ 112,41	R\$ 104,51	R\$ 105,91	R\$ 105,25
Abril	R\$ 140,55	R\$ 113,27	R\$ 134,35	R\$ 114,36	R\$ 124,63	R\$ 115,22	R\$ 118,96	R\$ 115,92
Mai	R\$ 159,07	R\$ 130,04	R\$ 154,11	R\$ 132,25	R\$ 146,22	R\$ 133,06	R\$ 142,04	R\$ 133,51
Junho	R\$ 47,95	R\$ 31,12	R\$ 38,22	R\$ 34,10	R\$ 32,51	R\$ 35,12	R\$ 33,19	R\$ 37,97
Julho	R\$ 54,63	R\$ 37,80	R\$ 44,08	R\$ 38,90	R\$ 38,93	R\$ 39,72	R\$ 35,44	R\$ 40,11
Agosto	R\$ 39,23	R\$ 18,46	R\$ 27,67	R\$ 20,74	R\$ 21,17	R\$ 21,80	R\$ 18,74	R\$ 21,82
Setembro	R\$ 143,92	R\$ 119,78	R\$ 140,86	R\$ 122,36	R\$ 134,53	R\$ 123,97	R\$ 126,48	R\$ 123,70
Outubro	R\$ 143,21	R\$ 111,47	R\$ 136,19	R\$ 112,82	R\$ 124,67	R\$ 113,14	R\$ 115,35	R\$ 112,70
Novembro	R\$ 131,02	R\$ 99,65	R\$ 124,93	R\$ 101,89	R\$ 114,53	R\$ 103,08	R\$ 106,61	R\$ 104,17
Dezembro	R\$ 242,72	R\$ 207,10	R\$ 238,61	R\$ 209,73	R\$ 232,61	R\$ 210,12	R\$ 228,59	R\$ 210,32
Média	R\$ 142,13	R\$ 113,61	R\$ 135,47	R\$ 115,84	R\$ 128,01	R\$ 116,66	R\$ 122,94	R\$ 117,07
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

O valor da fatura de energia elétrica é menor com a escolha da tarifa convencional, com cerca de 20 %, 14 %, 9 % e 5 % para o sistema fotovoltaico sem bateria, com bateria de 2, 4 e 10 kWh, de modo respectivo, em comparação com a tarifa branca. O menor custo da fatura com a tarifa branca é para o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh, todavia, é 3 % maior do que o sistema fotovoltaico sem bateria e com a tarifa convencional. Entre todos, o sistema fotovoltaico sem bateria no âmbito tarifa convencional é o mais atrativo. A Figura 38 exibe o valor da fatura.

Figura 38 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 1 do cenário 2.



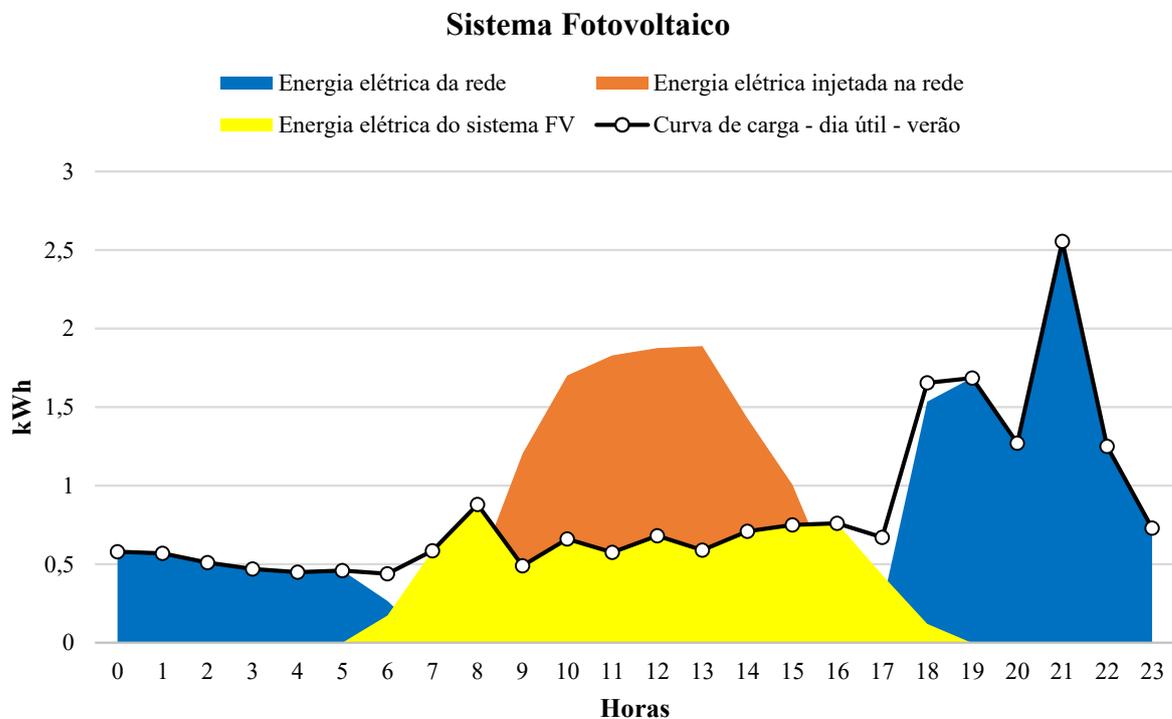
Fonte: Autora (2019).

Os meses de junho, julho e agosto apresentam um menor valor de fatura, devido a curva de carga apresentar valores menores de demanda de energia, já o verão é o que tem um consumo maior de energia elétrica, em virtude de a curva de carga apresentar demandas maiores.

4.2.2 Configuração 2

A curva de carga com geração de energia solar fotovoltaica de um dia útil de verão ensolarado, para o sistema fotovoltaico de potência de 3,303 kWp, é ilustrado na Figura 39.

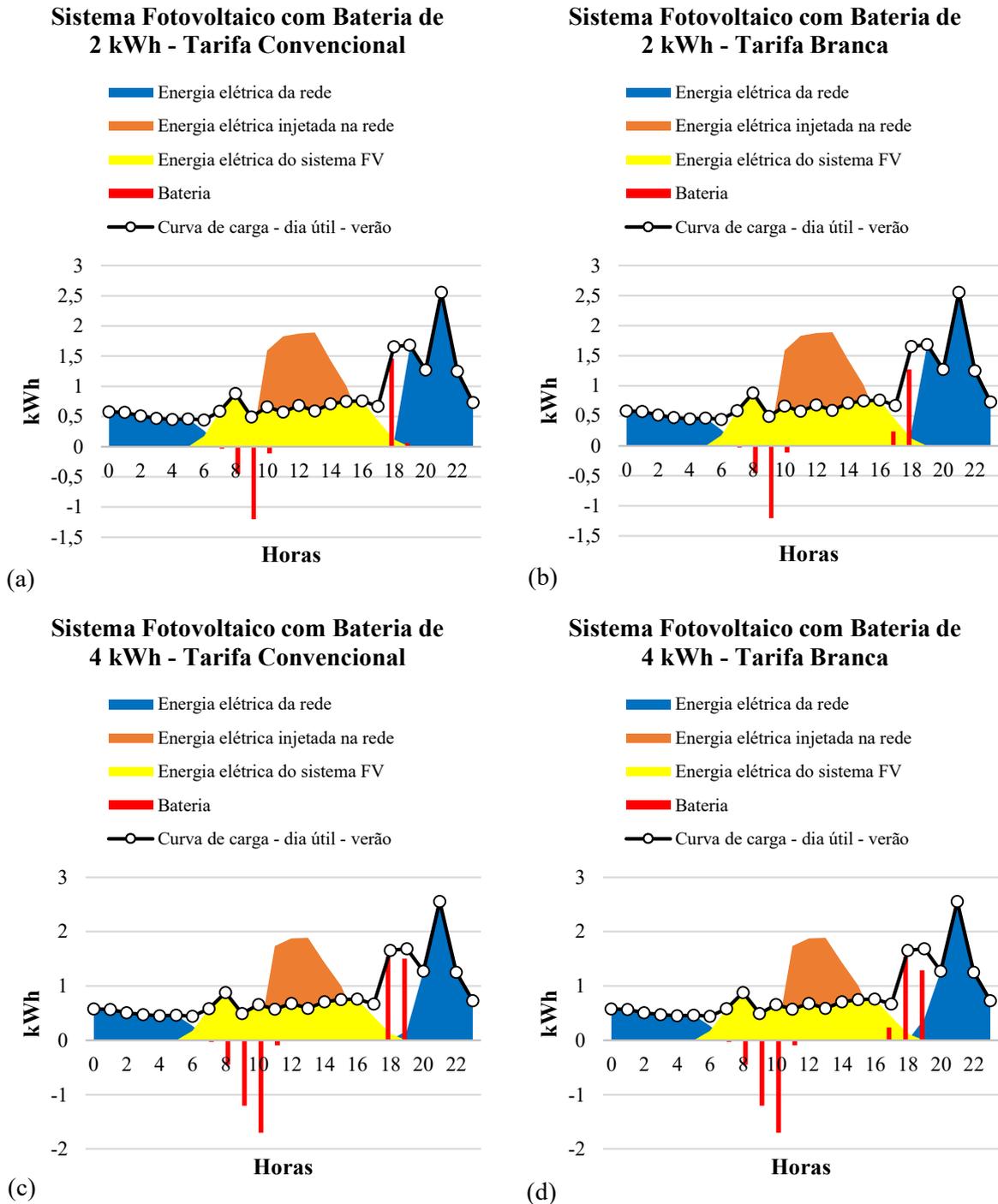
Figura 39 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 2.



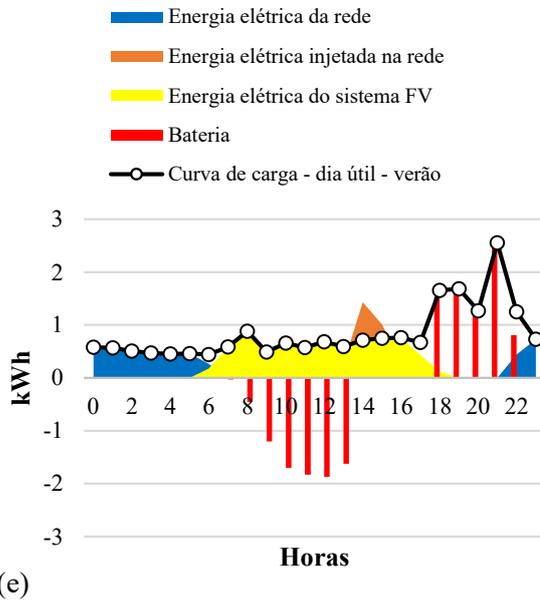
Fonte: Autora (2019).

Ao adicionar a bateria ao sistema fotovoltaico, o armazenamento de energia na bateria ocorre nos horários de maior incidência de radiação solar e o descarregamento a noite. A Figura 40, apresenta a curva de carga com o sistema fotovoltaico com bateria.

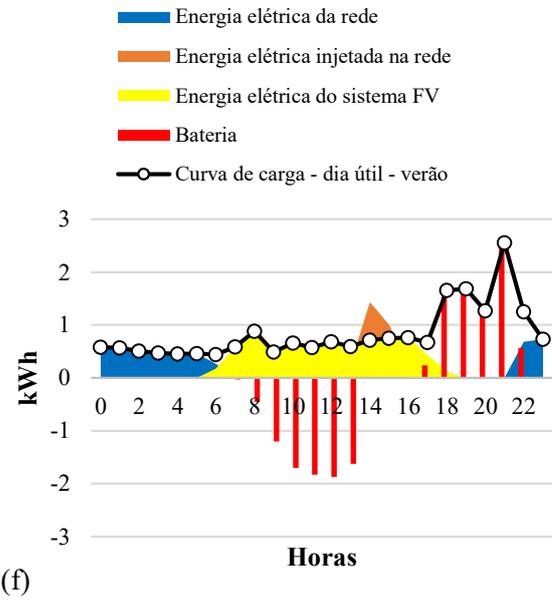
Figura 40 – Curva de carga com geração solar fotovoltaica da configuração 2 do cenário 2 (a) com bateria de 2 kWh e tarifa convencional; (b) com bateria de 2 kWh e tarifa branca; (c) com bateria de 4 kWh e tarifa convencional; (d) com bateria de 4 kWh e tarifa branca, (e) com bateria de 10 kWh e tarifa convencional; (f) com bateria de 10 kWh e tarifa branca.



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Convencional



Sistema Fotovoltaico com Bateria de 10 kWh - Tarifa Branca



Fonte: Autora (2019).

À proporção que a capacidade da bateria aumenta, menor o consumo de energia elétrica da rede nos horários de intermediário e ponta. O valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição é apresentado na Tabela 33.

Tabela 33 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.

Mês	Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica Da Rede							
	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 253,05	R\$ 212,86	R\$ 226,59	R\$ 193,56	R\$ 194,11	R\$ 175,02	R\$ 118,47	R\$ 126,75
Fevereiro	R\$ 228,82	R\$ 195,16	R\$ 205,94	R\$ 178,41	R\$ 177,01	R\$ 161,69	R\$ 111,00	R\$ 119,55
Março	R\$ 168,53	R\$ 144,35	R\$ 140,49	R\$ 125,29	R\$ 107,62	R\$ 106,90	R\$ 57,27	R\$ 70,23
Abril	R\$ 167,45	R\$ 145,18	R\$ 143,14	R\$ 127,38	R\$ 113,87	R\$ 111,24	R\$ 67,30	R\$ 79,02
Mai	R\$ 181,35	R\$ 156,36	R\$ 156,24	R\$ 136,77	R\$ 123,96	R\$ 119,36	R\$ 75,02	R\$ 85,32
Junho	R\$ 88,21	R\$ 78,69	R\$ 60,01	R\$ 60,51	R\$ 36,34	R\$ 44,86	R\$ 33,87	R\$ 43,56
Julho	R\$ 91,51	R\$ 81,40	R\$ 62,00	R\$ 62,44	R\$ 39,71	R\$ 47,43	R\$ 34,74	R\$ 44,60
Agosto	R\$ 89,72	R\$ 78,20	R\$ 58,46	R\$ 58,49	R\$ 34,11	R\$ 41,64	R\$ 31,14	R\$ 39,73
Setembro	R\$ 165,82	R\$ 145,77	R\$ 143,40	R\$ 129,29	R\$ 120,47	R\$ 116,68	R\$ 83,78	R\$ 90,51
Outubro	R\$ 172,26	R\$ 146,01	R\$ 145,06	R\$ 126,66	R\$ 111,63	R\$ 108,11	R\$ 58,68	R\$ 70,73
Novembro	R\$ 162,68	R\$ 137,44	R\$ 136,27	R\$ 119,03	R\$ 105,38	R\$ 101,81	R\$ 56,19	R\$ 66,72
Dezembro	R\$ 246,15	R\$ 211,90	R\$ 223,68	R\$ 195,71	R\$ 197,10	R\$ 179,81	R\$ 129,29	R\$ 136,89
Média	R\$ 167,96	R\$ 144,44	R\$ 141,77	R\$ 126,13	R\$ 113,44	R\$ 109,55	R\$ 71,40	R\$ 81,14
Opção	TC		TC		TC		TB	

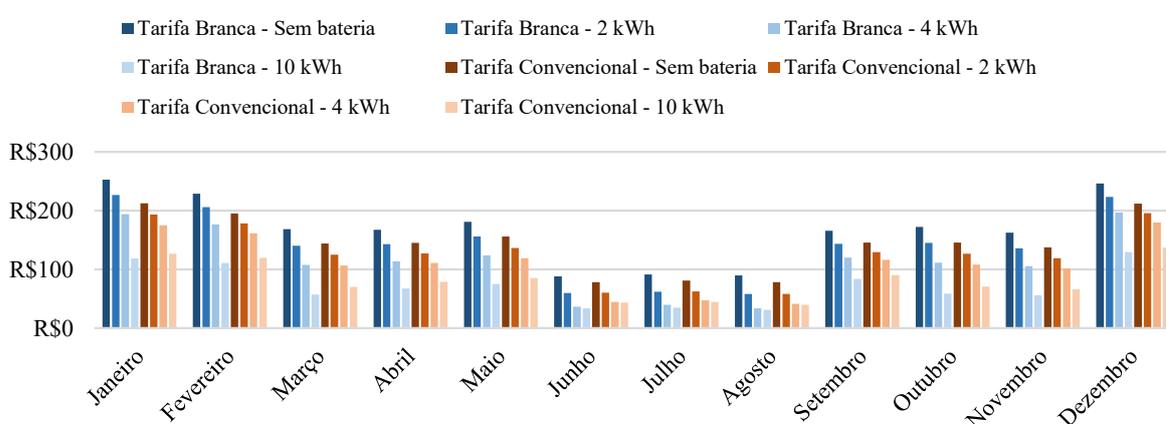
Fonte: Autora (2019).

Apenas o sistema fotovoltaico com bateria de 10 kWh no âmbito da tarifa branca apresenta um menor valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede do que a tarifa convencional nas mesmas condições, por volta de 12 % menor. Para as outras

circunstâncias, a unidade consumidora com a tarifa convencional apresenta valores menores do faturamento correspondente à energia elétrica da rede, com 14 % para o sistema fotovoltaico sem bateria, 11 % com bateria de 2 kWh, e 3 % com bateria de 4 kWh, comparado com a tarifa branca. A Figura 41 apresenta o valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede.

Figura 41 – Valor do faturamento correspondente à energia elétrica da rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Elétrica da Rede



Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição é em média maior para todos os casos com a tarifa convencional. A Tabela 34 apresenta a energia injetada na rede para os 12 meses de um ano.

Tabela 34 – Valor do faturamento correspondente à energia injetada na rede de distribuição da configuração 2 do cenário 2.

Valor do Faturamento Correspondente à Energia Injetada na Rede								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 123,15	R\$ 145,49	R\$ 104,27	R\$ 123,18	R\$ 87,27	R\$ 103,09	R\$ 44,05	R\$ 52,04
Fevereiro	R\$ 103,70	R\$ 122,50	R\$ 86,95	R\$ 102,71	R\$ 71,37	R\$ 84,31	R\$ 32,65	R\$ 38,58
Março	R\$ 151,57	R\$ 179,07	R\$ 132,39	R\$ 156,41	R\$ 114,39	R\$ 135,14	R\$ 76,50	R\$ 93,28
Abril	R\$ 121,27	R\$ 143,27	R\$ 104,94	R\$ 123,97	R\$ 90,58	R\$ 107,01	R\$ 60,58	R\$ 74,50
Mai	R\$ 108,92	R\$ 128,68	R\$ 90,06	R\$ 106,40	R\$ 73,73	R\$ 87,10	R\$ 41,41	R\$ 51,84
Junho	R\$ 115,99	R\$ 137,03	R\$ 97,87	R\$ 115,63	R\$ 80,88	R\$ 97,87	R\$ 76,33	R\$ 94,08
Julho	R\$ 109,96	R\$ 129,90	R\$ 92,75	R\$ 109,57	R\$ 78,35	R\$ 94,19	R\$ 74,44	R\$ 91,70
Agosto	R\$ 140,76	R\$ 166,30	R\$ 121,99	R\$ 144,11	R\$ 104,94	R\$ 125,95	R\$ 102,57	R\$ 124,46
Setembro	R\$ 110,60	R\$ 130,66	R\$ 93,93	R\$ 110,96	R\$ 81,34	R\$ 96,16	R\$ 56,22	R\$ 68,15
Outubro	R\$ 132,52	R\$ 156,56	R\$ 114,74	R\$ 135,55	R\$ 98,14	R\$ 115,91	R\$ 63,99	R\$ 78,38
Novembro	R\$ 139,43	R\$ 164,72	R\$ 121,73	R\$ 143,81	R\$ 105,61	R\$ 124,73	R\$ 72,16	R\$ 87,71
Dezembro	R\$ 116,03	R\$ 137,08	R\$ 99,49	R\$ 117,53	R\$ 85,06	R\$ 100,45	R\$ 45,52	R\$ 53,69
Média	R\$ 122,83	R\$ 145,10	R\$ 105,09	R\$ 124,15	R\$ 89,31	R\$ 105,99	R\$ 62,20	R\$ 75,70
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

Tabela 35 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.

(conclusão)

Valor do Faturamento Correspondente aos Créditos de Energia								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Maio	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Junho	R\$ 27,77	R\$ 58,34	R\$ 37,86	R\$ 55,12	R\$ 44,54	R\$ 53,00	R\$ 42,45	R\$ 50,51
Julho	R\$ 18,44	R\$ 48,50	R\$ 30,75	R\$ 47,13	R\$ 38,64	R\$ 46,76	R\$ 39,70	R\$ 47,10
Agosto	R\$ 51,04	R\$ 88,10	R\$ 63,53	R\$ 85,62	R\$ 70,83	R\$ 84,31	R\$ 71,43	R\$ 84,73
Setembro	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Outubro	R\$ 0,00	R\$ 10,55	R\$ 0,00	R\$ 8,89	R\$ 0,00	R\$ 7,80	R\$ 5,31	R\$ 7,65
Novembro	R\$ 0,00	R\$ 27,28	R\$ 0,00	R\$ 24,78	R\$ 0,23	R\$ 22,92	R\$ 15,97	R\$ 20,99
Dezembro	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Média	R\$ 8,11	R\$ 22,29	R\$ 11,01	R\$ 21,05	R\$ 13,42	R\$ 20,25	R\$ 16,17	R\$ 19,50
Opção	TC		TC		TC		TC	

Fonte: Autora (2019).

O valor do faturamento correspondente aos créditos de energia elétrica é maior com a tarifa convencional. Eles variam de forma que com o aumento da capacidade da bateria há uma redução no faturamento correspondente aos créditos com os sistemas associados a tarifa convencional. Logo, com a tarifa branca, valor do faturamento correspondente aos créditos de energia aumentam com a capacidade da bateria. Eles são considerados no valor da fatura de energia elétrica, exibida na Tabela 36.

Tabela 36 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.

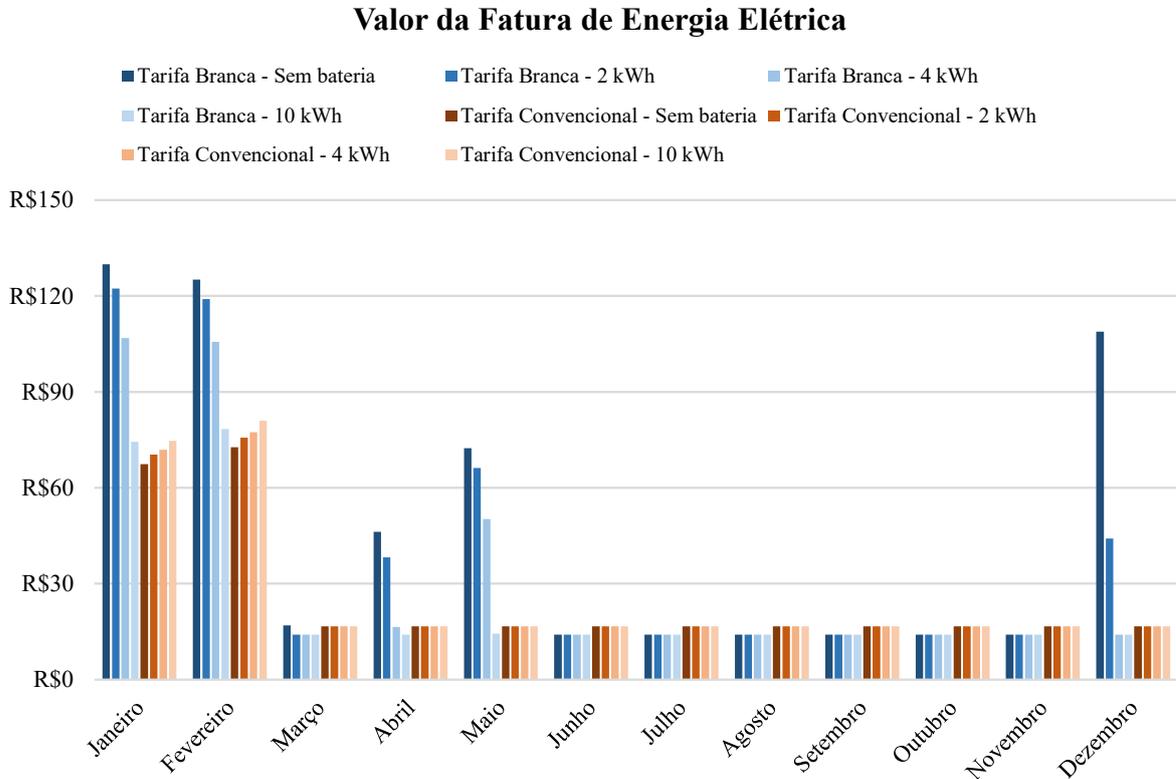
Valor da Fatura de Energia Elétrica								
Mês	Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh	
	TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC
Janeiro	R\$ 129,90	R\$ 67,37	R\$ 122,32	R\$ 70,38	R\$ 106,84	R\$ 71,92	R\$ 74,42	R\$ 74,71
Fevereiro	R\$ 125,13	R\$ 72,65	R\$ 119,00	R\$ 75,69	R\$ 105,64	R\$ 77,39	R\$ 78,35	R\$ 80,98
Março	R\$ 16,96	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Abril	R\$ 46,18	R\$ 16,64	R\$ 38,20	R\$ 16,64	R\$ 16,51	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Maio	R\$ 72,43	R\$ 16,64	R\$ 66,18	R\$ 16,64	R\$ 50,23	R\$ 16,64	R\$ 14,38	R\$ 16,64
Junho	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Julho	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Agosto	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Setembro	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Outubro	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Novembro	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Dezembro	R\$ 108,81	R\$ 16,64	R\$ 44,13	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64	R\$ 14,08	R\$ 16,64
Média	R\$ 48,66	R\$ 25,53	R\$ 40,70	R\$ 26,04	R\$ 32,66	R\$ 26,30	R\$ 24,49	R\$ 26,84
Opção	TC		TC		TC		TB	

Fonte: Autora (2019).

Nos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro o consumidor paga apenas a disponibilidade de R\$ 14,08, para os sistemas com a tarifa branca. Para os sistemas com a tarifa convencional, nos meses março, abril, maio, junho, julho, agosto,

setembro, outubro, novembro e dezembro, o valor da fatura é o custo de disponibilidade de R\$ 16,64. O valor da fatura de energia elétrica é mostrado na Figura 43.

Figura 43 – Valor da fatura de energia elétrica da configuração 2 do cenário 2.



Fonte: Autora (2019).

O sistema com bateria de 10 kWh no âmbito da tarifa branca apresenta o menor valor de fatura de energia elétrica, em média de 9 % menor do que com a tarifa convencional. A fatura de energia elétrica é cerca de 48 %, 36 % e 19 % menor com a tarifa convencional do que com a branca, com os sistemas sem bateria, com bateria de 2 kWh e 4 kWh, respectivamente. O sistema sem bateria possui o menor valor de fatura com a tarifa convencional, por volta de 4 % maior do que o sistema com bateria de 10 kWh com a tarifa branca.

Alguns faturamentos correspondentes aos créditos não foram utilizados na fatura de energia por serem gerados em meses posteriores dos que necessitavam do mesmo. Entretanto, eles podem ser utilizados nos anos seguintes. A Tabela 37, mostra os créditos de energia que restaram.

Tabela 37 – Valor do faturamento correspondente aos créditos de energia não utilizados da configuração 2 do cenário 2.

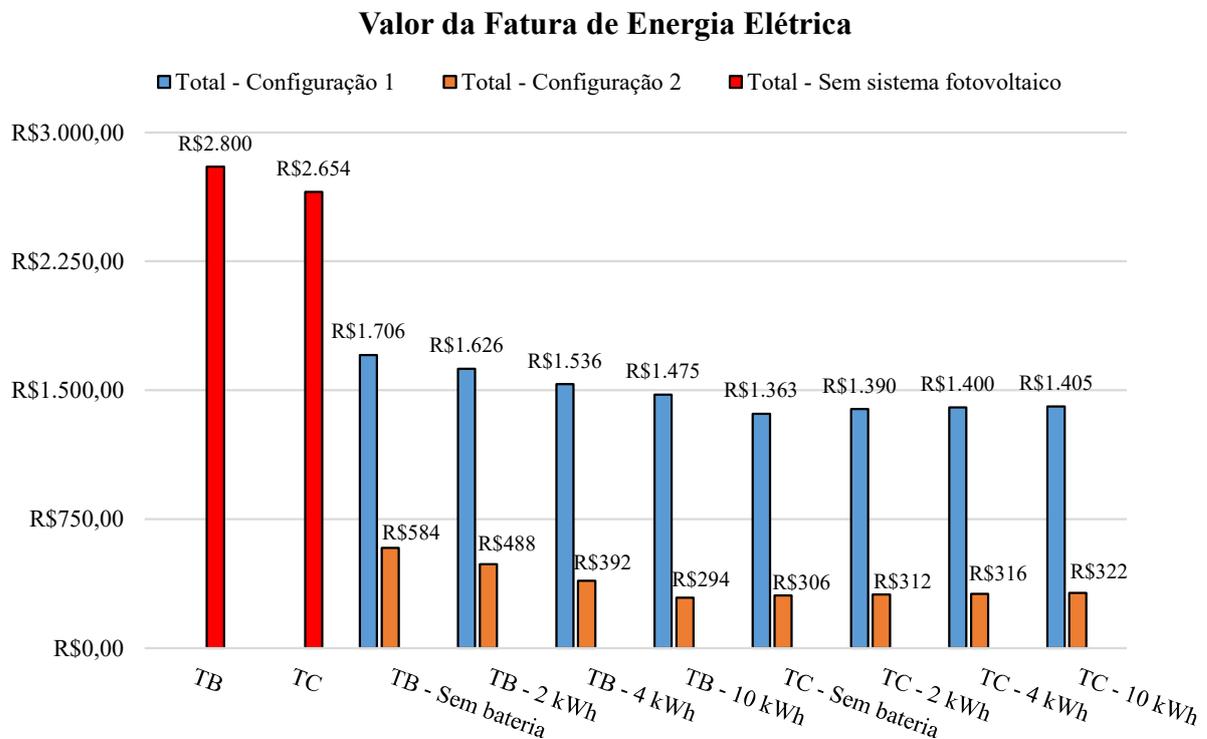
Valor do Faturamento Correspondente aos Créditos de Energia Não Utilizados								
Sem Bateria		2 kWh		4 kWh		10 kWh		
TB	TC	TB	TC	TB	TC	TB	TC	
Total	R\$ 0,00	R\$ 198,26	R\$ 0,00	R\$ 175,68	R\$ 31,23	R\$ 160,78	R\$ 91,68	R\$ 144,90

Fonte: Autora (2019).

4.2.3 Análise das Configurações

A unidade consumidora apenas conectada à rede de energia elétrica da distribuidora apresenta valores de fatura de 39 % com a tarifa branca e 49 % com a tarifa convencional maiores, para o sistema fotovoltaico sem bateria da configuração 1. Para a configuração 2, o sistema fotovoltaico sem bateria, denota de fatura com cerca de 79 % e 88 % menor, com a tarifa branca e convencional, respectivamente, do que o sem sistema fotovoltaico. A Figura 44, mostra o valor de fatura de energia elétrica, para configuração 1 e 2, e para unidade consumidora apenas conectada à rede de distribuição.

Figura 44 – Valor da fatura para todos os arranjos do cenário 2.



Fonte: Autora (2019).

A configuração 2 com sistema fotovoltaico de potência de 3,303 kWp, tem valores de fatura de energia elétrica menores do que a configuração 1 de potência de 1,652 kWp, por

volta de 80 % a 66 % menor. Ademais, como a configuração 2 tem uma potência maior do que a configuração 1, espera-se que ela tenha um valor da fatura menor, como também, ela apresenta créditos de energia que influenciam no mesmo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou um estudo sobre a tarifa branca como opção para unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos conectados à rede para a classe residencial, e também a adição de baterias integrada aos inversores. À vista disso, foram considerados dois cenários com curvas de carga, que foram inseridas no *software* SAM e realizadas simulações.

Baseando-se na curva de carga residencial típica, os picos de demanda se concentram a noite, em razão de ser o período em que os consumidores residenciais normalmente chegam em suas residências e utilizam um grande número de aparelhos elétricos e eletrônicos. Conseqüentemente, a necessidade de investimentos para ampliar a capacidade das redes elétricas aumentam. Desse modo, na metodologia do presente do trabalho, foram configuradas as baterias para descarregar no período noturno, e também porque está concentrado os horários de ponta e intermediário, que são os horários com valores de tarifa branca mais elevados.

Os resultados consistiram em apresentar o valor do faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica da rede, à energia injetada na rede, e aos créditos de energia, como também, os custos com a fatura de energia elétrica. Nos dois casos em que a unidade consumidora está apenas conectada à rede elétrica, o custo de fatura de energia elétrica é menor com a tarifa convencional.

O valor do faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica da rede e à energia injetada na rede para os dois cenários, variaram de acordo com a capacidade da bateria, quanto maior a capacidade da bateria menor o valor do faturamento correspondente ao consumo de energia elétrica da rede e à energia injetada na rede.

As unidades consumidoras no âmbito da tarifa convencional, apresentaram valores maiores do faturamento correspondente à energia injetada na rede do que no âmbito da tarifa branca, o que pode ser considerado como um benefício, já que pode gerar créditos de energia.

Conforme estabelecido na metodologia foram selecionadas duas potências, uma maior (com créditos de energia), e uma menor (sem créditos de energia ao mês) para os cenários. Portanto, como o esperado, os sistemas os fotovoltaicos com potências maiores apresentaram custos da fatura de energia elétrica inferiores aos de potência menores.

Para o cenário 1, o sistema com bateria traz valores de fatura menores com a opção tarifária branca do que com a convencional. Para o cenário 2, a configuração 1 (potência menor) mostra valores de fatura menores com a tarifa convencional, já a configuração 2 (potência maior) com a tarifa branca apenas com o sistema com bateria de 10 kWh traz valores de fatura menores, para os outros arranjos a escolha pela tarifa convencional é mais apropriada.

Observa-se que para os cenários, com a adequação a tarifa convencional os valores de fatura aumentam com a capacidade da bateria, já com a tarifa branca ocorre o contrário. Portanto, como a tarifa convencional é independente das horas do dia, os sistemas com bateria não apresentam valores menores de fatura, mas sim maiores, devido parte da energia gerada pelo sistema fotovoltaico ser armazenada na bateria e ser descarregada das 18:00 as 23:00 horas, em vez de ser injetada na rede, ou seja, injetar energia na rede traz mais economia ao consumidor quando está no âmbito da tarifa convencional, relacionada a essas configurações de sistemas e curvas de carga apresentadas no trabalho.

Sistemas com baterias podem trazer um custo de fatura menor, quando está no âmbito da tarifa branca. Visto que, nos resultados do presente trabalho os custos de fatura reduziram com o aumento da capacidade da bateria. No entanto, é de suma importância analisar a curva de carga do consumidor, para verificar se a adesão a tarifa branca vai trazer economia.

A tecnologia de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com bateria integrada ao inversor, ainda não é utilizada no Brasil. Geralmente, sistemas fotovoltaicos autônomos utilizam de baterias. Espera-se que no futuro essa tecnologia venha a se tornar viável, para que esse tipo de configuração seja explorada.

REFERÊNCIAS

BERNARDES, João Paulo da Silva. **Análise da integração da tarifa branca e geração distribuída na rede de distribuição de baixa tensão**. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2016. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/bitstream/riu/1889/1/An%C3%A1lise%20da%20Integra%C3%A7%C3%A3o%20da%20Tarifa%20Branca%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%ADa%20na%20Rede%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Baixa%20Tens%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2019.

BRAGA, Lucas de Almeida. **Um estudo sobre o mercado de energia elétrica no Brasil**. 2018. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em:

https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1345/1/MONOGRAFIA_EstudoSobreMercado.pdf. Acesso em: 03 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Consumidor cativo**, [201-a]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2Fweb%2Fguest%2Fbusca&_101_assetEntryId=15046283&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=consumidor-cativo&inheritRedirect=true. Acesso em: 03 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Curva de carga**, [201-b]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fbusca%3Fp_auth%3DPN4dPBuy%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1&_101_assetEntryId=15047279&_101_type=content&_101_groupId=656835&_101_urlTitle=curva-de-carga&inheritRedirect=true. Acesso em: 02 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração distribuída**, 2015a. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/conteudo-educativo/-/asset_publisher/vE6ahPFxsWHt/content/geracao-distribuida-introducao/656827?inheritRedirect=false. Acesso em: 02 set. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Modalidades tarifárias**, 2015b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800?inheritRedirect=false. Acesso em: 02 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota técnica nº 311/2011 - SRE-SRD/ANEEL**. Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica, Brasília: ANEEL, 2011. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/nren2011464.pdf>. Acesso em: 12 de out. de 2017

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Postos tarifários**. 2015. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/alta-tensao/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/alta-tensao/654800. Acesso em: 28 jul. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**, 2010a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sumário executivo**: ótica do consumidor. Estrutura Tarifária para o Serviço de Distribuição de Energia Elétrica, Brasília: ANEEL, 2010b. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2010/120/documento/sumario_executivo.pdf. Acesso em: 11 de out. de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa branca**, 2015c. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em: 02 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifa branca é nova opção para quem tem consumo acima de 250 kWh/mês**, [201-c]. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/tarifa-branca-e-nova-opcao-para-quem-tem-consumo-acima-de-250-kwh/656877?inheritRedirect=false. Acesso em: 13 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Unidades consumidoras com geração distribuída tipo**, [201-d]. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp. Acesso em: 13 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário estatístico de energia elétrica 2018**, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2018vf.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório síntese do balanço energético nacional 2019: Ano Base 2018**, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 13 out. 2018.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Veja se sua empresa se enquadra – consumidores**, [201-]. Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/veja_se_enquadra_consumidor?_adf.ctrl-state=1bbnt08ynk_46&_afzLoop=971582737679204. Acesso em: 03 out. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A., PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Avaliação do mercado de eficiência energética no brasil - ano base 2005**: pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso - classe residencial, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0%2D06D1%2D4FFE%2DB335%2D95D83F8DFB98%7D&Team=¶ms=itemID=%7B528C16AF%2D3ECF%2D4898%2DA599%2DD9251D2D4654%7D%3B&UIPartUID=%7B05734935%2D6950%2D4E3F%2DA182%2D629352E9EB18%7D>. Acesso em: 03 out. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Empresas do grupo**. [201-a]. Disponível em: <https://novoportal.celesc.com.br/home/empresas-do-grupo>. Acesso em: 22 out. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Tarifas e taxas de energia**. [201-b]. Disponível em: <https://novoportal.celesc.com.br/home/empresas-do-grupo>. Acesso em: 22 out. 2019.

CENTRAIS ELÉTRICAS DO PARÁ. **Entenda a tarifa branca e veja se é vantagem pra você.** [201-]. Disponível em: <http://www.celpe.com.br/display/FC8AF65C-8025-450A-A20F-D95D0CB14610>. Acesso em: 12 out. 2019.

FRANCISQUINI, Aislan Antonio. **Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/pos-graduacao/161_dissertacao_aislan_antonio_francisquini.pdf. Acesso em: 02 out. 2019.

FREITAS, Bruna Nunes. **Análise de um sistema fotovoltaico de geração distribuída com bateria integrada de alto desempenho.** 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182221/TCC_FINAL_BRUNA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 02 set. 2019.

KALBERMATTER, Jessica Mello. **Avaliação de um sistema híbrido de concentração solar (fotovoltaico e térmico) para geração de eletricidade no semiárido brasileiro.** 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10021333.pdf>. Acesso em: 02 maio 2019.

KRENZINGER, Arno; BUGS, Rodrigo Carvalho. Radiasol2: Software para Sintetizar Dados de Radiação Solar. *In*: CONFERENCIA LATINO AMERICANA DE ENERGÍA SOLAR, IV, 2010; SIMPÓSIO PERUANO DE ENERGÍA SOLAR, XVII, 2010, Cuzco. **Anais**[...] Cuzco: PeruSolar, 2010. p. 7. Disponível em: <https://docplayer.com.br/936310-Radiasol2-software-para-sintetizar-dados-de-radiacao-solar.html>. Acesso em: 11 out. 2019.

MENEZES, Henrique Leão de Sá. **Avaliação da aplicação da modalidade tarifária horária branca:** estudo de caso para consumidores residenciais. 2014. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: http://bdm.unb.br/bitstream/10483/9743/1/2014_HenriqueLeaodeSaMenezes.pdf. Acesso em: 02 abr. 2019.

MIRANDA, Raul Figueiredo Carvalho. **Análise da inserção de geração distribuída de energia solar fotovoltaica no setor residencial brasileiro.** 2013. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/miranda.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2018.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. System advisor model, [201-]. Disponível em: <https://sam.nrel.gov/>. Acesso em: 20 out. 2019.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 16 out. 2019.

RADIASOL. **Laboratório de energia solar – LABSOL**. 2019. Disponível em: <http://www.solar.ufrgs.br/>. Acesso em: 04 nov. 2019.

SYSTEM ADVISOR MODEL. **Download**. 2017. Disponível em: <https://sam.nrel.gov/download/version-2017-9-5.html>. Acesso em: 07 out. 2019.

SMA SOLAR TECHNOLOGY. **Sunny boy 3600 / 5000 smart energy**. [201-]. Disponível em: <https://files.sma.de/dl/21567/SB5000SE-DEN1618-V11web.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica**. Ribeirão preto: Bluesol, 2017. Disponível em: <https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

TAMIETTI, Ricardo Prado. **Tarifação da energia elétrica**. Belo Horizonte: Engeweb, 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/44734969-Tarifacao-de-energia-eletrica.html>. Acesso em: 06 jun. 2019.

THOMAZ, Talita. **Estudo de viabilidade econômica de adesão à tarifa branca para consumidores residenciais com geração distribuída fotovoltaica**. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/182224/TCC%20-%20VF%20REPOSIT%C3%93RIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 set. 2019.