

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ALLYSON DOS REIS MOREIRA  
BARBARA LUIZA PIRES MOREIRA  
CAMILA DE OLIVEIRA SILVEIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA  
EM CURITIBA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA  
2017**

**ALLYSON DOS REIS MOREIRA  
BARBARA LUIZA PIRES MOREIRA  
CAMILA DE OLIVEIRA SILVEIRA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR  
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA  
EM CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

**CURITIBA  
2017**

ALLYSON DOS REIS MOREIRA  
BARBARA LUIZA PIRES MOREIRA  
CAMILA DE OLIVEIRA SILVEIRA

## Estudo de Viabilidade da Geração Distribuída por Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 12 de junho de 2017

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr.  
Coordenador de Curso  
Engenharia Elétrica

---

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre  
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso  
de Engenharia Elétrica do DAELT

### ORIENTAÇÃO

---

Jair Urbanetz Junior, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Orientador

### BANCA EXAMINADORA

---

Annemarlen Gehrke Castagna, Ma.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Gerson Maximo Tiepolo, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jair Urbanetz Junior, Dr.  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## DEDICATÓRIA

Agradeço aos meus avós, Serafim Cabral dos Reis e Eva de Souza Reis, por sempre me incentivarem a buscar os sonhos que mais almejei durante minha vida. A minha família, em especial minha mãe Rosa Ferreira dos Reis que abdicou de vários sonhos de sua vida em função dos sonhos de seus filhos, para que isso se tornasse realidade, e me ensinou o significado de perseverança

Allyson dos Reis Moreira

Agradeço a minha família, principalmente aos meus pais, Eliane e Joel, pelo amor e apoio durante esta caminhada. Muito obrigada pela educação, pelo incentivo, pelo orgulho que sentem por mim, por sempre se preocuparem com o meu desempenho e permitirem que os estudos fossem prioridade em minha vida.

Agradeço ao meu namorado, Diego, por sempre estar ao meu lado, pela paciência nos momentos difíceis, por todo tempo dedicado a me ajudar e por sempre acreditar em mim.

Bárbara Luíza Pires Moreira

Agradeço aos meus pais, Ananí e Rui, por todo o apoio e educação necessária para concluir mais uma etapa da minha vida. Obrigada por sempre estarem preocupados em oferecer o melhor para mim, por todos os princípios e valores ensinados e por todos os momentos felizes que compartilhamos. Agradeço ao meu irmão, Guilherme, pela paciência, proteção e cuidado que tem comigo, pelas risadas e pelos momentos alegres que passamos juntos.

Camila de Oliveira Silveira

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, responsável por todas as dádivas recorrentes em nossas vidas.

Agradecemos a todas aquelas pessoas que de alguma forma contribuíram, em especial a nosso orientador Prof. Jair Urbanetez Junior, que se dispôs a nos ajudar na realização desse projeto.

## RESUMO

MOREIRA, Allyson dos Reis; MOREIRA, Bárbara Luiza Pires; SILVEIRA, Camila de Oliveira. Estudo de Viabilidade da Geração Distribuída por Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

O aumento da demanda energética no Brasil faz com que o país tenha que investir cada vez mais na geração de energia elétrica, onde a procura por outras fontes renováveis aumenta-se gradativamente, pois possuem um menor impacto ao meio ambiente. A diversificação da matriz energética de um país é importante para não o tornar refém de apenas um meio de geração de energia. A utilização de sistemas fotovoltaicos é uma solução viável para o país, onde esse apresenta condições naturais favoráveis para aproveitamento da energia solar. Este trabalho aborda o panorama atual dos SFVCRs instalados em Curitiba, bem como o potencial instalado. Por meio de índices de mérito, foram feitas análises de desempenho de três SFVCRs instalados na cidade durante o ano de 2016 e parte de 2017, a saber: Campus Curitiba Sede Centro e Campus Curitiba Sede Neoville, ambos localizados na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), além de uma residência. A fim de mensurar o tempo de retorno do investimento inicial em sua instalação, foi feito o estudo da viabilidade econômica desses sistemas de acordo com o modelo tarifário vigente no Brasil através de ferramentas de engenharia econômica: *Payback* Simples e *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Por fim, simulou-se a aplicação do valor economizado das faturas de energia elétrica em uma aplicação financeira durante o período de vida útil do sistema.

**Palavras-chave:** Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída, Índices de Mérito, Viabilidade Econômica.

## ABSTRACT

MOREIRA, Allyson dos Reis; MOREIRA, Bárbara Luiza Pires; SILVEIRA, Camila de Oliveira. Feasibility Study of Distributed Generation by Photovoltaic Systems Connected to the Electric Grid in Curitiba. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

The increase in energy demand in Brazil means that the country has to invest increasingly more in generation of electric energy, where the demand for other renewable sources increases gradually, since they have a smaller impact on the environment. The diversification of a country's energy matrix is important in order to do not rely on just one method of generating energy. The use of photovoltaic systems is a viable solution for the country, where it presents favorable natural conditions for use of solar energy. This work approaches the current scenario of the Grid-Connected PV Systems installed in Curitiba, as well the installed potential. By means of performance parameters, performance analyzes of three PV Systems installed in the city were made during the year 2016 and part of 2017, namely: Curitiba Campus Downtown and Neoville, both located at the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), as well as a residence. In order to measure the time of return of the initial investment in its installation, a study was made of the economic viability of these systems according to the tariff model in force in Brazil through economic engineering tools: Simple Payback and Discounted Payback, Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). Finally, the application of the saved value of electric energy bills was simulated in an income application during the useful life of the system.

**Keywords:** Photovoltaic Systems, Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation, Performance Parameters, Economic Viability.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de compensação. ....	17
Figura 2 – Composição do Espectro Eletromagnético. ....	23
Figura 3 – Efeito Fotovoltaico. ....	24
Figura 4 – Representação dos componentes da Radiação Solar. ....	24
Figura 5 – Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI). ....	28
Figura 6 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR). ....	30
Figura 7 – Vista frontal do EV da UTFPR. ....	31
Figura 8 – Painel FV e inversor do EV da UTFPR. ....	31
Figura 9 – Painel FV e inversor da Sede Neville do Campus Curitiba da UTFPR. ....	32
Figura 10 - Painel FV da residência. ....	33
Figura 11 - Fatores de capacidade comuns para alguns sistemas de geração de energia elétrica no Brasil. ....	35
Figura 12 - Tela inicial do RADIASOL para a estação EV UTFPR 2016. ....	48
Figura 13 - Tela de resultados do RADIASOL para a estação EV UTFPR 2016. ....	48
Figura 14 – Tarifa Convencional – Subgrupo B1. ....	61
Figura 15 - Tarifa Horária Verde - Subgrupo A4 - Poder público. ....	62

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de Energia Elétrica Global e Brasil por tipo de fonte.....	20
Tabela 2 – Classificação de Sistemas Fotovoltaicos.....	27
Tabela 3 – Características do Módulo KD210GX em condição padrão de teste.....	32
Tabela 4 – Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba. ....	40
Tabela 5 – Dados da irradiação diária média coletados do INMET e do Bloco B da UTFPR por meio de seus respectivos piranômetros. ....	45
Tabela 6 - Orientação geográfica dos painéis fotovoltaicos do Escritório Verde, Sede Neville e residência. ....	47
Tabela 7 – Comparativo da geração de energia elétrica em [kWh/mês]. ....	50
Tabela 8 – Fator de capacidade do Escritório Verde. ....	53
Tabela 9 – Produtividade do Escritório Verde. ....	53
Tabela 10 – Taxa de desempenho do Escritório Verde. ....	54
Tabela 11 – Fator de capacidade da Sede Neville.....	54
Tabela 12 – Produtividade da Sede Neville. ....	55
Tabela 13 – Taxa de desempenho da Sede Neville.....	56
Tabela 14 - Fator de capacidade da residência. ....	56
Tabela 15 – Produtividade da residência. ....	57
Tabela 16 – Taxa de desempenho da residência.....	58
Tabela 17 - Média de Consumo em kWh/mês. ....	59
Tabela 18 – Reajustes anuais da tarifa elétrica de energia.....	62
Tabela 19 –Projeção da tarifa de energia elétrica para os próximos 25 anos. ....	63
Tabela 20 - Orçamentos de SFVCRs em Curitiba.....	64
Tabela 21 - Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos em US\$/kWp. ....	65
Tabela 22 – Parâmetros de análise do Escritório Verde. ....	66
Tabela 23 - Parâmetros de análise da Sede Neville. ....	66
Tabela 24 - Parâmetros de análise da residência. ....	66
Tabela 25 – Fluxo de caixa anual e acumulado para o Escritório Verde.....	68
Tabela 26 - Fluxo de caixa anual e acumulado para a Sede Neville.....	70
Tabela 27 – Fluxo de caixa anual e acumulado para a residência considerando os impostos.....	72
Tabela 28 - Fluxo de caixa anual e acumulado para a residência desconsiderando os impostos.....	74

Tabela 29 - Fluxos de caixa para o Escritório Verde.....	77
Tabela 30 - Fluxos de caixa para a Sede Neville. ....	79
Tabela 31 - Fluxos de caixa para a residência considerando os impostos. ....	81
Tabela 32 - Fluxos de caixa para a residência desconsiderando os impostos.....	83
Tabela 33 – VPL dos cenários estudados.....	85
Tabela 34 – TIR dos cenários estudados.....	86
Tabela 35 – Simulação de empréstimo CET.....	87
Tabela 36 –Reajuste anual da poupança.....	88
Tabela 37 – Economia acumulada ano a ano do EV. ....	89
Tabela 38 - Economia acumulada ano a ano do Neville. ....	90
Tabela 39 - Economia acumulada ano a ano da residência considerando os impostos. .....	91
Tabela 40 - Economia acumulada ano a ano da residência desconsiderando os impostos.....	92
Tabela 41 – Tabela resumo referente a análise de retorno do investimento.....	95

## LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Potência instalada dos SFVCRs em operação em Curitiba.....	44
Gráfico 2 - Comparação da irradiação diária média entre INMET e Bloco B da UTFPR. .....	46
Gráfico 3 - Dados históricos da irradiação diária média coletados pelo INMET. ....	46
Gráfico 4 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado do EV.....	49
Gráfico 5 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado da Sede Neville. .	49
Gráfico 6 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado da residência. ....	50
Gráfico 7 - Comparação da geração de energia elétrica entre Escritório Verde e Sede Neville. ....	51
Gráfico 8 - Dados da geração de energia elétrica do EV. ....	51
Gráfico 9 -Dados da geração de energia elétrica da Sede Neville. ....	52
Gráfico 10 - Dados da geração de energia elétrica da residência.....	52
Gráfico 11 – Consumo médio mensal e anual de energia elétrica no Escritório Verde. .....	59
Gráfico 12 - Consumo médio mensal e anual de energia elétrica na Sede Neville.	60
Gráfico 13 - Consumo médio mensal e anual de energia elétrica na residência.....	60
Gráfico 14 – Média anual dos reajustes da tarifa elétrica de energia.....	63
Gráfico 15 – Distribuição percentual dos componentes de um SFVCR. ....	65
Gráfico 16 - Fluxo de caixa anual para o Escritório Verde. ....	69
Gráfico 17 – <i>Payback</i> simples para o Escritório Verde. ....	69
Gráfico 18 - Fluxo de caixa anual para a Sede Neville.....	71
Gráfico 19 - <i>Payback</i> simples para a Sede Neville.....	71
Gráfico 20 - Fluxo de caixa anual para a residência considerando os impostos.....	73
Gráfico 21 - <i>Payback</i> simples para a residência considerando os impostos.....	73
Gráfico 22 – Fluxo de caixa anual para a residência desconsiderando os impostos.	75
Gráfico 23 – <i>Payback</i> simples para a residência desconsiderando os impostos. ....	75
Gráfico 24 - Histórico da Taxa SELIC. ....	76
Gráfico 25 - Fluxo de caixa presente para o Escritório Verde. ....	78
Gráfico 26 - <i>Payback</i> descontado para o Escritório Verde.....	78
Gráfico 27 - Fluxo de caixa presente para a Sede Neville. ....	80
Gráfico 28 - <i>Payback</i> descontado para a Sede Neville. ....	80

Gráfico 29 - Fluxo de caixa presente para a residência considerando os impostos..	82
Gráfico 30 - <i>Payback</i> descontado para a residência considerando os impostos.....	82
Gráfico 31 - Fluxo de caixa presente para a residência desconsiderando os impostos. .....	84
Gráfico 32 - <i>Payback</i> descontado para a residência desconsiderando os impostos.	84
Gráfico 33 – Rendimento na poupança referente ao EV.....	89
Gráfico 34 - Rendimento na poupança referente ao Neville.....	90
Gráfico 35 - Rendimento na poupança referente à residência considerando os impostos.....	91
Gráfico 36 - Rendimento na poupança referente à residência desconsiderando os impostos.....	92
Gráfico 37 – Comparação do Fator de Capacidade do Escritório Verde, Neville e Residência.....	94
Gráfico 38 - Comparação da Produtividade do Escritório Verde, Neville e Residência. .....	94
Gráfico 39 - Comparação da Taxa de Desempenho do Escritório Verde, Neville e Residência.....	95

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CET	Custo Efetivo Total
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EV	Escritório Verde
FC	Fator de Capacidade
FV	Fotovoltaico
GD	Geração Distribuída
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPV	<i>Net Present Value</i>
PIS	Programa de Integração Social
PR	<i>Performance Ratio</i>
PV	<i>Photovoltaic System</i>
PRI	Período de Retorno do Investimento
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SFVI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFVCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TR	Taxa Referencial
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VF	Valor Futuro
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido
YF	<i>Yield</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 TEMA .....	16
1.1.1 Delimitação do Tema .....	17
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS .....	18
1.3 OBJETIVOS .....	18
1.3.1 Objetivo Geral .....	18
1.3.2 Objetivos Específicos .....	19
1.4 JUSTIFICATIVA .....	19
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
2.1 RADIAÇÃO SOLAR .....	22
2.1.1 Conceitos .....	22
2.1.2 Tipos de radiação .....	24
2.1.2.1 Radiação Direta .....	25
2.1.2.2 Radiação Difusa.....	25
2.1.2.3 Radiação devido ao Albedo .....	25
2.1.3 Irradiância e Irradiação .....	25
2.1.3.1 Irradiância .....	25
2.1.3.2 Irradiação .....	26
2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	27
2.2.1 Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI) .....	28
2.2.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) .....	29
2.2.2.1 Escritório Verde.....	30
2.2.2.2 Neville .....	32
2.2.2.3 Residência .....	33
2.3 ÍNDICES DE MÉRITO DO SFVCR .....	33

2.3.1 FATOR DE CAPACIDADE .....	34
2.3.2 PRODUTIVIDADE OU <i>YIELD</i> .....	35
2.3.3 TAXA DE DESEMPENHO OU <i>PERFORMANCE RATIO</i> .....	36
2.4 FERRAMENTAS DE ENGENHARIA ECÔNOMICA .....	36
2.4.1 <i>Payback</i> .....	37
2.4.1.1 <i>Payback</i> Simples.....	37
2.4.1.2 <i>Payback</i> Descontado .....	37
2.4.2 Valor Presente Líquido – VPL.....	38
2.4.3 Taxa Interna de Retorno – TIR .....	38
<b>3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SFVCRS .....</b>	<b>40</b>
3.1 PANORAMA ATUAL DOS SFVCRS EM CURITIBA.....	40
3.2 IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL .....	45
3.3 IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO.....	47
3.3.1 RADIASOL.....	47
3.4 DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA .....	50
3.5 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE MÉRITO.....	52
3.5.1 Escritório Verde .....	53
3.5.2 Sede Neville.....	54
3.5.3 Residência .....	56
<b>4 ANÁLISE ECONÔMICA.....</b>	<b>59</b>
4.1 DESCRIÇÃO DO CONSUMO BASE .....	59
4.2 TIPO DE LIGAÇÃO.....	60
4.3 VIDA ÚTIL DO PROJETO.....	61
4.4 TARIFAS DE ENERGIA.....	61
4.4.1 Tarifa de Energia Elétrica de 2017.....	61
4.4.2 Estimativa da Tarifa de Energia Elétrica para 25 anos .....	62
4.5 INVESTIMENTOS SFVCR.....	64
4.5.1 Custos de Implementação do SFVCR .....	64
4.5.2 Custos de Operação e Manutenção .....	65

4.5.3 Custos de Reposição do Inversor .....	65
4.6 ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO .....	66
4.6.1 Parâmetros de Análise de Investimento do SFVCR .....	66
4.6.2 Fluxo de Caixa .....	67
4.6.3 <i>Payback</i> Simples .....	68
4.6.3.1 Escritório Verde.....	68
4.6.3.2 Sede Neoville .....	70
4.6.3.3 Residência .....	72
4.6.4 <i>Payback</i> Descontado .....	76
4.6.4.1 Escritório Verde.....	77
4.6.4.2 Sede Neoville .....	79
4.6.4.3 Residência .....	81
4.6.5 Valor Presente Líquido .....	85
4.6.6 Taxa Interna de Retorno .....	86
4.7 FORMAS DE AQUISIÇÃO PARA INVESTIMENTO INICIAL DO SFVCR .....	87
4.7.1 Empréstimo financeiro .....	87
4.8 APLICAÇÃO DOS CAPITAIS .....	87
4.8.1 Aplicação do Saldo Economizado na Poupança após Instalação do SFVCR	87
4.8.1.1 Escritório Verde.....	89
4.8.1.2 Neoville .....	90
4.8.1.3 Residencial .....	91
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>93</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>96</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 TEMA

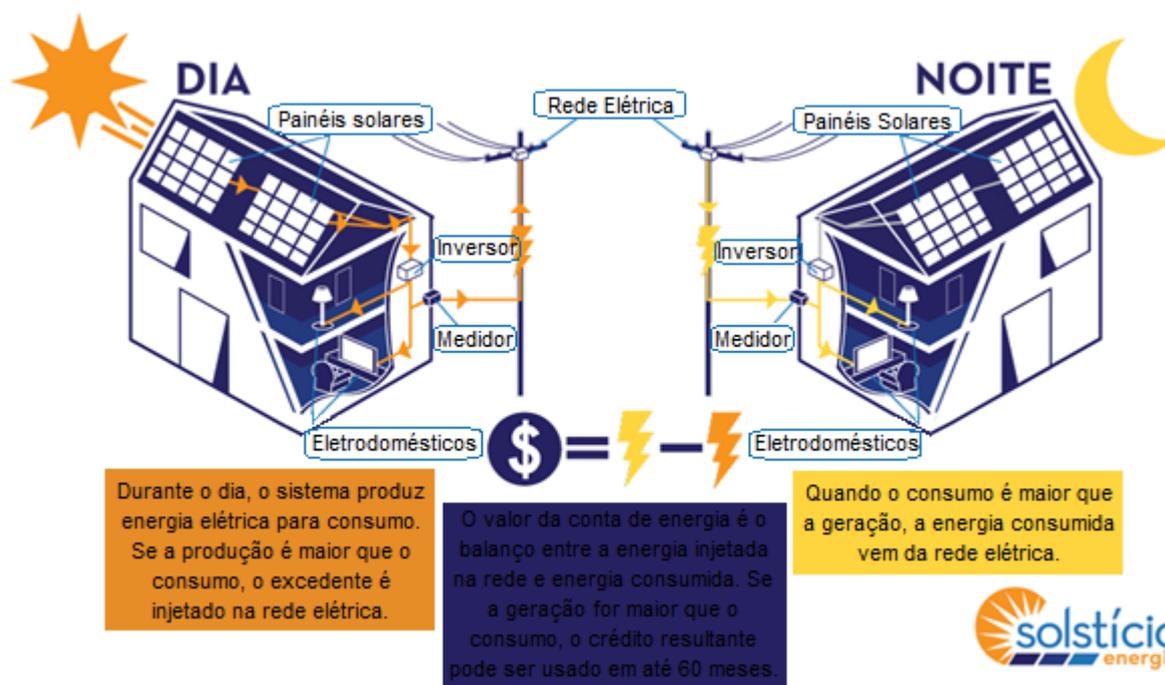
Há uma grande necessidade mundial de geração de energia elétrica em larga escala. Durante o século passado esta energia foi obtida, principalmente, através de combustíveis fósseis, dando suporte ao desenvolvimento da economia global. No início do século XXI este cenário começou a ser questionado para que essa forma de geração de energia minimizasse os impactos socioambientais, buscando o desenvolvimento sustentável.

O Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo: hidráulico, irradiação solar, biomassa e força dos ventos. A radiação solar é uma fonte de energia que pode ser utilizada para geração de potência elétrica, com a possibilidade de ser diretamente convertida em energia elétrica através do sistema fotovoltaico (ANEEL, 2002).

A energia solar ainda é pouco incentivada no Brasil, porém alguns esforços têm sido feitos para o desenvolvimento desta tecnologia, como por exemplo, a Resolução Normativa n. 482, de 17 de Abril de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração difundida aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Em 1 de Março de 2016, as alterações da Resolução Normativa n. 482 provenientes da Resolução Normativa n. 687 entraram em vigor, tornando mais abrangente o sistema de compensação no Brasil. Dentre as possibilidades ampliadas, pode-se citar o empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, a geração compartilhada e o autoconsumo remoto (ANEEL, 2015).

O sistema de compensação de energia elétrica ilustrado na Figura 1 segue a seguinte diretriz:

Sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. (ANEEL, 2012, p. 2)



**Figura 1 – Sistema de compensação.**  
**Fonte: Solstício Energia, 2013.**

O conceito de Geração Distribuída (GD) é caracterizado por estar próximo ao consumidor, portanto economiza no sistema de transmissão e nas perdas do sistema em geral. Esta geração independe de potência gerada, da fonte de energia e da tecnologia (INEE, 2016).

### 1.1.1 Delimitação do Tema

Este trabalho de conclusão de curso consiste no estudo dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR) instalados na cidade de Curitiba. Durante o ano de 2016 e parte de 2017 foram analisados os desempenhos dos sistemas do Escritório Verde localizado no Bloco V do Campus Curitiba Sede Centro e o do Campus Curitiba Sede Neville, ambos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Além disso, foi feita a análise de desempenho de uma residência na capital.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A busca da utilização de outras fontes de energia elétrica é necessária visto que a projeção de consumo para os próximos anos é muito superior à oferta de energia no Brasil. Estima-se que até 2050 o consumo total de eletricidade aumente 3,2% ao ano (EPE, 2016b).

Apesar das usinas hidrelétricas ainda possuírem a maior representatividade no cenário de energia nacional, tal potencial encontra-se com dificuldade de expansão devido aos seus impactos ambientais, sociais e econômicos. Como alternativa, a geração de energia solar pode auxiliar no suprimento dessa demanda, uma vez que o país possui ampla extensão territorial e grande incidência solar com índices de irradiação elevados.

A obtenção de energia elétrica a partir da energia solar pode ser obtida através dos SFVCRs. A Resolução Normativa n. 482 (ANEEL, 2012) permite desde 2012 a utilização dessa forma de energia, a qual reduz impactos ambientais e contribui para aumento de produção de energia via fontes renováveis.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Estudar a viabilidade econômica da geração distribuída por sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica através do levantamento de dados de irradiação solar e análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos na cidade de Curitiba.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os SFVCRs em operação em Curitiba;
- Verificar os valores de irradiação solar em Curitiba;
- Avaliar a produtividade energética de SFVCRs em Curitiba e analisar seu desempenho;
- Analisar o desempenho dos SFVCRs da UTFPR instalados no Campus Curitiba Sede Centro, Campus Curitiba Sede Neville e de uma residência no ano de 2016 até abril de 2017;
- Analisar a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos em Curitiba.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

A matriz elétrica do Brasil é composta majoritariamente de usinas hidrelétricas para geração de eletricidade no país, o que explica o extenso sistema de transmissão necessário para levar essa energia até os centros consumidores. Apesar de ser considerada uma fonte renovável e limpa, essas usinas têm encontrado dificuldades de instalação devido aos impactos ambientais e sociais que ocorrem com a sua implantação.

O Brasil tem sofrido com a intermitência do potencial energético hidráulico em decorrência da sazonalidade de chuvas (mudanças climáticas) reduzindo drasticamente os níveis de seus reservatórios. Para evitar o *deficit* de fornecimento de energia, o governo brasileiro acionou as usinas termelétricas baseadas em combustíveis fósseis (petróleo, gás natural, carvão mineral). O uso que deveria ser apenas uma solução para o suprir *deficit* de energia, acabou se tornando imprescindível para o setor de energia (EPE, 2014). A Tabela 1 mostra a participação de geração de energia elétrica e sua fonte correspondente.

Tabela 1 – Produção de Energia Elétrica Global e Brasil por tipo de fonte.

Tipo de Fonte Energética	%DE PARTICIPAÇÃO NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE – GLOBAL E BRASIL										
	GLOBAL						BRASIL				
	REN 21 2011 (ref. ao ano de 2010)	REN 21 2012 (ref. ao ano de 2011)	REN 21 2013 (ref. ao ano de 2012)	REN 21 2014 (ref. ao ano de 2013)	REN 21 2015 (ref. ao ano de 2014)	REN 21 2016 (ref. ao ano de 2015)	BEN 2012 (ref. ao ano de 2011)	BEN 2013 (ref. ao ano de 2012)	BEN 2014 (ref. ao ano de 2013)	BEN 2015 (ref. ao ano de 2014)	BEN 2016 (ref. ao ano de 2015)
<b>Combustíveis Fósseis e Nuclear</b>	80,6%	79,7%	78,3%	77,9%	77,2%	76,3%	11,0%	15,5%	20,7%	25,6%	24,6%
<b>Hidroelétricas</b>	16,1%	15,3%	16,5%	16,4%	16,6%	16,6%	81,9%	76,9%	70,6%	65,2%	64,0%
<b>Outra Renováveis (não-hidro)</b>	3,3%	5,0%	5,2%	5,7%	6,2%	7,3%	7,1%	7,7%	8,7%	9,3%	11,5%
<b>TOTAL</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: Adaptado de TIEPOLO *et al*, 2016b; EPE, 2016a; REN 21, 2016.

Os SFVCRs apresentam baixo impacto ambiental, utilizam uma fonte renovável e silenciosa de energia, podem ser utilizados amplamente no Brasil e aplicados em meios urbanos. Uma das principais vantagens da utilização desses sistemas é a possibilidade de integrá-los à arquitetura das edificações, possibilitando o aproveitamento do recurso solar disponível para geração de energia, minimizando as perdas (URBANETZ, 2010).

A instalação de diversos SFVCRs poderá contribuir para o aumento da disponibilidade de eletricidade no país, possibilitando evitar possíveis racionamentos de energia devido ao período de estiagem e o acionamento de usinas termelétricas, além de reduzir a necessidade de se construir usinas baseadas em fontes fósseis, contribuindo na qualidade de vida.

Segundo Tiepolo *et al*, (2016a) verificou-se que a energia fotovoltaica é uma solução viável, uma vez que a média anual de irradiação no estado do Paraná é aproximadamente 58,75% maior que a média anual de irradiação na Alemanha, país que até 2014 detinha o maior potencial instalado no mundo. No ano de 2015 a China ultrapassou a Alemanha em 3 GWp em termos de capacidade de energia solar fotovoltaica instalada, atingindo 43 GWp nesse mesmo ano (XINHUA NEWS AGENCY, 2016).

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho foram definidos os seguintes passos:

- Levantamento da bibliografia relacionada ao assunto, tais como livros, artigos e análise de projetos existentes;
- Pesquisa sobre os SFVCRs existentes em Curitiba;
- Levantamento e análise dos valores de irradiação solar em Curitiba obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e por meio do piranômetro instalado no Bloco B do Campus Curitiba Sede Centro da UTFPR;
- Coleta de dados de geração de energia do Escritório Verde, do Campus Curitiba Sede Neville e de uma residência durante o ano de 2016 até abril de 2017;
- Utilização dos dados levantados para calcular os índices de mérito dos SFVCRs;
- Determinação do tempo necessário para recuperação do capital investido em um SFVCR residencial em Curitiba.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O desenvolvimento deste trabalho apresenta a seguinte estrutura:

- Primeiro capítulo - Aborda a apresentação de uma proposta concisa, delimitando o tema, os objetivos e a justificativa do trabalho desenvolvido.
- Segundo capítulo – Apresenta a revisão bibliográfica e os conceitos necessários para o desenvolvimento desse trabalho.
- Terceiro capítulo - Delimita a metodologia utilizada considerando a análise dos dados coletados e os índices de mérito.
- Quarto capítulo - Verifica a viabilidade econômica do projeto.
- Quinto capítulo - Contempla as conclusões acerca do projeto elaborado e trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 RADIAÇÃO SOLAR

#### 2.1.1 Conceitos

A radiação solar é constituída de ondas eletromagnéticas com diferentes frequências e comprimentos de onda. Através dessa radiação a energia do Sol é conduzida para a Terra.

O comprimento de onda é inversamente proporcional à frequência, enquanto esta é associada diretamente com a quantidade de energia que uma onda pode transmitir - quanto maior for a frequência, maior será a energia transmitida.

Pode-se observar a relação entre a frequência e a energia de uma onda eletromagnética através da equação de *Planck-Einstein* apresentada na Equação 1.

$$E = h \cdot f \quad (1)$$

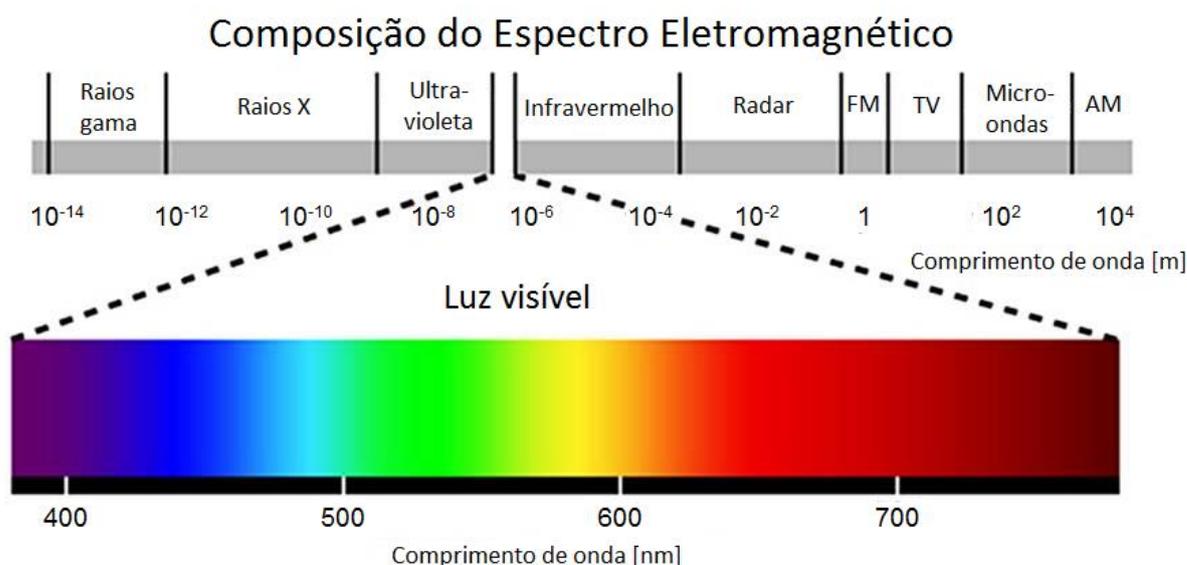
Sendo:

$E$ : energia da onda, expressa em joules [J] ou elétrons-volt [eV];

$h$ : constante de *Planck*, com valor aproximado de  $6,636 \times 10^{-34}$  *Joule*-segundo [J.s];

$f$ : frequência da onda expressa em *Hertz* [Hz].

Chama-se de luz visível a pequena parcela das ondas eletromagnéticas que pode ser captada pelo olho humano. As demais parcelas podem ser percebidas de outras formas, conforme ilustra a Figura 2.

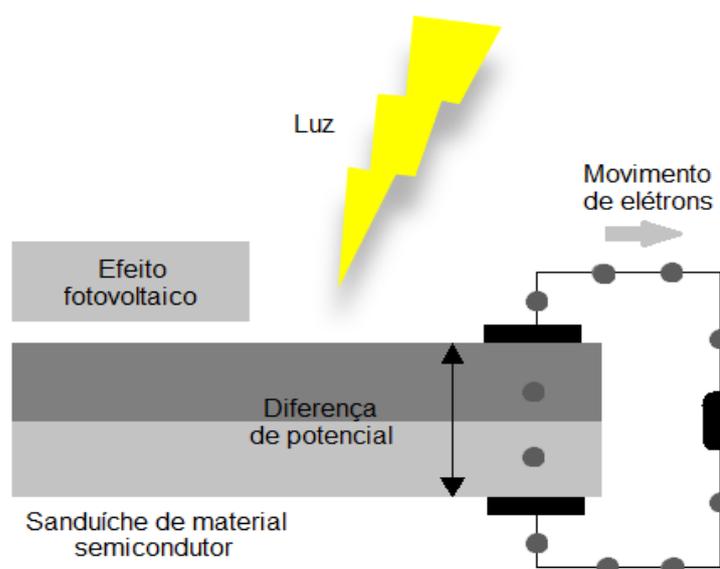


**Figura 2 – Composição do Espectro Eletromagnético.**  
 Fonte: MCCANN, R., 2013.

O conjunto de todas as frequências de ondas eletromagnéticas emitidas pelo Sol é chamado de espectro da radiação solar, o qual transmite energia e possibilita a sua captura pelo planeta de duas maneiras: em forma de calor ou de energia elétrica (VILLALVA, 2013).

O processo de transmissão de calor se dá pela transformação da energia eletromagnética em energia cinética. Essa transformação ocorre quando as ondas eletromagnéticas incidem em um corpo ou material capaz de absorver radiação. A temperatura deste corpo depende do grau de agitação de suas moléculas e átomos, podendo variar de acordo com a radiação recebida (VILLALVA, 2013).

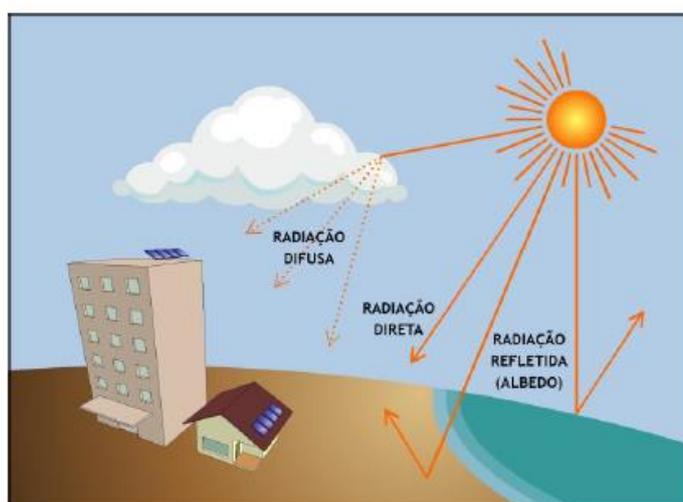
Além de transmitir calor, as ondas eletromagnéticas podem originar tensões e correntes elétricas ou ainda produzir alterações nas propriedades elétricas de um corpo. Uma das consequências da radiação eletromagnética é o efeito fotovoltaico, que é a base para a produção de eletricidade dos SFVCRs. Esse efeito consiste na criação de uma diferença de potencial sobre uma célula composta de materiais semicondutores. A partir da conexão de dois eletrodos na célula surgirá uma tensão elétrica, e então, uma corrente elétrica caso haja um caminho entre os eletrodos, conforme ilustrado na Figura 3 (VILLALVA, 2013).



**Figura 3 – Efeito Fotovoltaico.**  
 Fonte: Adaptado de VILLALVA, 2013.

### 2.1.2 Tipos de radiação

A radiação solar ao atingir a atmosfera terrestre é parcialmente absorvida e espalhada. O índice de absorção depende do tempo e da latitude do Sol em relação à Terra, ou seja, da hora do dia e das estações do ano. Os componentes da radiação solar total são classificados como direta, difusa e devido ao albedo (TIEPOLO, 2015), conforme é ilustrado na Figura 4.



**Figura 4 – Representação dos componentes da Radiação Solar.**  
 Fonte: VIANA, 2010.

### 2.1.2.1 Radiação Direta

Parcela da radiação solar vinda diretamente do Sol sem sofrer desvios causados pela atmosfera. Caso o Sol esteja completamente encoberto por nuvens, a radiação direta terá valor nulo (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2016).

### 2.1.2.2 Radiação Difusa

A radiação difusa é a parcela da radiação solar espalhada por moléculas e partículas presentes na atmosfera a partir de todas as direções. A claridade do céu observada quando o Sol está totalmente encoberto por nuvens é devida a esse tipo de radiação (ENERGIA HELIOTÉRMICA, 2016).

### 2.1.2.3 Radiação devido ao Albedo

De acordo com a NBR 10899, albedo é o índice relativo à fração da potência radiante solar, recebida em uma unidade de área devida à refletância dos arredores e do solo onde está instalado um dispositivo.

Este tipo de radiação representa a relação entre a quantidade de luz refletida pela superfície terrestre e o seu entorno.

## 2.1.3 Irradiância e Irradiação

A fim de esclarecer conceitos relacionados à radiação solar no setor fotovoltaico, faz-se necessário distinguir os termos irradiância e irradiação. Essas grandezas podem soar como sinônimos, porém seus significados físicos são diferentes.

### 2.1.3.1 Irradiância

A irradiância é determinada pela incidência de radiação solar na área de uma superfície, normalmente expressa em watt por metro quadrado [ $W/m^2$ ] (ABNT, 2013).

De acordo com a NBR 10899, essa grandeza pode apresentar-se das seguintes maneiras:

- Irradiância Difusa ( $G_{DIF}$ ): Potência radiante do céu, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, excluída da irradiância direta;
- Irradiância Direta ( $G_{DIR}$ ): Irradiância solar incidente em uma superfície, sem ter sido espalhada pela atmosfera, podendo ser normal ou horizontal;
- Irradiância Global ( $G_{HOR}$ ): Potência radiante solar, recebida em uma unidade de área em uma superfície horizontal, sendo igual à irradiância direta no plano horizontal somada à irradiância difusa;
- Irradiância Total ( $G_{TOT}$ ): Potência radiante solar total com as componentes direta, difusa e de albedo, recebida em uma unidade de área em uma superfície com inclinação qualquer.

### 2.1.3.2 Irradiação

A irradiação pode ser definida como a resultante da energia solar devido à exposição de um material a um feixe de radiação em um determinado período de tempo. Sua unidade de medida é expressa em watt hora por metro quadrado [ $Wh/m^2$ ] ou *Joule* por metro quadrado [ $J/m^2$ ], sendo simbolizada por “I” quando integrada no tempo de uma hora, ou por “H” quando no tempo de um dia (ABNT, 2013). Segundo a NBR 10899, essa grandeza pode se manifestar das seguintes formas:

- Irradiação Difusa ( $I_{DIF}$ ) ou ( $H_{DIF}$ ): Irradiância difusa integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;
- Irradiação Direta ( $I_{DIR}$ ) ou ( $H_{DIR}$ ): Irradiância direta integrada durante um espaço de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;
- Irradiação Global ( $I_{HOR}$ ) ou ( $H_{HOR}$ ): Irradiância global integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia;
- Irradiação Total ( $I_{TOT}$ ) ou ( $H_{TOT}$ ): Irradiância total integrada durante um intervalo de tempo especificado, normalmente uma hora ou um dia.

## 2.2 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em duas categorias principais: os sistemas isolados e os sistemas conectados à rede. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as Normas Brasileiras 11704, ABNT NBR 11704:2008, os Sistemas Fotovoltaicos são classificados quanto à ligação com a rede elétrica e quanto à configuração, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2 – Classificação de Sistemas Fotovoltaicos.**

Tipos de Sistema		Alimentação dos Consumidores	Acumulação de Energia Elétrica	Componentes Básicos	Aplicações Típicas
<b>Sistemas Isolados</b>	Puros	Tensão Contínua	Não	Seguidor de potência máxima	Bombeamento, produção de hidrogênio, etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica, etc.
		Tensão Alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial, etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação, etc.
	Híbridos	Tensão Contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária, etc.
		Tensão Alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial, etc.
<b>Sistemas Conectados à Rede Elétrica</b>	Puros	Tensão Alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
	Híbridos	Tensão Alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública, etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia, etc.

NOTA: Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.

Fonte: NBR 11704:2008.

### 2.2.1 Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI)

Os Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFVI) também conhecidos como autônomos, não têm conexão com a rede de distribuição de energia elétrica, por esta ser inexistente no local ou, se o sistema é dedicado à alimentação de cargas específicas. Faz-se necessário o uso de baterias para o armazenamento da energia gerada e fornecê-la nos períodos nos quais não há radiação solar, controlador de carga e inversores para equipamentos CA. Geralmente são instalados em lugares remotos ou onde o custo de se conectar à rede elétrica é elevado atendendo as necessidades básicas de uma instalação (LAMBERTS, R. *et al*, 2010).

O esquema de montagem desse sistema é apresentado na Figura 5.

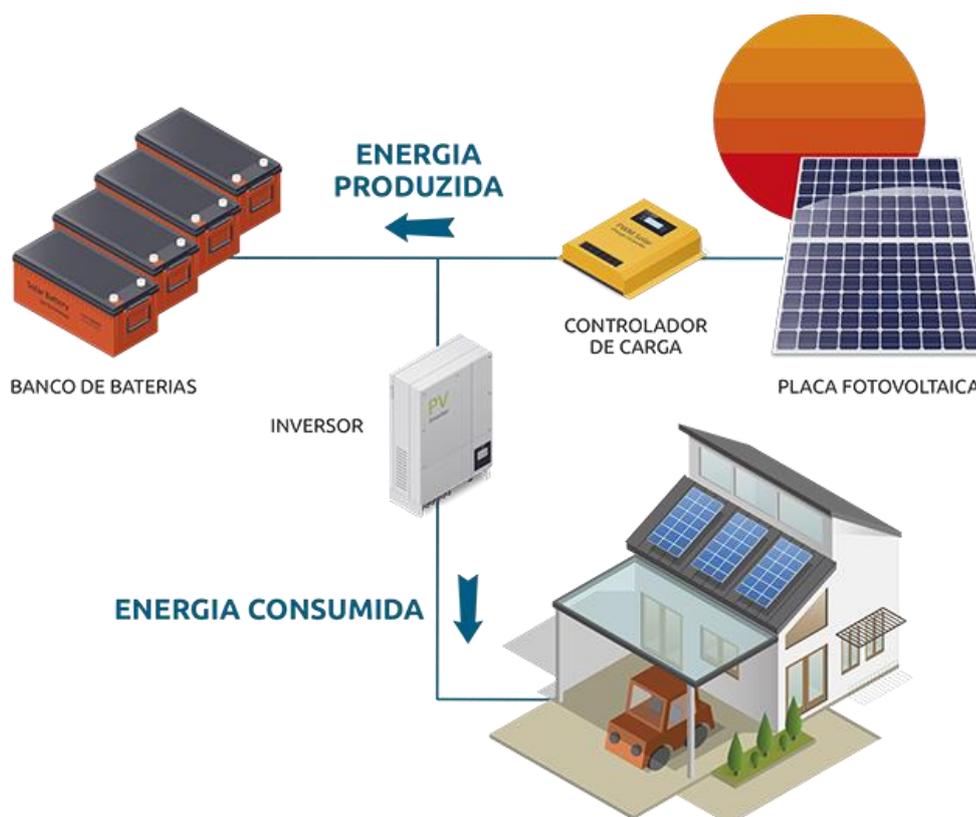


Figura 5 – Sistema Fotovoltaico Isolado (SFVI).  
Fonte: INOVACARE SOLAR, 2016.

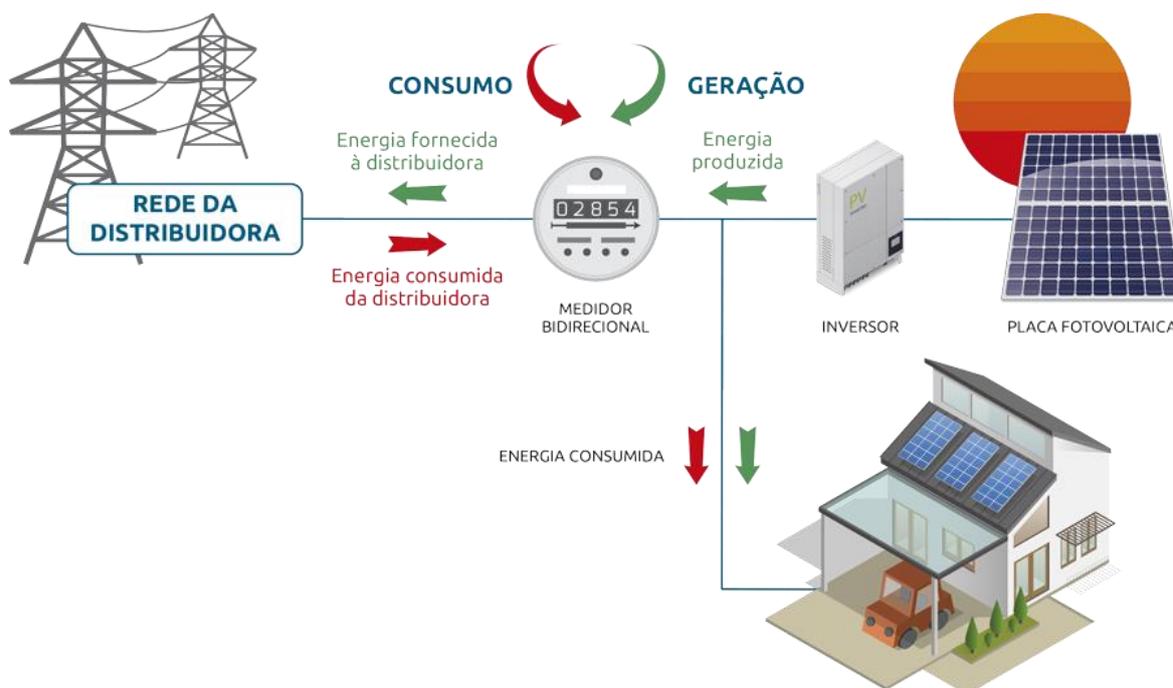
### 2.2.2 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR)

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica, também conhecidos como *on grid*, são instalados em locais que costumam ser atendidos pela rede elétrica. Dessa forma o sistema opera como uma usina de geração de energia que funciona paralelamente às grandes centrais distribuidoras de energia elétrica, com o intuito de otimizar, diminuir ou suprir o consumo advindo da rede pública. A energia gerada por esse modelo de sistema é consumida simultaneamente pela carga ou então é injetada na rede elétrica para que possa ser utilizada por outros consumidores da rede de distribuição, abrindo mão, assim, do uso de acumuladores, como bancos de baterias.

Em alguns países, é incentivada a instalação de painéis fotovoltaicos de modo que os usuários supram a quantidade de energia elétrica gasta, podendo gerar excedentes e receber por isso (VILLALVA, 2013).

A Resolução Normativa n. 687, de 24 de novembro de 2015, da ANEEL elenca para a geração fotovoltaica que esse tipo de sistema conforme a dimensão da instalação, a saber: microgeração com potência instalada menor ou igual a 75 kWp, minigeração para potências superiores a 75 kWp e menor ou igual a 5 MWp (ANEEL, 2015).

Conforme Rüter (2004), essas instalações podem ser classificadas em dois tipos de acordo com o modo em que são instaladas: de forma centralizada (usinas) ou distribuída (junto as edificações). Os sistemas centralizados, são de tal maneira que, remetem a uma usina convencional onde há potências maiores e as instalações são realizadas em locais afastados dos consumidores. Já os sistemas distribuídos, usualmente implantados no telhado ou fachada de uma construção junto ao consumidor, apresentam vantagens em relação aos centralizados, pois estando próximos ao ponto de consumo diminuem as perdas por transmissão e distribuição. As análises que serão feitas nesse trabalho são baseadas nesse segundo tipo de sistema, cujo esquema de montagem é apresentado na Figura 6.



**Figura 6 – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR).**  
**Fonte: INOVACARE SOLAR, 2016.**

Como principais componentes desses sistemas têm-se o painel fotovoltaico e o inversor. O primeiro faz a função de conversão da energia solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. O segundo é responsável por converter a energia CC em CA, pela alimentação das cargas com tensão e frequência compatíveis à rede elétrica e também pela sincronia do sistema com a rede elétrica a qual está atrelado. Outra função muito importante desempenhada pelo inversor é evitar o fenômeno conhecido como “ilhamento”, que ocorre quando parte da rede elétrica é desconectada (propositalmente ou acidentalmente) do restante do sistema da concessionária, mas continua injetando energia na rede, garantindo assim a segurança de seus operadores e a integridade do equipamento.

#### 2.2.2.1 Escritório Verde

O Escritório Verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, inaugurado em dezembro de 2011, tem como objetivo a desenvolver políticas de sustentabilidade através da implantação de programas que reduzam o impacto ambiental das atividades acadêmicas, servindo como referência a outras instituições de ensino e a empresas. O EV da UTFPR pode ser observado na Figura 7.



**Figura 7 – Vista frontal do EV da UTFPR.**  
**Fonte: URBANETZ *et al*, 2014.**

Este sistema, conforme a Figura 8, possui um painel composto por dez módulos Kyocera KD-210GX-LP de 210 Wp cada, ligados em série e totalizando uma potência de 2,1kWp, e um inversor PVPOWERED modelo PVP2000 monofásico em 220V de 2kW de potência nominal (URBANETZ *et al*, 2014b). A Tabela 3 indica as características elétricas e físicas destes módulos.



**Figura 8 – Painel FV e inversor do EV da UTFPR.**  
**Fonte: URBANETZ *et al*, 2014.**

**Tabela 3 – Características do Módulo KD210GX em condição padrão de teste.**

Potência Máxima ( $P_{MAX}$ )	210 W (+5W/-0W)
Tensão de Máxima Potência ( $V_{MPP}$ )	26.6V
Corrente de Máxima Potência ( $I_{MPP}$ )	7.90A
Tensão de Circuito Aberto ( $V_{OC}$ )	33.2V
Corrente de Curto-circuito ( $I_{SC}$ )	8.58A
Tensão Máxima do Sistema	600V
Coeficiente de Temperatura da $V_{OC}$	$-1.20 \times 10^{-1} V/^{\circ}C$
Coeficiente de Temperatura da $I_{SC}$	$5.15 \times 10^{-3} A/^{\circ}C$
Comprimento x Largura x Espessura	1500mm x 990mm x 46mm
Peso	18 kg
Temperatura de Operação	- 40°C até 90°C

Fonte: KYOCERA, 2012.

### 2.2.2.2 Neville

O SFVCR instalado na Sede Neville do Campus da UTFPR em Curitiba está em operação desde 29 de fevereiro de 2016, com potência instalada de 10,2 kWp e área ocupada de aproximadamente 68 m<sup>2</sup>. O sistema é composto por dois conjuntos de dezessete módulos fotovoltaicos modelo ELCO-A300P, ligados em série, constituindo-se, portanto, de trinta e quatro módulos de silício policristalino de 300 Wp em cada módulo, além de um inversor trifásico sem transformador (*Chint Power*, modelo CPS SCA 10KTL-DO) em 380 V de alto rendimento, com potência nominal de 10 kW (URBANETZ *et al*, 2016).

Os painéis fotovoltaicos estão instalados com uma inclinação de 25°, valor que representa a latitude da cidade de Curitiba, e estão orientados para o norte geográfico, sem desvio azimutal. A Figura 9 ilustra os painéis e o inversor do SFVCR instalados na Sede Neville do Campus Curitiba da UTFPR.



Figura 9 – Painel FV e inversor da Sede Neville do Campus Curitiba da UTFPR.  
Fonte: URBANETZ *et al*, 2016.

### 2.2.2.3 Residência

O sistema de potência instalado de 3 kWp é composto por 10 módulos de silício policristalino, modelo ELCO A300-P, que estão instalados sobre o telhado da residência, com orientação 2º leste e inclinação de 22º. Por sua vez, esse sistema emprega um inversor modelo SE-TL3kA monofásico, sem transformador. Esse sistema pode ser visto na Figura 10 e está em operação desde 30 de janeiro de 2016.



Figura 10 - Painel FV da residência.  
Fonte: Autoria própria.

## 2.3 ÍNDICES DE MÉRITO DO SFVCR

Os índices de mérito foram propostos pela organização *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm* (IEA-PVPS), padronizando a prática de monitoramento de sistemas fotovoltaicos e são ferramentas de análise que permitem avaliar o desempenho destes sistemas.

A partir destes índices é possível determinar e entender as perdas do sistema fotovoltaico que não são mensuradas em uma avaliação direta do equipamento. Os métodos propostos pela IEA-PVPS são aplicáveis em todas as tecnologias de sistemas fotovoltaicos (IEA-PVPS, 2014). Os índices de mérito são parâmetros que caracterizam equipamentos, sistemas ou tecnologias de acordo com a sua performance de conversão de energia.

A necessidade de padronização dos métodos de avaliação dos sistemas surgiu pelo aumento da utilização dos sistemas fotovoltaico e pela necessidade de atribuir maior credibilidade para as tecnologias aplicadas a estes sistemas, contribuindo para o desenvolvimento destas.

Os parâmetros relacionados ao desempenho podem ser obtidos a partir de bancos de dados de monitoramento, calculados através de fórmulas que combinam estes dados em um determinado período de tempo, para determinar ou aperfeiçoar alguns aspectos de desempenho. Nesse contexto, os resultados dos índices de mérito apresentados nesse trabalho são frutos de dados coletados e manipulados no *software* Excel.

Segundo Benedito (2009) existem três parâmetros de performance que são utilizados para definir a eficiência de um SFVCR: Fator de Capacidade (FC); Produtividade ou *Yield* (*Final Yield* ou  $Y_F$ ); e a Taxa de Desempenho (*Performance Ratio* ou PR).

A análise desses índices de mérito permite a comparação do desempenho entre diversos sistemas operando com características distintas, tecnologias e em diferentes localidades. Deste modo, é possível avaliar se um sistema fotovoltaico opera de forma otimizada, ou se pode ser reconfigurado de modo a maximizar sua eficiência.

### 2.3.1 FATOR DE CAPACIDADE

Este índice representa a proporção entre a produção de energia de um determinado sistema e a produção total máxima em um período de tempo (Energia Heliotérmica, 2016). Esse indicador é responsável pela comparação das diferentes fontes de energia e suas gerações e pode ser calculado pela fórmula apresentada na Equação 2.

$$FC = \int_0^T \frac{P(t)dt}{P_N * T} = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência} * \text{Tempo}} [\%] \quad (2)$$

onde:

$P(t)$  representa a potência entregue pelo sistema no instante t, em kW;

$P_N$  representa a potência nominal do sistema, em kW;

T representa o período de integração (geralmente um ano, 8.760 horas).

Os SFVCRs, quando comparados a outros sistemas de diferentes fontes, possuem fatores de capacidade relativamente baixos de geração de energia elétrica, conforme a Figura 11. Isso ocorre devido à própria natureza do recurso solar, que é intermitente devido ao movimento da Terra em relação ao sol e às variações climáticas. No Brasil os SFVCRs possuem FC entre 13% e 18%, variando de acordo com a disponibilidade do recurso solar e da tecnologia e forma de dimensionamento adotadas (BENEDITO, 2009).

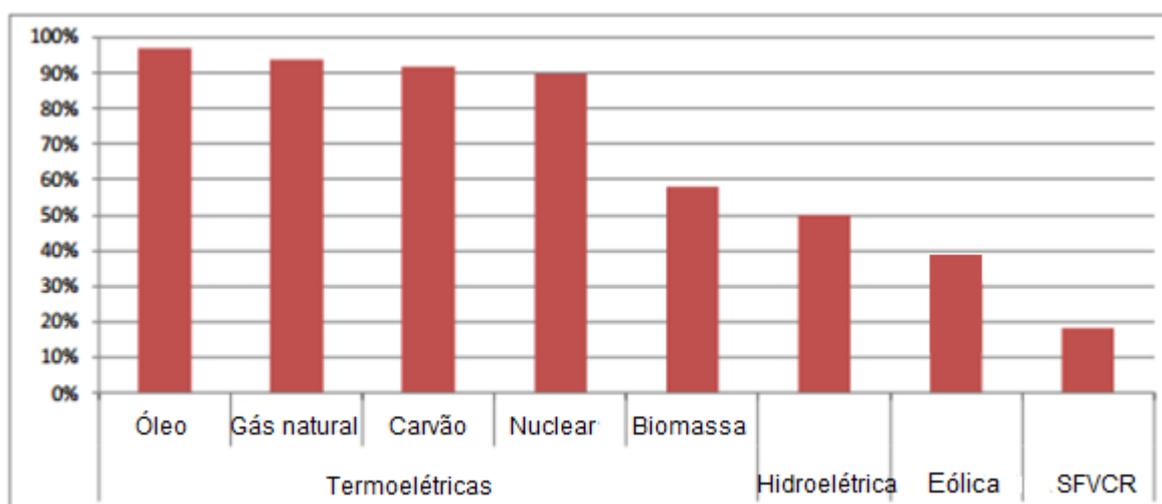


Figura 11 - Fatores de capacidade comuns para alguns sistemas de geração de energia elétrica no Brasil.

Fonte: ALMEIDA, 2012.

### 2.3.2 PRODUTIVIDADE OU *YIELD*

O índice de produtividade ou *yield* ( $Y_F$  ou *Final Yield*) de um sistema reflete o desempenho de cada SFVCR normalizado em relação à potência instalada, ou seja, representa o quanto de energia elétrica um sistema produz [kWh] por unidade de potência nominal instalada [kWp] normalizado em 1kWp a fim de comparar a produtividade de determinadas plantas (RAMPINELLI, 2010).

A produtividade está vinculada a um intervalo de tempo, normalmente atrelado ao um ano de operação podendo ser também considerado mensalmente. Esse índice é obtido através da Equação 3:

$$Y_F = \int_0^T \frac{P(t)dt}{P_N} = \frac{\text{Energia Gerada} \left[ \frac{kWh}{kWp} \right]}{\text{Potência instalada} \left[ \frac{kWh}{kWp} \right]} \quad (3)$$

onde:

$P(t)$  representa a potência entregue pelo sistema no instante  $t$ , em kW;

$P_N$  representa a potência nominal do sistema, em kWp;

$T$  representa o período de integração (8.760 horas).

### 2.3.3 TAXA DE DESEMPENHO OU *PERFORMANCE RATIO*

Este último índice de mérito leva em consideração as perdas ocorridas no processo de conversão da energia solar em eletricidade. Representa a real capacidade em converter a energia solar disponível no plano dos painéis em eletricidade CA, normalmente vinculada a um ano de operação. Em outras palavras, é a relação percentual entre a energia elétrica entregue pelo sistema fotovoltaico e a energia solar que está disponível na superfície do painel. Esta diferença entre a energia disponibilizada e a entregue pelo SFVCR é atribuída a diversas perdas, as quais nem sempre são mensuráveis, tais como temperatura, sujeira, sombreamento, perdas nos condutores, perdas nos inversores, entre outras. A intenção é reduzir as perdas a fim de maximizar a performance da planta, a qual deve variar entre 70% e 80%, sendo que o valor típico para efeito de projeto é 75%.

Assim, esse índice é expresso em porcentagem, como pode ser visto na Equação 4 (URBANETZ *et al*, 2014).

$$PR = \frac{Y_F}{\text{Irradiação}/1000} [\%] \quad (4)$$

## 2.4 FERRAMENTAS DE ENGENHARIA ECÔNOMICA

Neste capítulo estão demonstrados os conceitos de ferramentas de engenharia econômica, tais como: *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL), e Taxa Interna de Retorno (TIR). Os métodos estudados servem de base para comprovar a viabilidade econômica de um projeto e indicam o tempo de retorno do capital inicial investido.

### 2.4.1 Payback

O *payback*, em português significa “retorno” é uma técnica muito utilizada nas empresas para análise do prazo de retorno do investimento em um projeto, podendo ser dividido em *payback* simples e *payback* descontado.

#### 2.4.1.1 Payback Simples

Através deste método é possível calcular quantos anos serão necessários para que o fluxo de caixa operacional do projeto seja igual ao valor do investimento líquido realizado. Esse método não deve ser utilizado para comparar projetos, mas sim para verificar a viabilidade de acordo com as necessidades da empresa, uma vez que o *payback* simples não considera o valor do dinheiro no tempo (LEMES JR *et al*, 2013).

Pode-se utilizar a Equação 7 para calcular o período de retorno do investimento (PRI).

$$PRI = n^{\circ} \text{ de anos completos de recuperação} + \frac{\text{Saldo a recuperar do investimento}}{\text{Fluxo de caixa livre no ano seguinte}} \quad (7)$$

#### 2.4.1.2 Payback Descontado

A diferença do *payback* simples para o descontado é que, no segundo caso, é preciso trazer todo o fluxo de caixa para o valor presente. Em termos comparativos, o *payback* se equivale ao VPL quando este torna-se igual à zero, isto é, o *payback* corrigiu o investimento. Para isso, emprega-se a Equação 8 para o cálculo do valor presente. Em seguida, aplica-se o resultado de VP na Equação 7 (LEMES JR *et al*, 2013).

$$VP = \frac{VF}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^n} \quad (8)$$

Sendo:

VP: valor presente [R\$];

VF: valor futuro [R\$];

i: variável do custo de capital [%];

n: período [anos].

#### 2.4.2 Valor Presente Líquido – VPL

Essa ferramenta considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo, calculando o valor presente do fluxo de caixa livre a partir do custo de capital empregado pela empresa. O custo de capital consiste no retorno mínimo que um projeto precisa proporcionar para manter inalterado o valor de mercado da empresa. Com o uso da Equação 5, pode-se encontrar o valor presente líquido (GITMAN, 2010).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (5)$$

Sendo:

VPL: valor presente líquido;

FC<sub>t</sub>: valor presente das entradas de caixa;

FC<sub>0</sub>: investimento inicial do projeto;

r: taxa de custo de capital da empresa;

t: enésimo período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto, iniciando no período 1.

#### 2.4.3 Taxa Interna de Retorno – TIR

Consiste no custo de capital que anula o VPL de um investimento, pelo fato do valor presente das entradas ser igual ao investimento inicial (GITMAN, 2010). Em outras palavras, a TIR representa o VPL igual à zero quando o *payback* é atingido, ou seja, o investimento pôde ser pago.

A TIR considera o valor do dinheiro no tempo e, após calculada, é confrontada com o custo de capital da empresa, indicando a viabilidade do projeto (LEMES JR *et al*, 2013). Essa taxa pode estar atrelada ao resultado financeiro ao longo da vida de

um equipamento, no sentido de avaliar qual será o retorno e o benefício para a vida econômica de um dado sistema. Além disso, a TIR está relacionada ao perfil do investidor, o qual atribui esse índice de acordo com a sua necessidade. Matematicamente, a TIR pode ser obtida de acordo com a Equação 6.

$$\$ 0 = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} - FC_0 \quad (6)$$

### 3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DESEMPENHO DOS SFVCRs

#### 3.1 PANORAMA ATUAL DOS SFVCRs EM CURITIBA

Segundo a ANEEL (2017), até abril de 2017, existiam 168 micro e minigeração distribuídas instaladas em Curitiba, sendo cerca de 74% pertencente ao grupo B<sup>1</sup> e o restante ao grupo A<sup>2</sup>.

A fim de acompanhar a evolução da energia fotovoltaica gerada a partir dos SFVCRs em Curitiba, a Tabela 4 apresenta as unidades consumidoras homologadas pela ANEEL, tendo como distribuidora de energia a Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Esses sistemas estão dispostos em ordem cronológica de instalação.

**Tabela 4 – Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Classe	Subgrupo	Potência instalada [kWp]	Data de conexão
Poder público	B3	2,10*	dez-11
Comercial	B3	8,64**	jan-13
Comercial	A4	2,00	out-13
Residencial	B1	3,00	mar-14
Comercial	B3	8,34	mai-14
Residencial	B1	5,00	jul-14
Residencial	B1	2,00	ago-14
Comercial	A4	30,36	nov-14
Comercial	B3	1,50	jan-15
Residencial	B1	1,47	fev-15
Comercial	A4	7,67	fev-15
Residencial	B1	7,50	mar-15
Comercial	B3	20,00	mar-15
Residencial	B1	3,00	abr-15
Industrial	B3	50,00	jun-15
Residencial	B1	2,16	jul-15
Comercial	B3	5,00	jul-15
Residencial	B1	1,50	jul-15
Comercial	B3	1,50	jul-15
Residencial	B1	4,60	jul-15
Residencial	B1	0,46	ago-15
Residencial	B1	3,00	ago-15
Residencial	B1	2,00	ago-15

<sup>1</sup> Consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV (COPEL, 2016).

<sup>2</sup> Unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária (COPEL, 2016).

**Tabela 4 (continuação) - Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Residencial	B1	2,00	ago-15
Residencial	B1	3,75	set-15
Residencial	B1	1,75	set-15
Comercial	B3	3,00	set-15
Comercial	B3	3,00	set-15
Residencial	B1	3,00	out-15
Residencial	B1	2,00	out-15
Comercial	B3	10,00	out-15
Residencial	B3	4,00	nov-15
Comercial	B1	3,25	nov-15
Residencial	B1	2,45	nov-15
Comercial	A4	7,50	dez-15
Residencial	B1	6,00	dez-15
Residencial	B1	5,00	dez-15
Residencial	B1	1,50	dez-15
Comercial	A4	5,00	dez-15
Industrial	B3	2,00	jan-16
Residencial	B1	3,00	jan-16
Residencial	B1	3,00	jan-16
Residencial	B1	3,00	jan-16
Comercial	B3	2,50	jan-16
Residencial	B1	2,50	fev-16
Residencial	B1	2,50	fev-16
Residencial	B1	2,00	fev-16
Industrial	B2	1,02	fev-16
Residencial	B1	4,00	fev-16
Comercial	B3	0,74	fev-16
Poder Público	A4	10,00	fev-16
Residencial	B1	3,00	mar-16
Residencial	B1	2,00	mar-16
Residencial	B1	2,00	mar-16
Residencial	B1	2,50	mar-16
Residencial	B1	1,50	mar-16
Residencial	B1	2,50	mar-16
Residencial	B1	2,00	mar-16
Comercial	B3	1,56	mar-16
Residencial	B1	3,00	mar-16
Residencial	B1	2,00	abr-16
Residencial	B1	1,50	abr-16
Residencial	B1	3,12	abr-16
Residencial	B1	3,60	abr-16
Residencial	B1	3,00	abr-16
Residencial	B1	2,60	abr-16
Comercial	B3	37,80***	abr-16
Residencial	B1	2,50	abr-16
Comercial	B3	9,20	abr-16
Industrial	B3	2,60	abr-16

**Tabela 4 (continuação) - Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Residencial	B1	1,50	abr-16
Residencial	B1	2,50	mai-16
Residencial	B1	1,50	mai-16
Residencial	B1	2,50	mai-16
Residencial	B1	1,50	mai-16
Residencial	B1	1,82	mai-16
Residencial	B1	4,00	mai-16
Residencial	B1	2,50	jun-16
Residencial	B1	6,00	jun-16
Residencial	B1	3,00	jun-16
Residencial	B1	5,00	jun-16
Residencial	B1	2,00	jul-16
Residencial	B1	4,00	jul-16
Comercial	B3	12,00	jul-16
Residencial	B1	7,28	jul-16
Residencial	B1	3,00	jul-16
Residencial	B1	3,00	jul-16
Comercial	B3	6,50	jul-16
Comercial	B3	2,30	ago-16
Residencial	B1	3,00	ago-16
Residencial	B1	3,00	ago-16
Residencial	B1	3,60	ago-16
Residencial	B1	2,00	ago-16
Comercial	B3	5,00	ago-16
Comercial	A4	47,60	ago-16
Residencial	B1	2,50	set-16
Residencial	B1	3,00	set-16
Residencial	B1	1,50	set-16
Residencial	B1	2,00	set-16
Residencial	B1	6,75	set-16
Residencial	B1	3,00	set-16
Residencial	B1	4,50	set-16
Residencial	B1	2,30	set-16
Residencial	B1	4,10	set-16
Residencial	B1	3,00	set-16
Residencial	B1	2,00	out-16
Residencial	B1	1,30	out-16
Residencial	B1	4,00	out-16
Comercial	A4	13,50	out-16
Industrial	B3	2,00	out-16
Comercial	B3	1,50	out-16
Residencial	B1	2,60	out-16
Industrial	B3	0,50	out-16
Residencial	B1	0,30	out-16

**Tabela 4 (continuação) - Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Comercial	B3	2,50	out-16
Residencial	B1	0,50	out-16
Residencial	B1	0,50	out-16
Residencial	B1	1,60	out-16
Residencial	B1	0,50	out-16
Residencial	B3	3,00	nov-16
Residencial	B1	1,60	nov-16
Residencial	B1	1,50	nov-16
Residencial	B1	4,20	nov-16
Residencial	B1	0,05	nov-16
Residencial	B1	0,50	nov-16
Residencial	B1	9,20	nov-16
Residencial	B1	3,00	nov-16
Residencial	B1	1,50	nov-16
Residencial	B1	2,00	nov-16
Comercial	B3	8,20	nov-16
Residencial	B1	3,00	nov-16
Residencial	B1	0,50	nov-16
Residencial	B1	0,50	nov-16
Residencial	B1	5,00	nov-16
Comercial	A4	54,00	nov-16
Comercial	B3	54,00	nov-16
Residencial	B1	5,00	dez-16
Residencial	B1	0,50	dez-16
Residencial	B1	3,60	dez-16
Residencial	B1	10,04	dez-16
Residencial	B1	3,80	jan-17
Residencial	B1	2,00	jan-17
Residencial	B1	2,10	jan-17
Residencial	B1	2,50	jan-17
Residencial	B1	3,80	jan-17
Residencial	B1	6,00	fev-17
Residencial	B1	1,00	fev-17
Comercial	B3	6,20	fev-17
Residencial	B1	1,90	fev-17
Residencial	B1	0,50	fev-17
Residencial	B1	2,70	fev-17
Comercial	B3	20,00	fev-17
Residencial	B1	3,00	fev-17
Residencial	B1	0,50	fev-17
Residencial	B1	5,10	fev-17
Residencial	B1	2,50	fev-17
Residencial	B1	1,00	mar-17
Residencial	B1	5,00	mar-17

**Tabela 4 (continuação) - Relação dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Residencial	B1	1,00	mar-17
Residencial	B1	3,00	mar-17
Comercial	B3	3,00	mar-17
Residencial	B1	5,00	mar-17
Residencial	B1	10,60	mar-17
Comercial	B3	10,60	mar-17
Residencial	B1	2,10	mar-17
Residencial	B1	6,00	mar-17
Residencial	B1	3,00	mar-17
Residencial	B1	3,00	mar-17
Residencial	B1	9,20	mar-17
Residencial	B1	6,00	mar-17

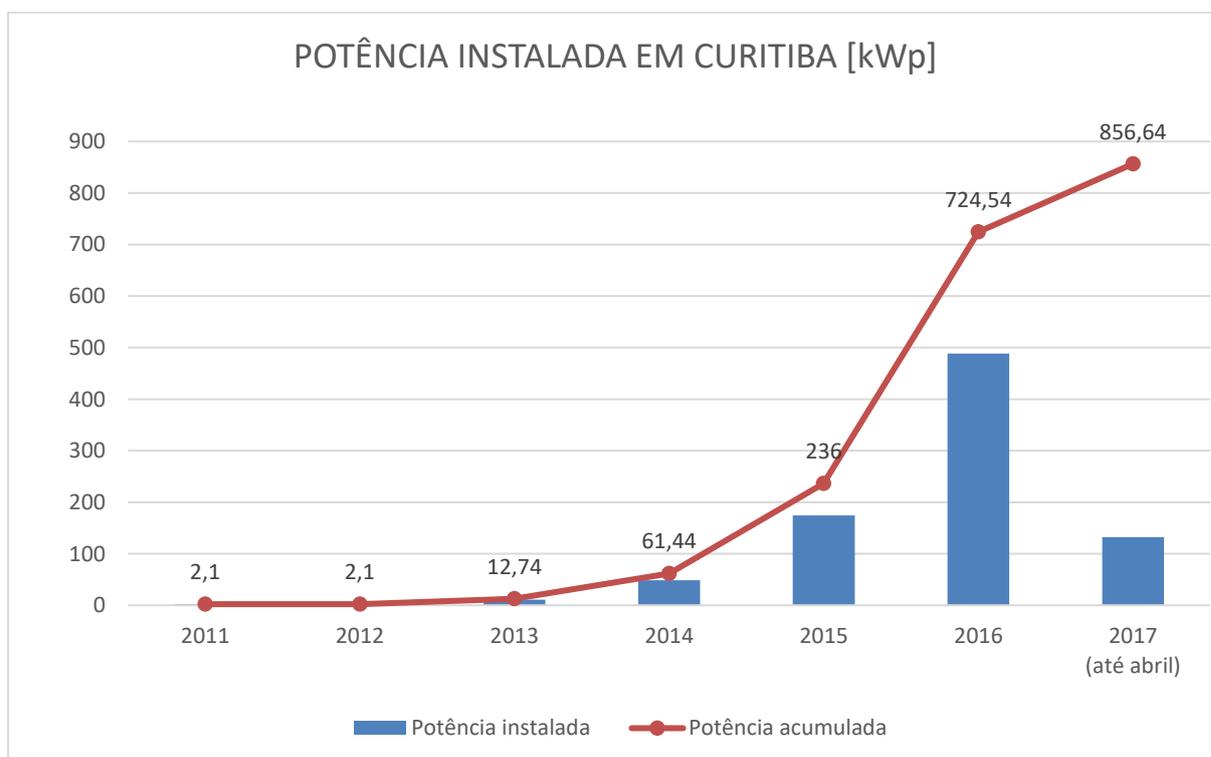
\*Primeiro sistema implantado no Paraná anterior à Resolução Normativa n. 482.

\*\*Primeiro sistema homologado no sistema de compensação da COPEL.

\*\*\*SFVCR de 29,1 kWp instalado em abril de 2016 incorporado ao sistema de 8,64 kWp em operação desde janeiro de 2013, totalizando 37,8 kWp de potência instalada.

Fonte: ANEEL, 2017; URBANETZ *et al*, 2014c.

Ao verificar a potência instalada no decorrer dos anos de 2013 até 2017, pode-se perceber que há uma crescente expansão da energia solar fotovoltaica na cidade de Curitiba. Através do Gráfico 1 é possível comparar as potências adicionadas anualmente com a potência acumulada ao longo do tempo.



**Gráfico 1 – Potência instalada dos SFVCRs em operação em Curitiba.**

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2017; URBANETZ *et al*, 2014c.

### 3.2 IRRADIAÇÃO NO PLANO HORIZONTAL

A fim de mensurar a viabilidade dos SFVCRs em Curitiba, foram coletados dados de irradiação do ano de 2016 e início de 2017 por meio do banco de dados fornecidos pelo período de um ano no portal do INMET da estação automática de Curitiba (A807). Para obter os valores da irradiação diária média (kWh/m<sup>2</sup>.dia) dispostos na Tabela 5, foi necessário o uso do programa Excel a fim de converter e integrar os valores por hora da irradiação (kJ/m<sup>2</sup>) no plano horizontal, coletados pelo piranômetro localizado nessa estação (URBANETZ *et al*, 2016).

Os dados de irradiação do Bloco B da UTFPR Campus Curitiba Sede Centro são obtidos através de um piranômetro instalado no local e são coletados a cada minuto e agrupados para uma melhor visualização dos valores. Estes também foram trabalhados no programa Excel para a obtenção dos dados da irradiação diária média do local, os quais estão igualmente dispostos na Tabela 5.

**Tabela 5 – Dados da irradiação diária média coletados do INMET e do Bloco B da UTFPR por meio de seus respectivos piranômetros.**

		Irradiação Diária Média INMET [kWh/m <sup>2</sup> .dia]	Irradiação Diária Média Bloco B UTFPR [kWh/m <sup>2</sup> .dia]	Diferença Percentual [%]
2016	Janeiro	5,40	5,33	1,36%
	Fevereiro	4,59	4,56	0,69%
	Março	4,38	4,41	-0,71%
	Abril	4,59	4,59	-0,20%
	Maio	2,61	*	*
	Junho	2,59	2,25**	13,00%
	Julho	3,26	3,37	-3,34%
	Agosto	3,54	3,69	-4,18%
	Setembro	5,00	5,12	-2,54%
	Outubro	4,12	4,09	0,78%
	Novembro	5,08	5,05	0,71%
	Dezembro	4,81	4,82	-0,12%
	<b>Média</b>	<b>4,16</b>	<b>4,30</b>	<b>0,49%</b>
2017	Janeiro	5,19	4,73	8,86%
	Fevereiro	5,67	5,02***	11,53%
	Março	3,91	*	*
	Abril	3,37	3,36****	0,11%
		<b>Média</b>	<b>4,53</b>	<b>4,37</b>

\*Dados não disponíveis.

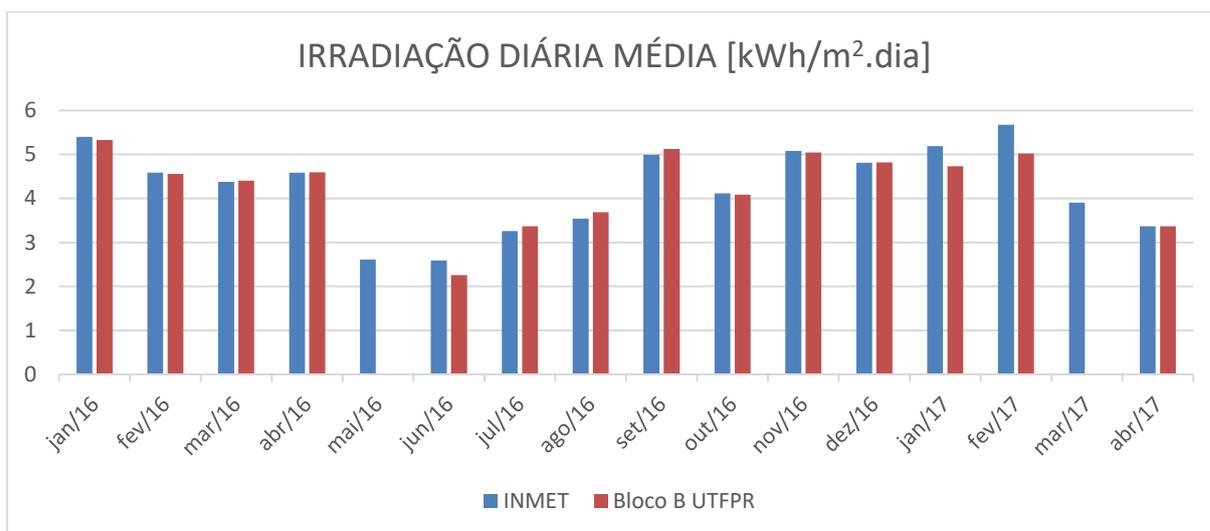
\*\*Os dados disponibilizados em junho de 2016 foram de 14 dias.

\*\*\*Os dados disponibilizados em fevereiro de 2017 foram de 17 dias.

\*\*\*\*Os dados disponibilizados em abril de 2017 foram de 24 dias.

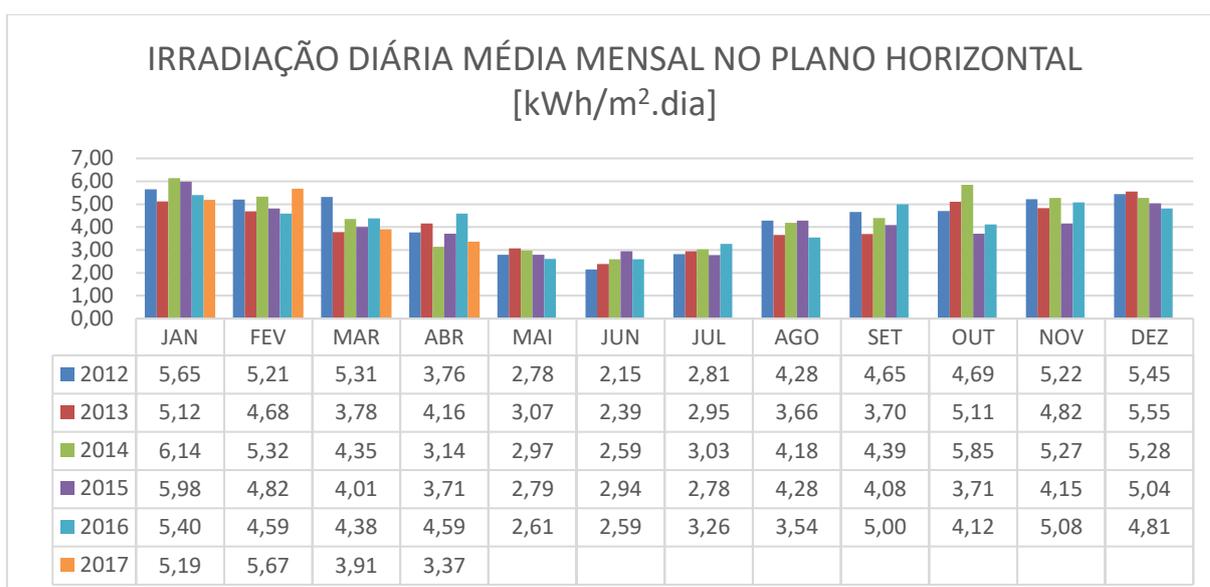
Fonte: INMET (2017); UTFPR (2017).

Até então, o piranômetro em operação no Bloco B da UTFPR não havia sido utilizado em estudos anteriores devido ao seu recente funcionamento e por ainda não apresentar histórico de medição. Portanto, o estudo atual difere por levar em conta os dados registrados por esse instrumento de medição. Os dados servem como referência para indicar a diferença percentual dos valores coletados pelos dois aparelhos. Tal diferença pode ser percebida no Gráfico 2.



**Gráfico 2 - Comparação da irradiação diária média entre INMET e Bloco B da UTFPR.**  
Fonte: INMET (2017); UTFPR (2017).

As informações referentes aos anos de 2012 até 2015 divulgadas no Gráfico 3 são provenientes de dados históricos disponibilizados em pesquisas anteriores.



**Gráfico 3 - Dados históricos da irradiação diária média coletados pelo INMET.**  
Fonte: Adaptado de ARAÚJO *et al*, 2016; INMET, 2017.

### 3.3 IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO

Os dados de irradiação no plano inclinado foram calculados no programa RADIASOL. Através da manipulação de cálculos desses valores, foi possível determinar os índices de mérito e fazer um acompanhamento dos três cenários propostos escolhidos neste trabalho: Escritório Verde, Sede Neville e uma residência.

Devido ao fato do início das atividades da Sede Neville ser recente, os resultados não são comparados com os de anos anteriores, mas sim com os dados de operação do Escritório Verde.

#### 3.3.1 RADIASOL

O programa RADIASOL foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e é fornecido gratuitamente por essa instituição (UFRGS, 2012). Por meio dele é possível determinar os valores de irradiação de qualquer plano a partir da inserção dos valores identificados no plano horizontal.

Devido ao fato do piranômetro do INMET estar localizado na posição horizontal, é necessário o uso desse programa para determinar os valores da irradiação incidente de acordo com a inclinação sobre os painéis fotovoltaicos dos três casos de estudo desse trabalho. A Tabela 6 apresenta os valores aproximados das coordenadas geográficas, ângulos de inclinação e desvio azimutal para o EV, Sede Neville e residência.

**Tabela 6 - Orientação geográfica dos painéis fotovoltaicos do Escritório Verde, Sede Neville e residência.**

Cenário	Latitude	Longitude	Ângulo de inclinação	Desvio azimutal
EV	25,44° sul	49,27° oeste	15°	22° oeste
Neoville	25,50° sul	49,32° oeste	25°	0°
Residência	25,42° sul	49,33° oeste	22°	2° leste

Fonte: Adaptado de MARIANO, 2017.

Foi necessária a criação de estações no programa para identificar a localização dos três casos propostos. Como exemplo, a Figura 12 ilustra a estação do EV no ano

de 2016 (Estação “EV UTFPR 2016”). Após a fixação dos valores da latitude e longitude do local, foram inseridos os valores mensais de irradiação diária média no plano horizontal, nesse caso para o ano de 2016. Os demais valores correspondentes aos anos de 2016 até início de 2017 dos demais cenários também foram inseridos no RADIASOL seguindo a mesma metodologia descrita anteriormente.

**Seleção um país e uma estação**

País:  Estação:

Latitude:  N/S:  Longitude:  E/W:

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5.40	4.59	4.38	4.59	2.61	2.59	3.26	3.54	5.00	4.12	5.08	4.81

Radiação em kWh/m<sup>2</sup>

Permite editar o banco de dados com alterações definitivas

Figura 12 - Tela inicial do RADIASOL para a estação EV UTFPR 2016.  
Fonte: Autoria própria.

Após o cadastramento da estação, é necessário inserir os valores referentes ao ângulo de inclinação e desvio azimutal em relação ao norte geográfico. Assim, o programa fornece os resultados de irradiação no plano determinado pelo usuário por meio de gráficos e tabelas, conforme pode ser visto na Figura 13.

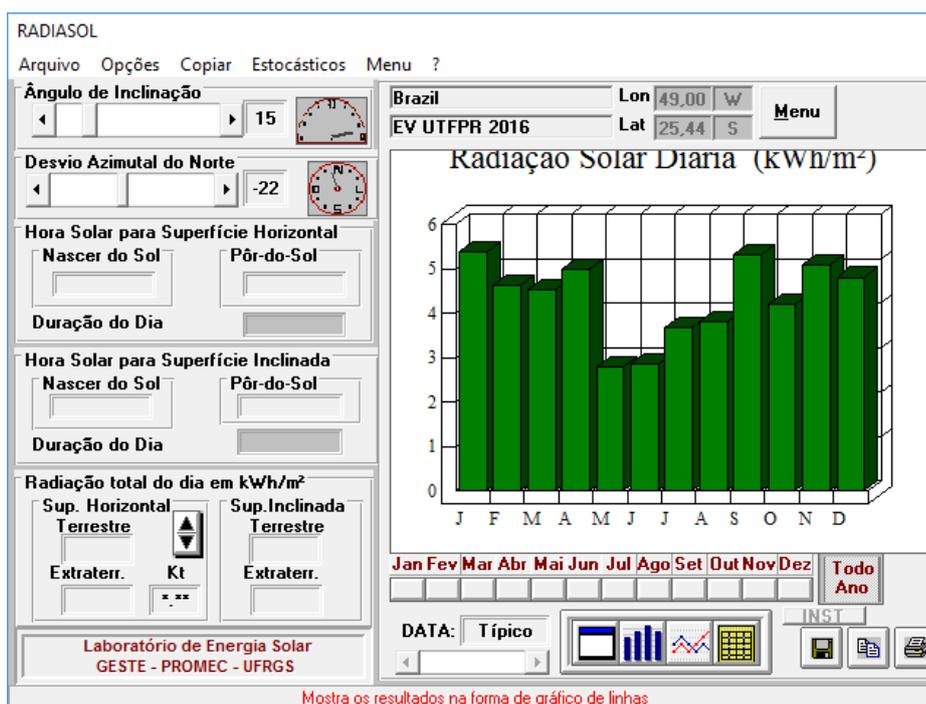
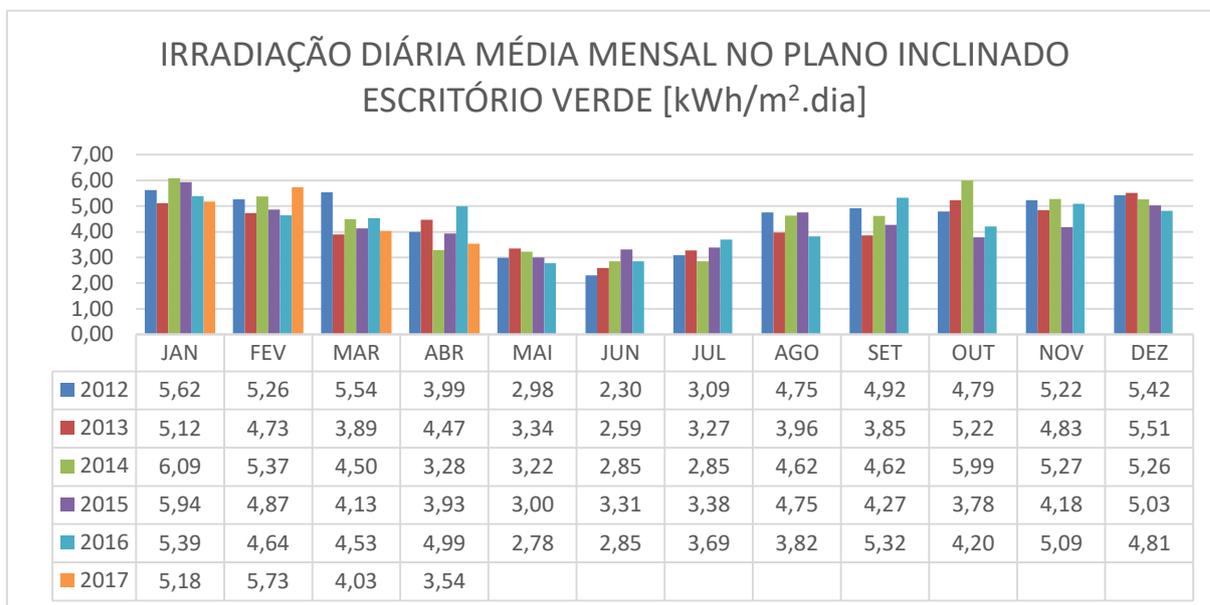


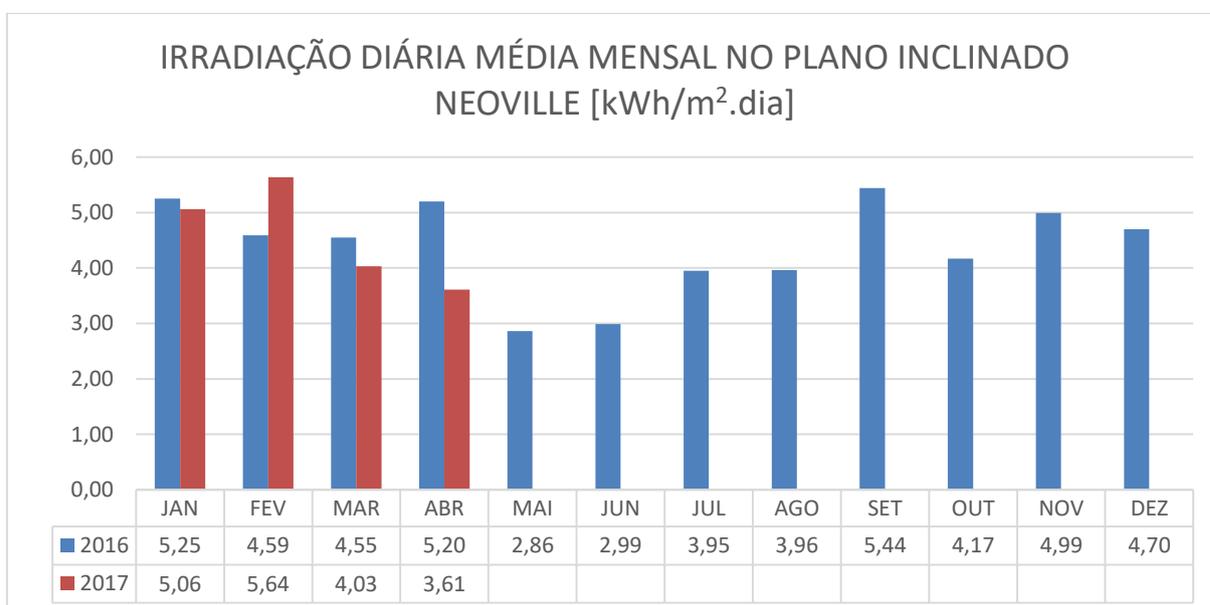
Figura 13 - Tela de resultados do RADIASOL para a estação EV UTFPR 2016.  
Fonte: Autoria própria.

Os valores de irradiação diária média mensal do Escritório Verde, da Sede Neville e da residência podem ser consultados nos Gráficos 4, 5 e 6, respectivamente.



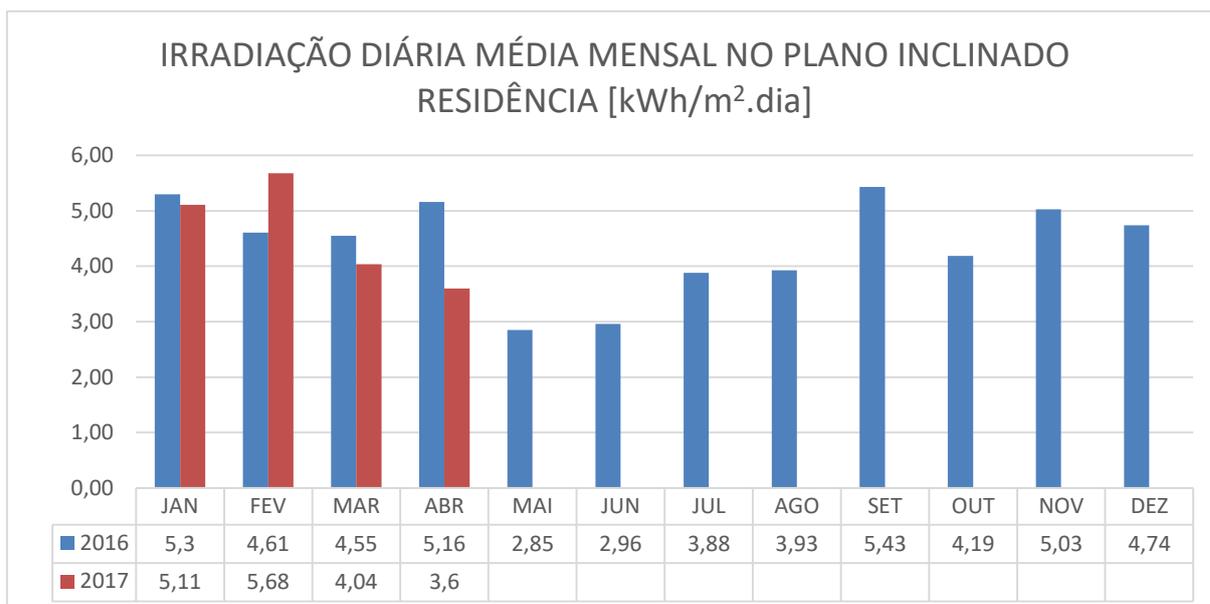
**Gráfico 4 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado do EV.**

Fonte: Adaptado de ARAÚJO *et al*, 2016.



**Gráfico 5 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado da Sede Neville.**

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 6 - Dados da irradiação diária média no plano inclinado da residência.**

Fonte: Autoria própria.

### 3.4 DADOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

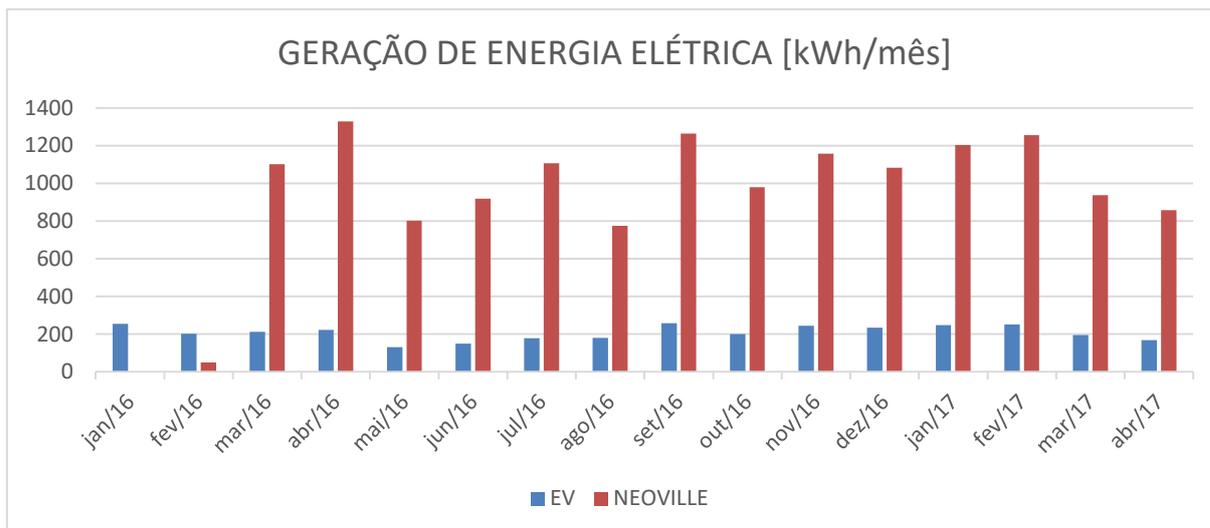
Os valores coletados mensalmente no ano de 2016 e início de 2017 dos sistemas da UTFPR podem ser verificados na Tabela 7 e no Gráfico 6, onde fez-se um comparativo entre os dois casos.

**Tabela 7 – Comparativo da geração de energia elétrica em [kWh/mês].**

		Geração Escritório Verde [kWh/mês]	Geração Neville [kWh/mês]
2016	Janeiro	254	----
	Fevereiro	203	50*
	Março	213	1101
	Abril	223	1329
	Mai	131	802
	Junho	150	919
	Julho	179	1106
	Agosto	181	775
	Setembro	258	1264
	Outubro	201	979
	Novembro	244	1158
	Dezembro	234	1083
2017	Janeiro	248	1204
	Fevereiro	252	1255
	Março	195	937
	Abril	168	857

\*Dado coletados por um dia.

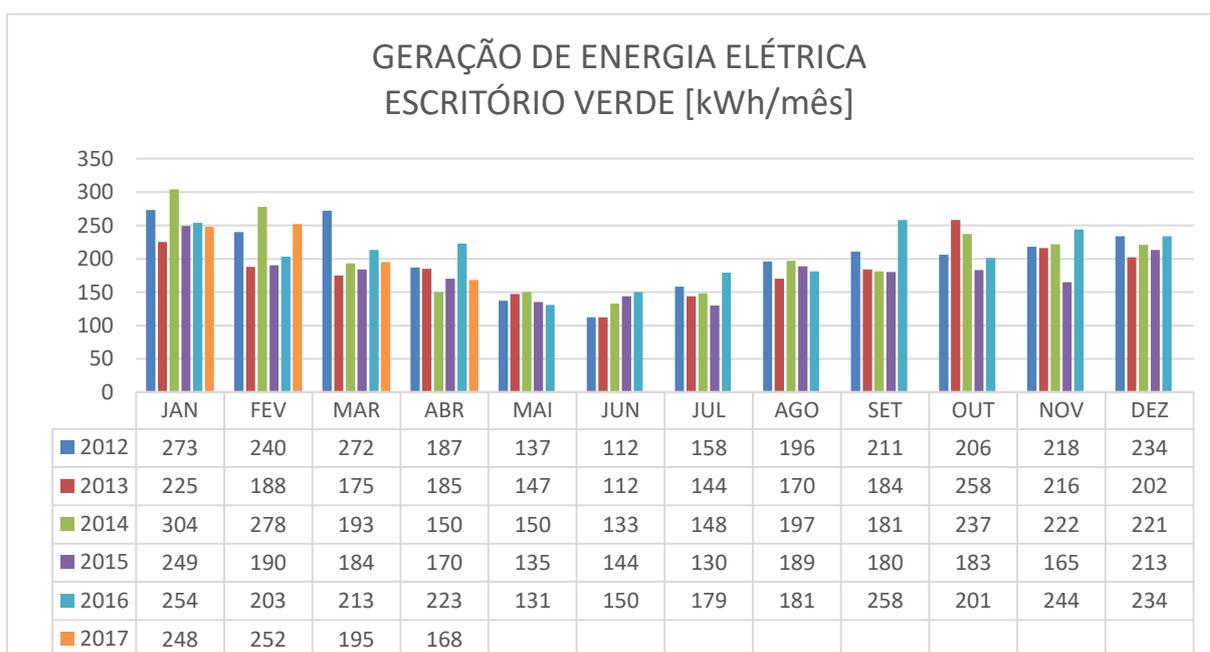
Fonte: *MYPVPOWER (2017); CHINTPOWER (2017).*



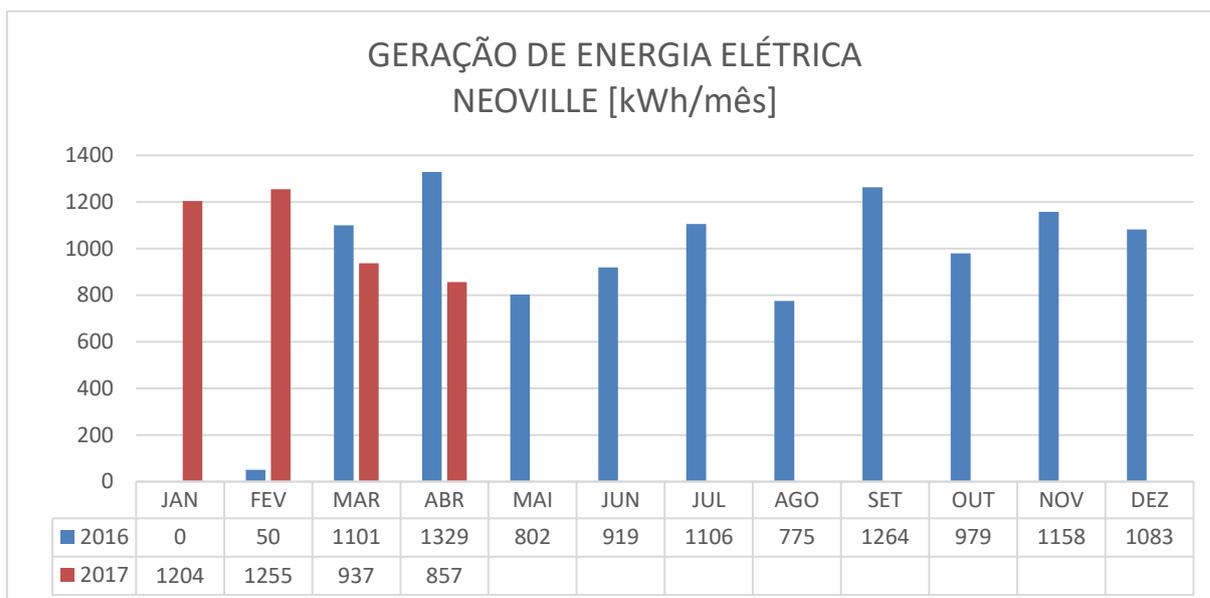
**Gráfico 7 - Comparação da geração de energia elétrica entre Escritório Verde e Sede Neville.**  
Fonte: Autoria própria.

Analisando os dados da Tabela 7, pode-se perceber que a geração de energia elétrica na Sede Neville é seis vezes superior ao do EV. Entretanto, é importante salientar que o SFVCR da Sede Neville é aproximadamente cinco vezes maior que o do EV (URBANETZ, 2016).

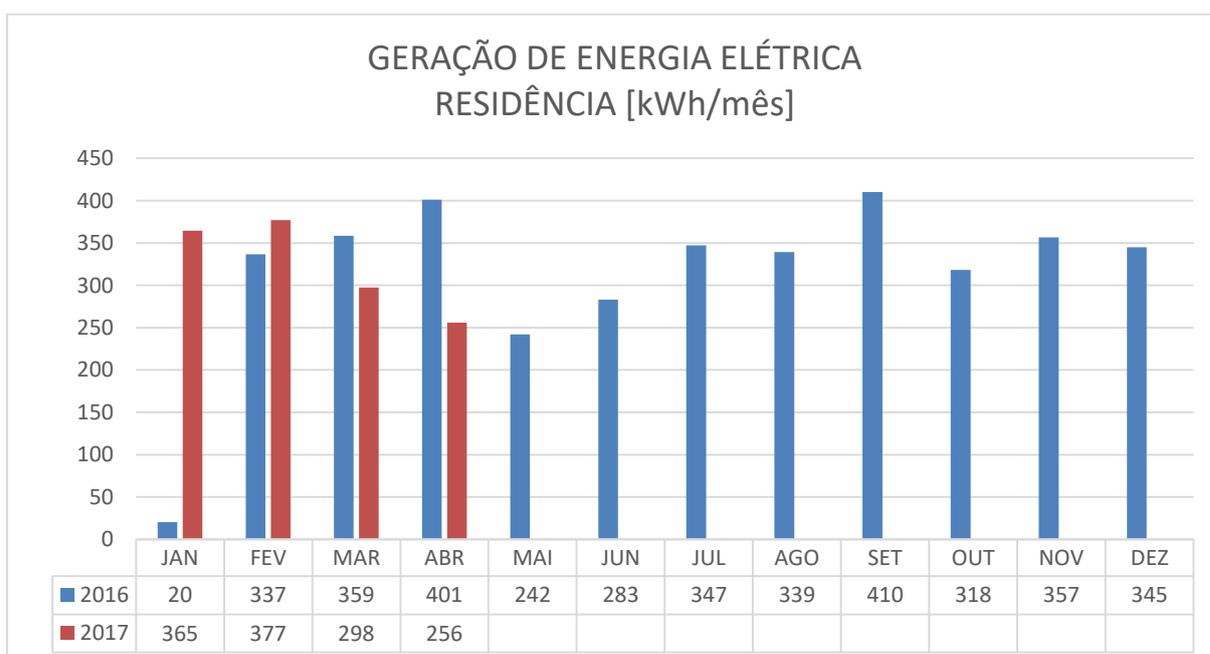
Os dados históricos referentes aos anos de 2012 a 2015 da energia gerada pelo EV foram coletados de pesquisas anteriores e estão disponibilizados no Gráfico 7. Em seguida, os Gráficos 8 e 9 representam a geração de energia elétrica em 2016 e início de 2017 da Sede Neville e do cenário residencial, respectivamente.



**Gráfico 8 - Dados da geração de energia elétrica do EV.**  
Fonte: Adaptado de ARAÚJO *et al*, 2016.



**Gráfico 9 - Dados da geração de energia elétrica da Sede Neoville.**  
Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 10 - Dados da geração de energia elétrica da residência.**  
Fonte: Autoria própria.

### 3.5 ANÁLISE DOS ÍNDICES DE MÉRITO

Através dos dados obtidos de irradiação diária média, energia gerada e potência instalada no painel do SFVCR apresentados anteriormente foi possível verificar a funcionalidade dos sistemas e comparar seus respectivos desempenhos por meio dos índices de mérito. Os cálculos foram feitos para os três sistemas.

### 3.5.1 Escritório Verde

- Fator de Capacidade

A Tabela 8 apresenta os valores referentes ao fator de capacidade do EV, que foram calculados por meio da Equação 2 e dos dados do Gráfico 8.

**Tabela 8 – Fator de capacidade do Escritório Verde.**

Fator De Capacidade [%]						
Mês	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	17,47%	14,40%	19,46%	15,94%	16,26%	15,87%
Fevereiro	16,42%	13,32%	19,70%	13,46%	13,89%	17,86%
Março	17,41%	11,20%	12,35%	11,78%	13,63%	12,48%
Abril	12,37%	12,24%	9,92%	11,24%	14,75%	11,11%
Mai	8,77%	9,41%	9,60%	8,64%	8,38%	-
Junho	7,41%	7,41%	8,80%	9,52%	9,92%	-
Julho	10,11%	9,22%	9,47%	8,32%	11,46%	-
Agosto	12,54%	10,88%	12,61%	12,10%	11,58%	-
Setembro	13,96%	12,17%	11,97%	11,90%	17,06%	-
Outubro	13,18%	16,51%	15,17%	11,71%	12,86%	-
Novembro	14,42%	14,29%	14,68%	10,91%	16,14%	-
Dezembro	14,98%	12,93%	14,14%	13,63%	14,98%	-
Anual	<b>13,25%</b>	<b>12,00%</b>	<b>13,16%</b>	<b>11,60%</b>	<b>13,41%</b>	<b>14,33%</b>

Fonte: Autoria própria.

- Produtividade ou *Yield*

A partir da Equação 3 e dos valores de energia gerada mostrados no Gráfico 8, foi possível calcular a produtividade do EV disposta na Tabela 9.

**Tabela 9 – Produtividade do Escritório Verde.**

Produtividade [kWh/kWp]						
Mês	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	130,00	107,14	144,76	118,57	120,95	118,10
Fevereiro	114,29	89,52	132,38	90,48	96,67	120,00
Março	129,52	83,33	91,90	87,62	101,43	92,86
Abril	89,05	88,10	71,43	80,95	106,19	80,00
Mai	65,24	70,00	71,43	64,29	62,38	-
Junho	53,33	53,33	63,33	68,57	71,43	-
Julho	75,24	68,57	70,48	61,90	85,24	-
Agosto	93,33	80,95	93,81	90,00	86,19	-
Setembro	100,48	87,62	86,19	85,71	122,86	-
Outubro	98,10	122,86	112,86	87,14	95,71	-
Novembro	103,81	102,86	105,71	78,57	116,19	-
Dezembro	111,43	96,19	105,24	101,43	111,43	-
Anual	<b>1.163,81</b>	<b>1.050,48</b>	<b>1.149,52</b>	<b>1.015,24</b>	<b>1.176,67</b>	-

Fonte: Autoria própria.

- Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio*

Com os valores da Tabela 9, bem como os de irradiação do Gráfico 4, foi possível calcular a taxa de desempenho apresentada na Tabela 10.

**Tabela 10 – Taxa de desempenho do Escritório Verde.**

Taxa de Desempenho [%]						
Mês	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	74,59%	67,54%	76,74%	72,73%	72,39%	71,89%
Fevereiro	75,02%	67,58%	87,99%	66,23%	71,84%	65,65%
Março	75,46%	69,34%	65,94%	68,60%	72,23%	61,48%
Abril	74,32%	65,74%	72,52%	68,59%	70,94%	85,58%
Maio	70,52%	67,57%	71,62%	68,92%	72,38%	-
Junho	77,29%	68,88%	74,13%	68,70%	83,54%	-
Julho	78,62%	67,91%	79,21%	71,40%	74,52%	-
Agosto	63,40%	65,88%	85,80%	60,79%	72,78%	-
Setembro	68,11%	75,84%	71,84%	66,76%	76,98%	-
Outubro	66,13%	75,92%	65,94%	74,56%	73,51%	-
Novembro	66,24%	70,93%	60,60%	72,75%	76,09%	-
Dezembro	66,43%	56,26%	62,74%	72,55%	74,73%	-
Anual	<b>71,34%</b>	<b>68,28%</b>	<b>72,92%</b>	<b>69,38%</b>	<b>74,33%</b>	<b>71,15%</b>

Fonte: Autoria própria.

### 3.5.2 Sede Neville

- Fator de Capacidade

A Tabela 11 apresenta os valores referentes ao fator de capacidade da Sede Neville, que foram calculados por meio da Equação 2 e do Gráfico 9.

**Tabela 11 – Fator de capacidade da Sede Neville.**

Fator de Capacidade [%]		
Mês	2016	2017
Janeiro	-	15,86%
Fevereiro	0,71%	18,31%
Março	14,51%	12,35%
Abril	18,10%	11,67%
Maio	10,57%	-
Junho	12,51%	-
Julho	14,58%	-
Agosto	10,22%	-
Setembro	17,21%	-
Outubro	12,90%	-
Novembro	15,77%	-
Dezembro	14,27%	-
Anual	<b>14,13%</b>	<b>14,55%</b>

Fonte: Autoria própria.

Como o sistema entrou em operação no dia 29 de fevereiro de 2016, os meses de janeiro e fevereiro não foram considerados para o cálculo da média anual. Para o ano de 2017, os dados coletados são de janeiro até abril, portanto, a média desse ano é baseada nesses 4 meses de operação.

- Produtividade ou *Yield*

A partir da Equação 3 e dos valores de energia gerada apresentados no Gráfico 9, foi possível calcular a produtividade da Sede Neville representada na Tabela 12.

**Tabela 12 – Produtividade da Sede Neville.**

<b>Produtividade [kWh/kWp]</b>		
<b>Mês</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Janeiro	-	118,02
Fevereiro	4,93	123,01
Março	107,92	91,87
Abril	130,32	84,00
Maio	78,66	-
Junho	90,10	-
Julho	108,45	-
Agosto	76,03	-
Setembro	123,88	-
Outubro	96,00	-
Novembro	113,57	-
Dezembro	106,15	-
Anual	<b>1.237,29</b>	-

Fonte: Autoria própria.

Como o sistema entrou em operação no último dia de fevereiro de 2016, a produtividade desse ano foi calculada através da média dos valores de março a dezembro seguido de uma extrapolação para os 12 meses do ano.

- Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio*

Com os valores de produtividade da Sede Neville apontados na Tabela 12, bem como os de irradiação diária média no local dispostos no Gráfico 5, foi possível calcular a taxa de desempenho do sistema apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 – Taxa de desempenho da Sede Neville.

Taxa de Desempenho [%]		
Mês	2016	2017
Janeiro	-	75,24%
Fevereiro	3,70%	77,89%
Março	76,51%	73,54%
Abril	83,54%	77,56%
Maio	88,72%	-
Junho	100,44%	-
Julho	88,57%	-
Agosto	61,93%	-
Setembro	75,91%	-
Outubro	74,26%	-
Novembro	75,86%	-
Dezembro	72,85%	-
Anual	<b>79,86%</b>	<b>76,06%</b>

Fonte: Autoria própria.

O sistema entrou em operação no final de fevereiro, os meses de janeiro e fevereiro não foram considerados para o cálculo da média anual. Para o ano de 2017, a média é baseada de janeiro até abril.

Observa-se que na análise da taxa de desempenho mensal existe uma limitação do método, visto que o ponto de medição da irradiação difere em alguns quilômetros do ponto da geração do sistema fotovoltaico. Com isso, na análise mês a mês, há momentos em que as taxas de desempenho são elevadas, e momentos onde são baixas. Em termos de análise anual, há uma tendência de uma convergência para um valor mais adequado.

### 3.5.3 Residência

- Fator de Capacidade

A Tabela 14 apresenta os valores referentes ao fator de capacidade da residência, os quais foram calculados por meio da Equação 2 e dos dados de energia gerada do Gráfico 10.

Tabela 14 - Fator de capacidade da residência.

Fator de Capacidade [%]		
Mês	2016	2017
Janeiro	0,91%	16,33%
Fevereiro	16,12%	18,71%
Março	16,07%	13,33%

Tabela 14 (continuação) - Fator de capacidade da residência.

Abril	18,57%	11,86%
Maio	10,84%	-
Junho	13,11%	-
Julho	15,56%	-
Agosto	15,19%	-
Setembro	19,00%	-
Outubro	14,25%	-
Novembro	16,51%	-
Dezembro	15,46%	-
Anual	<b>15,60%</b>	<b>15,06%</b>

Fonte: Autoria própria.

O mês de janeiro não foi considerado para o cálculo da média anual pois o sistema entrou em operação nos últimos dias desse mês. Para o ano de 2017, os dados coletados são de janeiro até abril, portanto, a média desse ano é baseada nesses 4 meses de operação.

- Produtividade ou *Yield*

A partir da Equação 3 e dos valores de energia gerada apresentados no Gráfico 10, foi possível calcular a produtividade da residência representada na Tabela 15.

Tabela 15 – Produtividade da residência.

Produtividade [kWh/kWp]		
Mês	2016	2017
Janeiro	6,8	121,5
Fevereiro	112,17	125,70
Março	119,53	99,20
Abril	133,73	85,37
Maio	80,67	-
Junho	94,37	-
Julho	115,73	-
Agosto	113,03	-
Setembro	136,77	-
Outubro	106,03	-
Novembro	118,90	-
Dezembro	115,03	-
Anual	<b>1.359,24</b>	-

Fonte: Autoria própria.

Como o sistema entrou em operação nos últimos dias de janeiro de 2016, a produtividade desse ano foi calculada através da média dos valores de fevereiro a dezembro seguido de uma extrapolação para os 12 meses do ano.

- Taxa de Desempenho ou *Performance Ratio*

Com os valores de produtividade da residência apontados na Tabela 15, bem como os de irradiação diária média no local dispostos no Gráfico 6, foi possível calcular a taxa de desempenho do sistema apresentada na Tabela 16.

**Tabela 16 – Taxa de desempenho da residência.**

<b>Taxa de Desempenho [%]</b>		
<b>Mês</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Janeiro	4,14%	76,70%
Fevereiro	83,90%	79,04%
Março	84,75%	79,21%
Abril	86,39%	79,04%
Maio	91,30%	-
Junho	106,27%	-
Julho	96,22%	-
Agosto	92,78%	-
Setembro	83,96%	-
Outubro	81,63%	-
Novembro	78,79%	-
Dezembro	78,29%	-
<b>Anual</b>	<b>87,66%</b>	<b>78,50%</b>

Fonte: Autoria própria.

O mês de janeiro não foi considerado para o cálculo da média anual pois o sistema entrou em operação nos últimos dias desse mês. Para o ano de 2017, os dados coletados são de janeiro até abril, portanto, a média desse ano é baseada nesses 4 meses de operação.

Conforme descrito na Tabela 13, a análise mensal da taxa de desempenho da residência também possui limitação, porém, o valor mais importante em questão refere-se a taxa anual.

## 4 ANÁLISE ECONÔMICA

### 4.1 DESCRIÇÃO DO CONSUMO BASE

Para o estudo econômico foi considerado o valor médio anual de consumo de energia elétrica no Bloco V, onde localiza-se o Escritório Verde, na Sede Neville e na residência no período de Abril de 2016 a Março de 2017. Estes valores foram coletados nas faturas mensais da COPEL e estão ilustrados na Tabela 17. No caso da residência, criou-se um cenário de consumo para o SFVCR já instalado de 3 kWp. A mudança de comportamento do consumo nos três casos pode ser visualizada nos Gráficos 11, 12 e 13.

Tabela 17 - Média de Consumo em kWh/mês.

		Bloco V (EV)	Neville	Residência
2016	Abril	2.988	34.853	498
	Maio	2.622	33.125	513
	Junho	2.409	36.320	564
	Julho	2.572	34.301	554
	Agosto	2.506	31.569	491
	Setembro	2.514	37.692	476
	Outubro	2.473	41.404	532
	Novembro	1.971	41.572	497
	Dezembro	1.823	34.145	511
2017	Janeiro	1.591	28.020	423
	Fevereiro	1.753	29.418	458
	Março	2.065	31.980	498
Média Anual		<b>2.274</b>	<b>34.533</b>	<b>501</b>

Fonte: Autoria Própria.

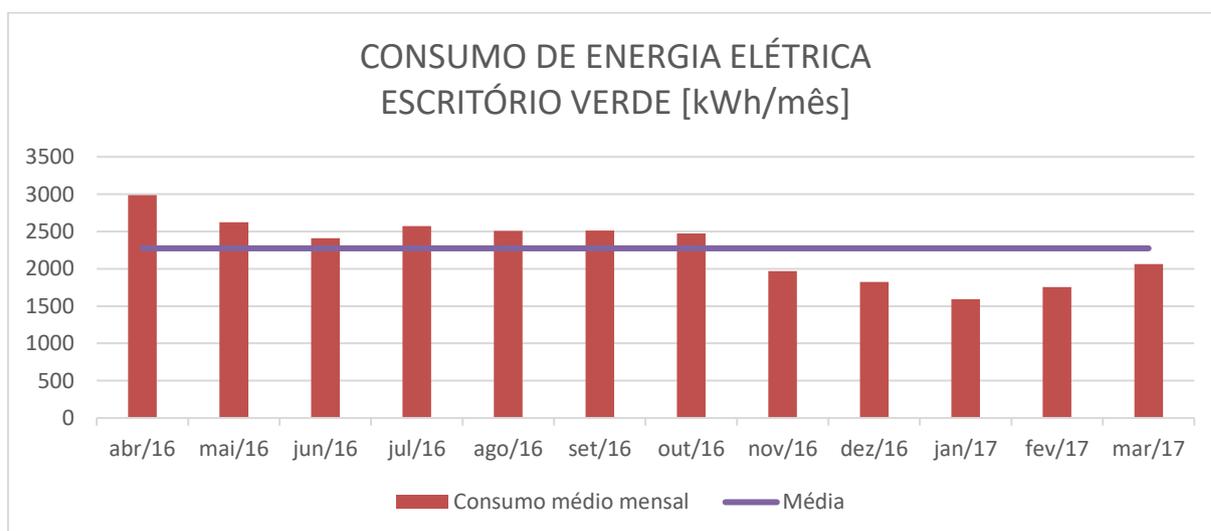
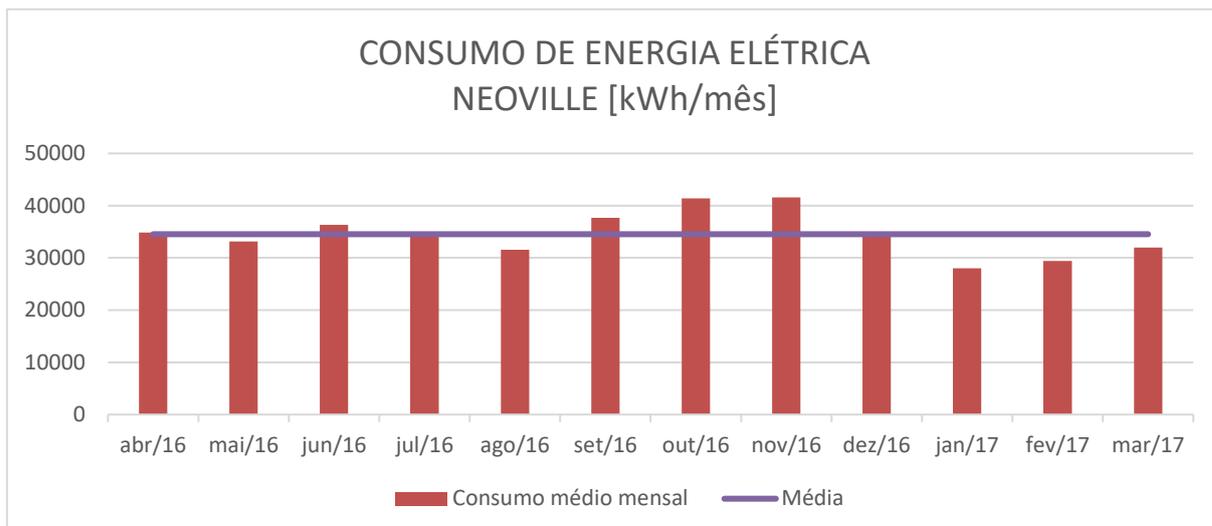
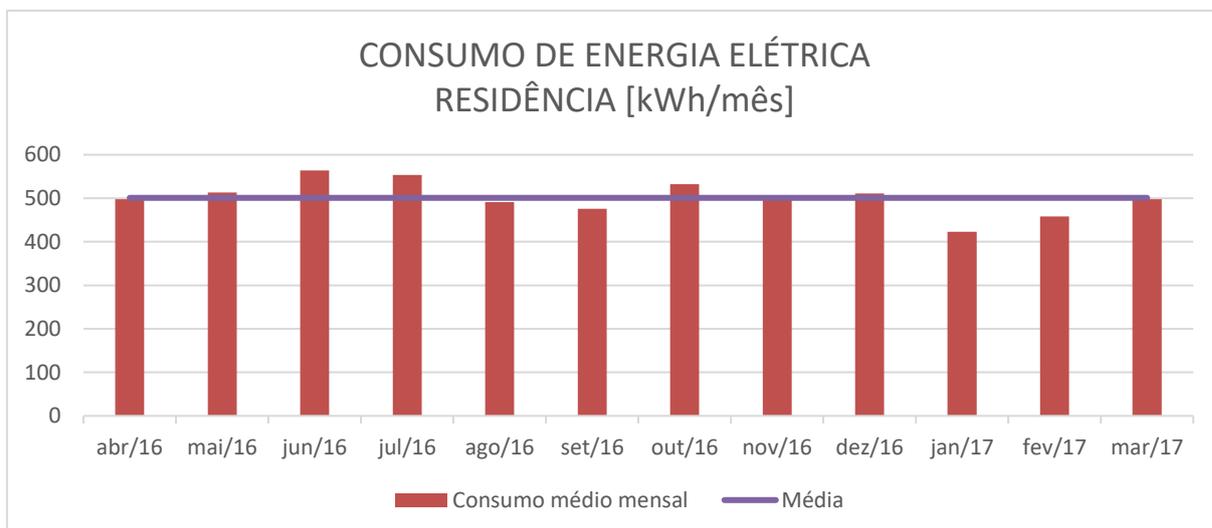


Gráfico 11 – Consumo médio mensal e anual de energia elétrica no Escritório Verde.

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 12 - Consumo médio mensal e anual de energia elétrica na Sede Neville.**  
Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 13 - Consumo médio mensal e anual de energia elétrica na residência.**  
Fonte: Autoria própria.

## 4.2 TIPO DE LIGAÇÃO

As unidades consumidoras Residencial e Bloco V, onde situa-se o Escritório Verde, pertencentes ao Grupo B, ou seja, conectadas em baixa tensão, devem o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais a 100 kWh (trifásico). De forma semelhante para o Neville, consumidor conectado em alta tensão (grupo A), será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada.

### 4.3 VIDA ÚTIL DO PROJETO

Sistemas solares conectados à rede apresentam em média um período de 25 anos de vida útil (SOUZA *et al*, 2016). A perda de eficiência do gerador fotovoltaico é de 0,65% ao ano e recomenda-se a troca do inversor a cada 10 anos (EPE, 2012).

### 4.4 TARIFAS DE ENERGIA

A concessionária de energia especifica os valores das tarifas de energia elétrica, onde estão inclusos os tributos federais (PIS/COFINS) e estadual (ICMS). Para os cenários estudados, foram considerados os dados da COPEL. A arrecadação da iluminação pública é parte constituinte da fatura de energia elétrica, entretanto, esse valor foi desconsiderado nos cálculos por ser uma cobrança com valor baixo em relação ao valor total da conta e impactar minimamente na economia obtida dos sistemas fotovoltaicos instalados.

#### 4.4.1 Tarifa de Energia Elétrica de 2017

O consumidor Residencial e o Escritório Verde têm suas tarifas regidas pelo subgrupo B1, tarifa convencional. O Neville pertence ao subgrupo A4, tarifa horária verde - poder público. As descrições das tarifas encontram-se nas Figuras 14 e 15, respectivamente.

<b>CONVENCIONAL</b>		<b>Resolução ANEEL N° 2.214, de 28 de março de 2017</b>	
<b>Tarifa em R\$/kWh</b>	<b>Resolução ANEEL</b>	<b>com Impostos: ICMS e PIS/COFINS</b>	
<b>B1 - Residencial</b>	<b>0,41613</b>	<b>0,64020</b>	
<b>Vigência em 01/05/2017</b>			

**Figura 14 – Tarifa Convencional – Subgrupo B1.**  
Fonte: COPEL, 2017b.

<b>Horossazonal VERDE</b>	<b>Resolução ANEEL Nº 2.214, de 28 de março de 2017</b>	
<b>A4 (2,3 a 25 kV)</b>		
<b>Tarifas</b>	<b>Resolução ANEEL</b>	<b>com Impostos: ICMS e PIS/COFINS</b>
<b>Demanda (R\$/kW)</b>	<b>10,56</b>	<b>16,24</b>
<b>Demanda Ultrapassagem (R\$/kW)</b>	<b>21,12</b>	<b>32,49</b>
<b>Consumo (R\$/kWh)</b>		
<b>Ponta</b>	<b>1,03178</b>	<b>1,58735</b>
<b>Fora de Ponta</b>	<b>0,27396</b>	<b>0,42147</b>
<b>Vigência em 01/05/2017</b>		

**Figura 15 - Tarifa Horária Verde - Subgrupo A4 - Poder público.**  
**Fonte: COPEL, 2017b.**

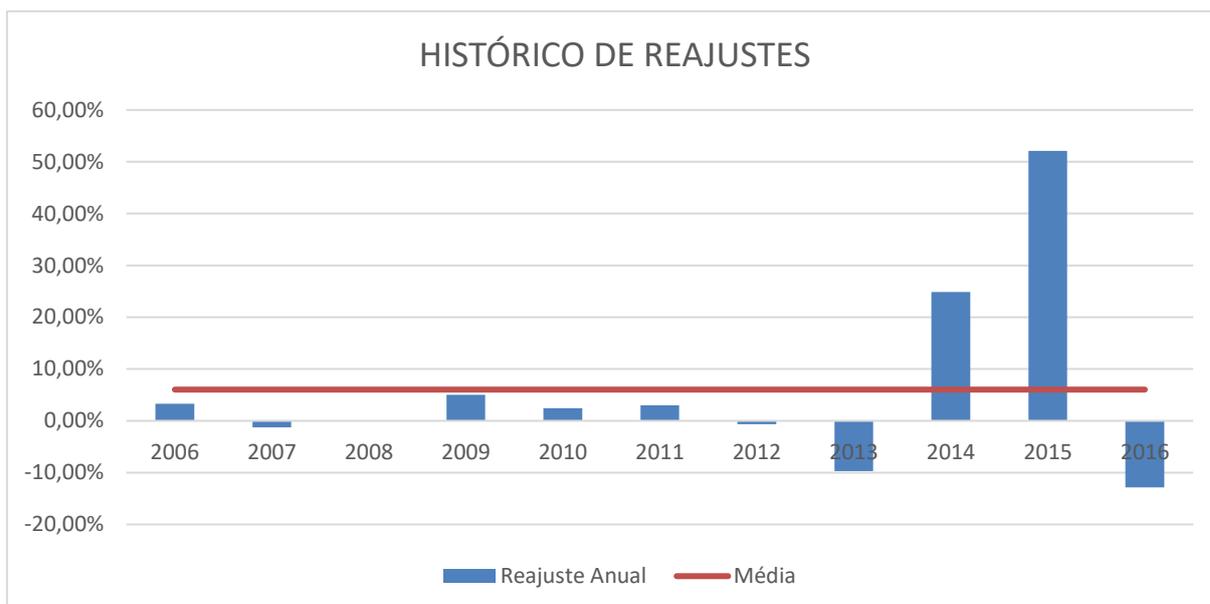
#### 4.4.2 Estimativa da Tarifa de Energia Elétrica para 25 anos

A fim de estimar os valores das tarifas de energia elétrica nos próximos 25 anos foram pesquisados os reajustes anuais de 2006 a 2016 apresentados na Tabela 18 e Gráfico 14. Considerou-se a média desses dados como o valor padrão para a correção da tarifa, ou seja, 6,02% ao ano. Vale ressaltar que em uma economia onde essa percentagem fosse mais elevada, o retorno de investimento seria antecipado.

**Tabela 18 – Reajustes anuais da tarifa elétrica de energia.**

<b>Reajuste médio/ano - COPEL</b>	
<b>Ano</b>	<b>Reajuste</b>
2006	3,30%
2007	-1,27%
2008	0,04%
2009	5,00%
2010	2,46%
2011	2,99%
2012	-0,65%
2013	-9,73%
2014	24,86%
2015	52,11%
2016	-12,87%
<b>Média</b>	<b>6,02%</b>

**Fonte: COPEL, 2017a.**



**Gráfico 14 – Média anual dos reajustes da tarifa elétrica de energia.**

Fonte: COPEL, 2017a.

Analisando o Gráfico 14, é possível perceber que em 2013 as tarifas ficaram mais baratas. Isso se deve a renovação antecipada das concessões nos segmentos de geração e transmissão de energia, além da redução de alguns encargos setoriais. A partir de 2014 houve um expressivo aumento das tarifas decorrente da crise hídrica e do consequente uso das usinas termelétricas, além da adoção de bandeiras tarifárias e da revisão extraordinária das tarifas nas concessionárias distribuidoras em 2015 (DIEESE, 2015).

A projeção da tarifa de energia elétrica para os próximos 25 anos considerando o reajuste de 6,02% ao ano pode ser vista na Tabela 19.

**Tabela 19 – Projeção da tarifa de energia elétrica para os próximos 25 anos.**

Ano	Tarifa Residencial B1 Sem Impostos	Tarifa Residencial B1 com Impostos	Tarifa Horossazonal Verde A4 Fora de Ponta
Ano 1	R\$0,4161	R\$0,6402	R\$0,4215
Ano 2	R\$0,4412	R\$0,6787	R\$0,4468
Ano 3	R\$0,4677	R\$0,7196	R\$0,4737
Ano 4	R\$0,4959	R\$0,7629	R\$0,5023
Ano 5	R\$0,5258	R\$0,8088	R\$0,5325
Ano 6	R\$0,5574	R\$0,8575	R\$0,5646
Ano 7	R\$0,5910	R\$0,9092	R\$0,5985
Ano 8	R\$0,6265	R\$0,9639	R\$0,6346
Ano 9	R\$0,6642	R\$1,0219	R\$0,6728
Ano 10	R\$0,7042	R\$1,0834	R\$0,7133
Ano 11	R\$0,7466	R\$1,1487	R\$0,7562

**Tabela 19 (continuação) - Projeção da tarifa de energia elétrica para os próximos 25 anos.**

Ano 12	R\$0,7916	R\$1,2178	R\$0,8017
Ano 13	R\$0,8392	R\$1,2911	R\$0,8500
Ano 14	R\$0,8898	R\$1,3689	R\$0,9012
Ano 15	R\$0,9433	R\$1,4513	R\$0,9554
Ano 16	R\$1,0001	R\$1,5386	R\$1,0129
Ano 17	R\$1,0603	R\$1,6312	R\$1,0739
Ano 18	R\$1,1241	R\$1,7295	R\$1,1386
Ano 19	R\$1,1918	R\$1,8336	R\$1,2071
Ano 20	R\$1,2636	R\$1,9439	R\$1,2798
Ano 21	R\$1,3396	R\$2,0610	R\$1,3568
Ano 22	R\$1,4203	R\$2,1850	R\$1,4385
Ano 23	R\$1,5058	R\$2,3166	R\$1,5251
Ano 24	R\$1,5964	R\$2,4560	R\$1,6169
Ano 25	R\$1,6925	R\$2,6039	R\$1,7142

Fonte: Autoria própria.

## 4.5 INVESTIMENTOS SFVCR

### 4.5.1 Custos de Implementação do SFVCR

Segundo o Instituto Ideal (2016) o valor médio do *watt-pico* era de R\$8,58 para sistemas de até 5kWp. Conforme o aumento da faixa de potência o preço médio diminui e os custos fixos se mantêm, sendo assim, o preço informado para sistemas de 5kWp a 30kWp era de R\$7,57. Em pesquisas no mercado de instaladores de Curitiba em Abril de 2017, obteve-se os seguintes valores de instalação apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Orçamentos de SFVCRs em Curitiba.**

	<b>2,1kWp</b>	<b>3,0kWp</b>	<b>10,2kWp</b>
Orçamento 1	R\$15.339,00	R\$19.567,29	R\$48.990,00
Orçamento 2	R\$13.323,22	R\$16.406,82	R\$49.504,90
Orçamento 3	R\$13.794,39	R\$19.990,00	R\$56.892,96
Orçamento 4	R\$12.590,00	R\$20.509,00	R\$48.782,64
Média	R\$13.761,65	R\$19.118,28	R\$51.042,63
Valor Wp	<b>R\$6,55</b>	<b>R\$6,37</b>	<b>R\$5,00</b>

Fonte: ENERGYSHOP (2017); H2 ENERGIA (2017); HIROSE (2017); NEOSOLAR (2017)

#### 4.5.2 Custos de Operação e Manutenção

Os gastos com operação e manutenção dos SFVCRs é de 1% ao ano sobre o valor do investimento inicial (EPE, 2012). Esses valores sofrem um reajuste anual com a mesma proporção que a projeção da tarifa de energia elétrica ao longo de 25 anos, ou seja, 6,02% ao ano.

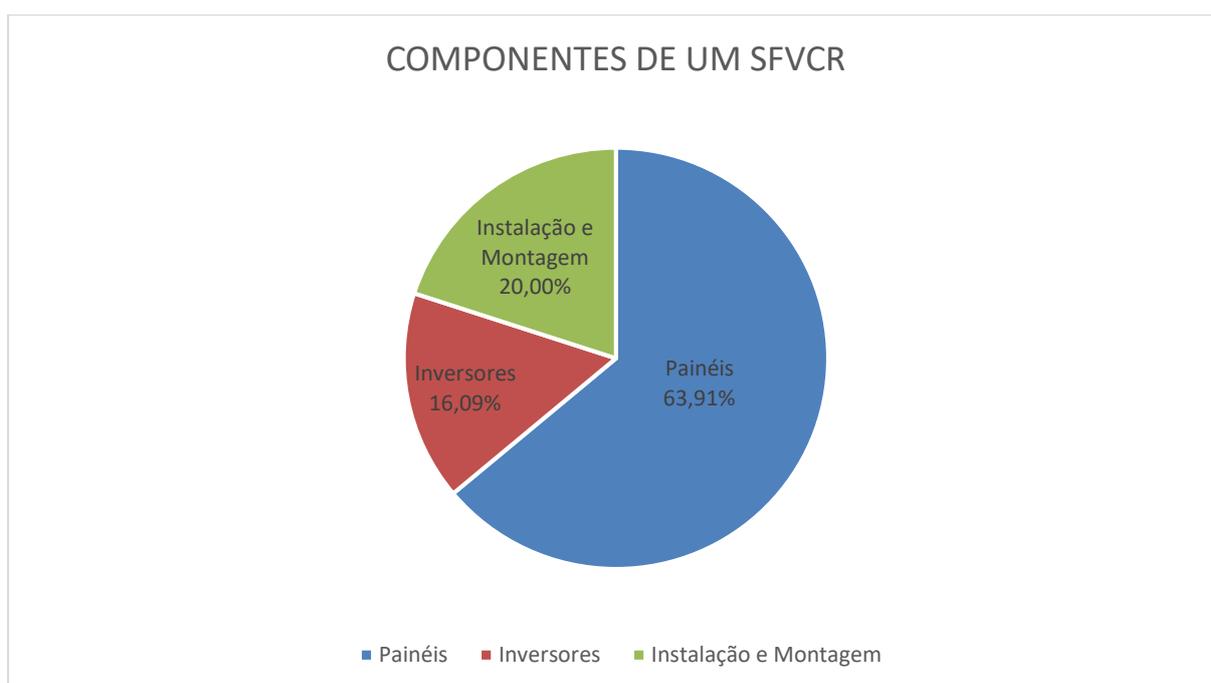
#### 4.5.3 Custos de Reposição do Inversor

Considerando a necessidade da reposição do inversor a cada 10 anos, é preciso um investimento extra para tal substituição. Os preços com impostos para aquisição de inversores à nível internacional estão registrados na Tabela 21 e a distribuição percentual dos mesmos ilustrados no Gráfico 15. O custo do inversor impactará diretamente nos fluxos de caixa dos três cenários estudados no 10<sup>o</sup> e 20<sup>o</sup> anos ao longo dos 25 anos da vida útil do SFVCR.

**Tabela 21 - Custo de investimento em sistemas fotovoltaicos em US\$/kWp.**

Potência	Painéis	Inversores	Instalação e Montagem	Total
Até 10 kWp	2,125	0,535	0,665	3,325

Fonte: Adaptado de EPE, 2012.



**Gráfico 15 – Distribuição percentual dos componentes de um SFVCR.**

Fonte: Adaptado de EPE, 2012.

## 4.6 ANÁLISE DE RETORNO DO INVESTIMENTO

### 4.6.1 Parâmetros de Análise de Investimento do SFVCR

A fim de sumarizar as especificações dos três sistemas analisados, as Tabelas 22, 23 e 24 apresentam os parâmetros utilizados em cada cenário.

**Tabela 22 – Parâmetros de análise do Escritório Verde.**

<b>Escritório Verde</b>	
Custo aproximado do sistema	R\$ 13.761,65
Potência do sistema ser instalado	2,1 kWp
Geração anual média do sistema	208 kWh/mês
Valor da tarifa de energia elétrica com impostos	R\$ 0,6402/kWh
Vida útil do sistema	25 anos
Prazo para troca de inversores	10 anos
Custo para troca de inversores em relação ao custo total do SFVCR	16,09%
Custo de operação e manutenção em relação ao custo total do SFVCR	1% ao ano
Perda de eficiência dos módulos FV	0,65% ao ano

**Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 23 - Parâmetros de análise da Sede Neville.**

<b>Neville</b>	
Custo aproximado do sistema	R\$ 51.042,63
Potência do sistema ser instalado	10,2 kWp
Geração anual média do sistema	1.067,64 kWh/mês
Valor da tarifa de energia elétrica com impostos fora de ponta	R\$ 0,42147/kWh
Vida útil do sistema	25 anos
Prazo para troca de inversores	10 anos
Custo para troca de inversores em relação ao custo total do SFVCR	16,09%
Custo de operação e manutenção em relação ao custo total do SFVCR	1% ao ano
Perda de eficiência dos módulos FV	0,65% ao ano

**Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 24 - Parâmetros de análise da residência.**

<b>Residência</b>	
Custo aproximado do sistema	R\$ 19.118,28
Potência do sistema ser instalado	3 kWp
Geração anual média do sistema	340,16 kWh/mês
Valor da tarifa de energia elétrica com impostos	R\$ 0,6402/kWh
Valor da tarifa de energia elétrica sem impostos	R\$ 0,41613/kWh
Vida útil do sistema	25 anos
Prazo para troca de inversores	10 anos
Custo para troca de inversores em relação ao custo total do SFVCR	16,09%
Custo de operação e manutenção em relação ao custo total do SFVCR	1% ao ano
Perda de eficiência dos módulos FV	0,65% ao ano

**Fonte: Autoria própria.**

Para o cenário residencial foram consideradas duas hipóteses em relação aos impostos. Primeiramente, considerou-se o ICMS nos cálculos de energia compensada no período noturno, sendo esse o atual quadro econômico no Paraná. Posteriormente, essa taxa foi desconsiderada visando a aderência do Paraná ao Convênio ICMS 16/2015 do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ<sup>3</sup>), considerando que 21 estados brasileiros e Distrito Federal já aderiram. Tal convênio tem por objetivo tributar o consumidor pelo ICMS apenas sobre o excedente consumido, fazendo com que a geração distribuída seja mais atrativa (AMBIENTE ENERGIA, 2016).

Para efeitos de análise financeira, foi considerado para o cenário residencial uma distribuição percentual de 30% para o período diurno e 70% para o noturno, representando 150,3 kWh e 350,7 kWh de consumo médio de energia elétrica, respectivamente. Para o Escritório Verde e para a Sede Neville foi considerada uma distribuição de 40% e 60% para o consumo médio de energia elétrica no período diurno e noturno, respectivamente. Toda a energia produzida pelo SFVCR durante o dia é consumida dentro da percentagem estipulada, sem sobrar energia para ser compensada. Portanto, esses cenários são considerados casos ideais e não precisam contar com o desconto do ICMS.

#### 4.6.2 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa apresenta as entradas e saídas de recursos financeiros ao longo dos anos de um investimento. Para cada um dos sistemas analisados foram considerados os valores de geração do SFVCR, consumo de energia durante o dia e a noite, tarifas da COPEL com e sem impostos, custos com manutenção e operação, trocas de inversores e economias geradas pela instalação dos sistemas.

---

<sup>3</sup> Órgão responsável por celebrar convênios para efeito de concessão ou revogação de isenções, incentivos e benefícios fiscais e financeiro do ICMS (CONFAZ, 2017).

### 4.6.3 Payback Simples

#### 4.6.3.1 Escritório Verde

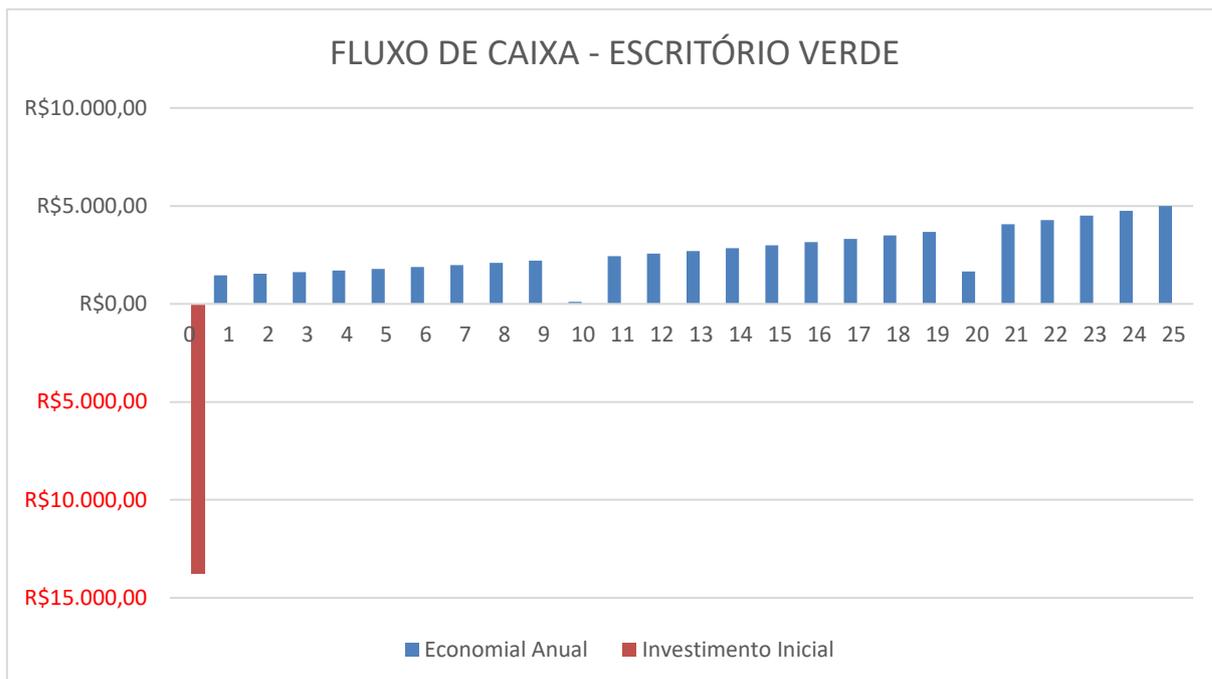
O fluxo de caixa por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para o Escritório Verde podem ser visualizados na Tabela 25 e no Gráfico 16.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 8, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 7.

**Tabela 25 – Fluxo de caixa anual e acumulado para o Escritório Verde.**

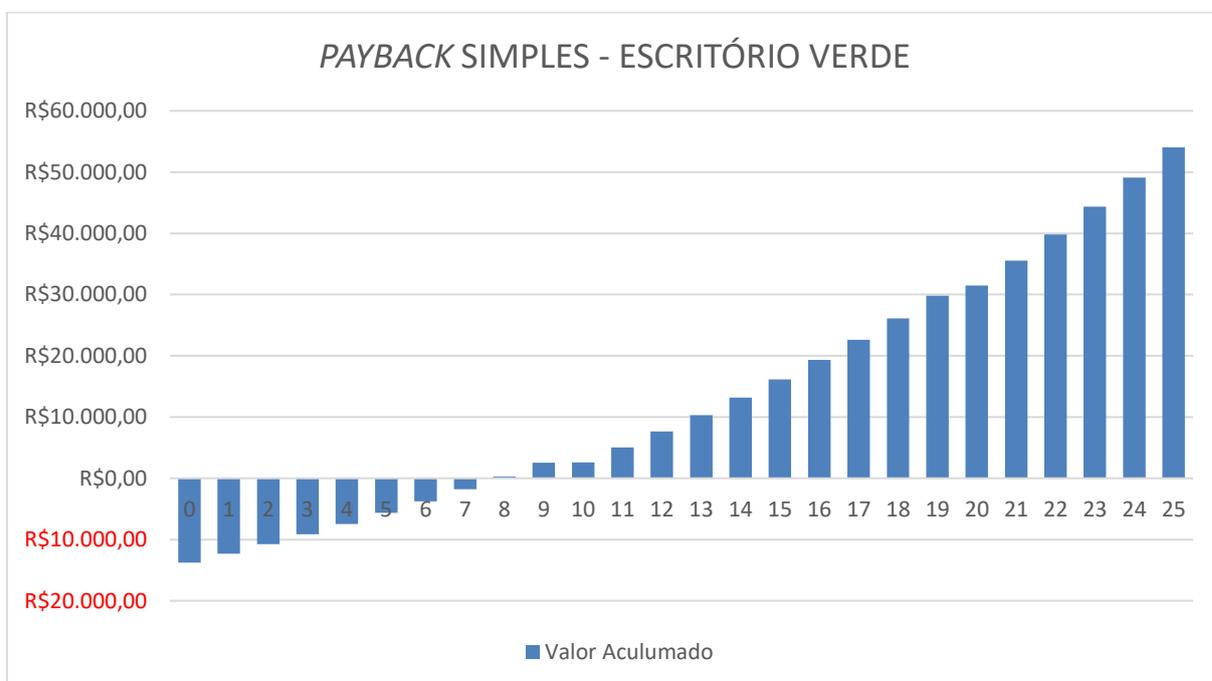
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Acumulado</b>
Ano 0	-R\$13.761,65	-R\$13.761,65
Ano 1	R\$1.460,32	-R\$12.301,33
Ano 2	R\$1.537,22	-R\$10.764,11
Ano 3	R\$1.618,16	-R\$9.145,94
Ano 4	R\$1.703,36	-R\$7.442,58
Ano 5	R\$1.793,03	-R\$5.649,55
Ano 6	R\$1.887,42	-R\$3.762,13
Ano 7	R\$1.986,77	-R\$1.775,36
Ano 8	R\$2.091,33	R\$315,97
Ano 9	R\$2.201,39	R\$2.517,36
Ano 10	R\$102,98	R\$2.620,34
Ano 11	R\$2.439,15	R\$5.059,49
Ano 12	R\$2.567,48	R\$7.626,97
Ano 13	R\$2.702,54	R\$10.329,51
Ano 14	R\$2.844,70	R\$13.174,21
Ano 15	R\$2.994,32	R\$16.168,53
Ano 16	R\$3.151,79	R\$19.320,33
Ano 17	R\$3.317,53	R\$22.637,86
Ano 18	R\$3.491,97	R\$26.129,83
Ano 19	R\$3.675,56	R\$29.805,39
Ano 20	R\$1.654,53	R\$31.459,92
Ano 21	R\$4.072,14	R\$35.532,06
Ano 22	R\$4.286,17	R\$39.818,23
Ano 23	R\$4.511,42	R\$44.329,65
Ano 24	R\$4.748,49	R\$49.078,14
Ano 25	R\$4.997,99	R\$54.076,13

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 16 - Fluxo de caixa anual para o Escritório Verde.**  
 Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 17, pode-se concluir que o *payback* simples para o Escritório Verde ocorre em 7 anos e 11 meses.



**Gráfico 17 – Payback simples para o Escritório Verde.**  
 Fonte: Autoria própria.

## 4.6.3.2 Sede Neville

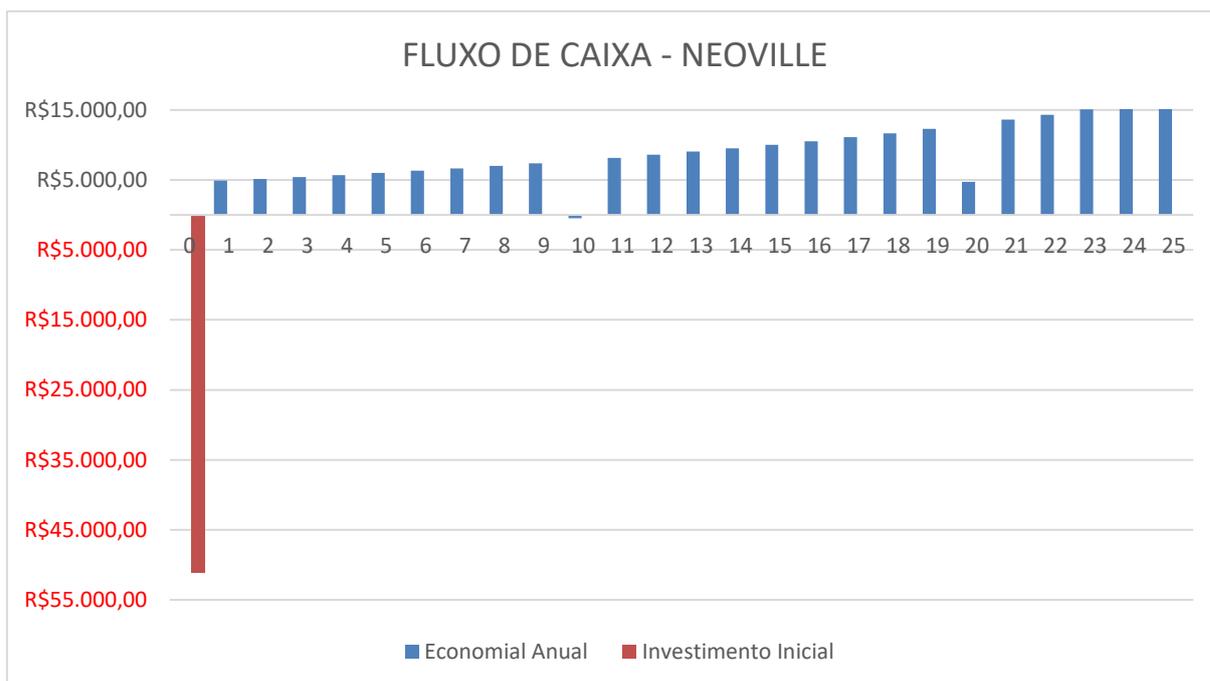
O fluxo de caixa por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para o Neville podem ser visualizados na Tabela 26 e no Gráfico 18.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 9, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 8.

**Tabela 26 - Fluxo de caixa anual e acumulado para a Sede Neville.**

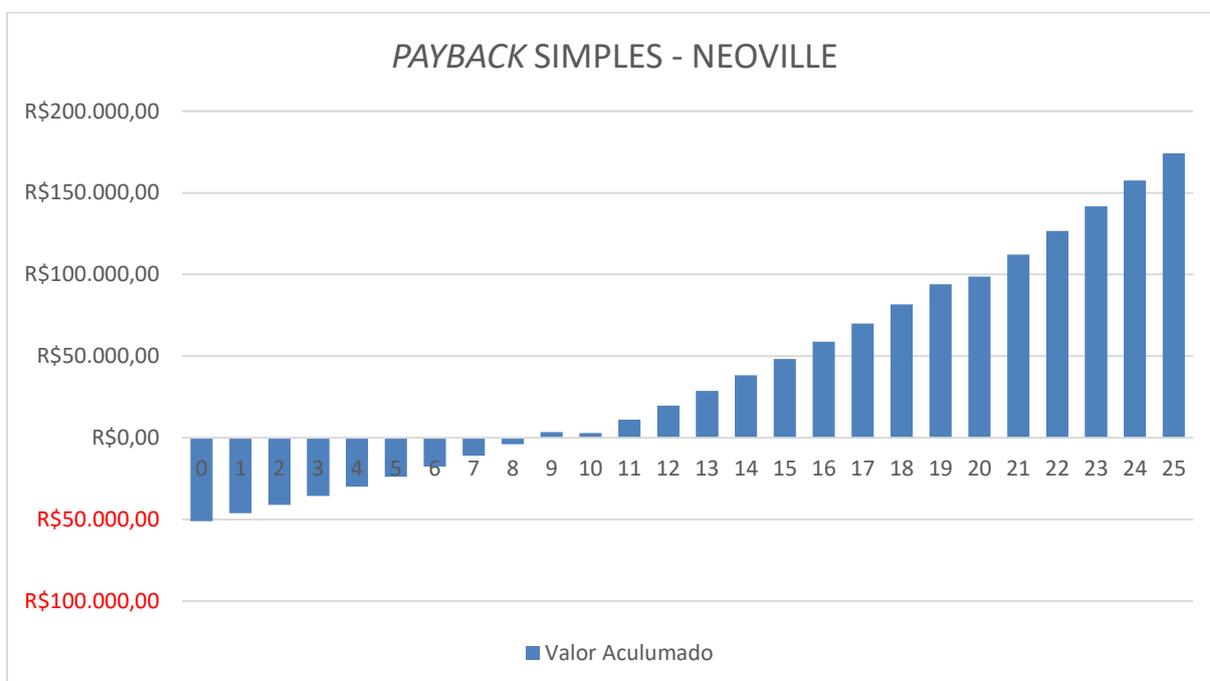
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Acumulado</b>
Ano 0	-R\$51.042,63	-R\$51.042,63
Ano 1	R\$4.889,36	-R\$46.153,27
Ano 2	R\$5.146,48	-R\$41.006,79
Ano 3	R\$5.417,11	-R\$35.589,68
Ano 4	R\$5.701,93	-R\$29.887,75
Ano 5	R\$6.001,70	-R\$23.886,04
Ano 6	R\$6.317,20	-R\$17.568,84
Ano 7	R\$6.649,25	-R\$10.919,59
Ano 8	R\$6.998,72	-R\$3.920,87
Ano 9	R\$7.366,52	R\$3.445,65
Ano 10	-R\$459,16	R\$2.986,50
Ano 11	R\$8.160,98	R\$11.147,48
Ano 12	R\$8.589,72	R\$19.737,20
Ano 13	R\$9.040,94	R\$28.778,14
Ano 14	R\$9.515,81	R\$38.293,95
Ano 15	R\$10.015,56	R\$48.309,51
Ano 16	R\$10.541,50	R\$58.851,02
Ano 17	R\$11.095,00	R\$69.946,02
Ano 18	R\$11.677,50	R\$81.623,52
Ano 19	R\$12.290,51	R\$93.914,03
Ano 20	R\$4.722,87	R\$98.636,90
Ano 21	R\$13.614,53	R\$112.251,43
Ano 22	R\$14.328,98	R\$126.580,41
Ano 23	R\$15.080,83	R\$141.661,25
Ano 24	R\$15.872,04	R\$157.533,29
Ano 25	R\$16.704,67	R\$174.237,96

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 18 - Fluxo de caixa anual para a Sede Neville.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Analisando o Gráfico 19, pode-se concluir que o *payback* simples para a Sede Neville ocorre em 8 anos e 6 meses.



**Gráfico 19 - Payback simples para a Sede Neville.**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.6.3.3 Residência

- Atual quadro econômico do Paraná

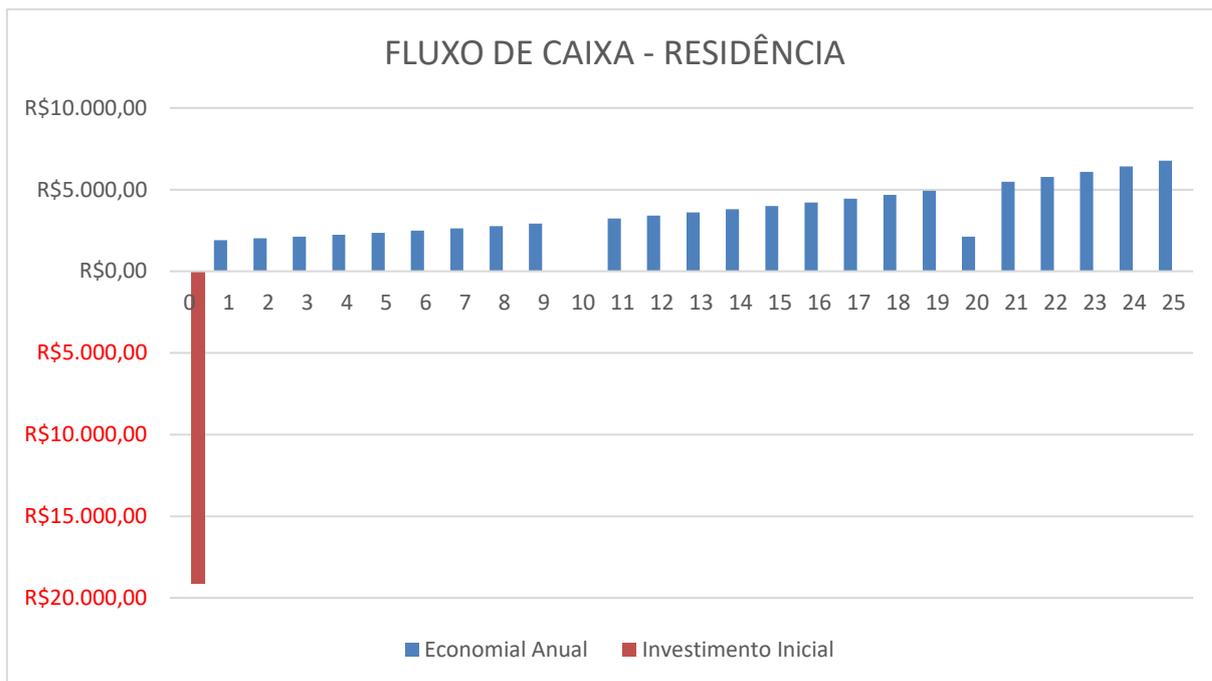
O fluxo de caixa por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para a residência, considerando os impostos, podem ser visualizados na Tabela 27 e no Gráfico 20.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 9, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 8.

**Tabela 27 – Fluxo de caixa anual e acumulado para a residência considerando os impostos.**

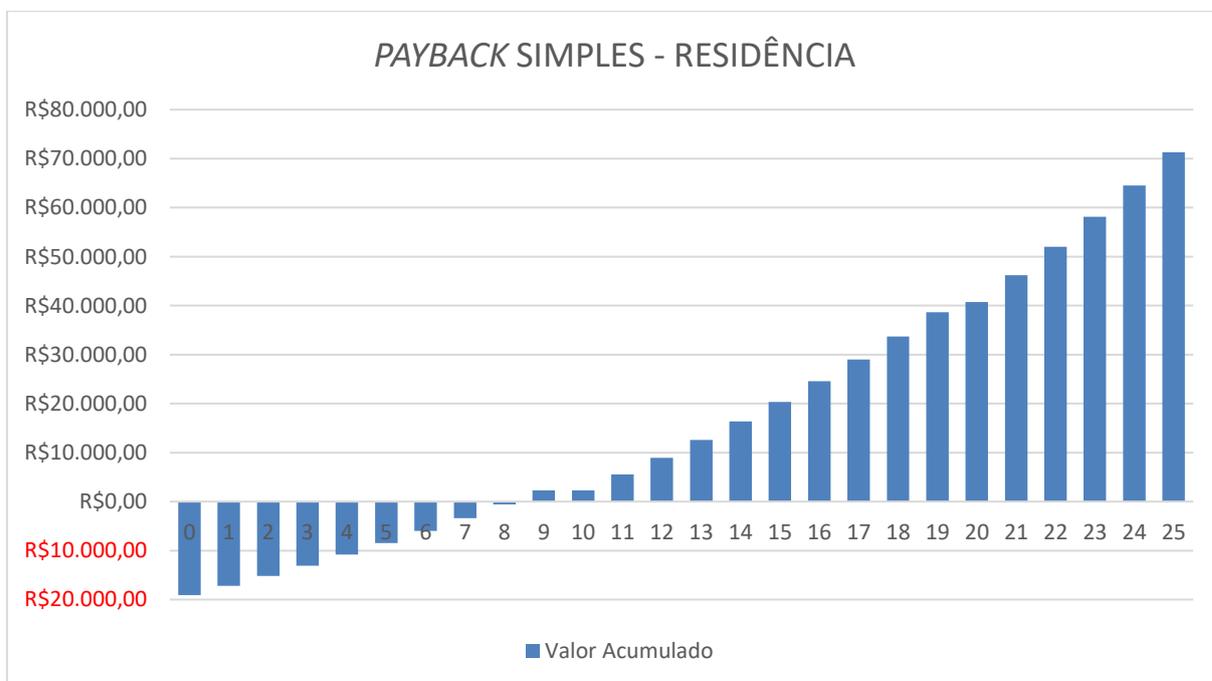
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Acumulado</b>
Ano 0	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$1.911,59	-R\$17.206,68
Ano 2	R\$2.014,96	-R\$15.191,72
Ano 3	R\$2.123,94	-R\$13.067,78
Ano 4	R\$2.238,81	-R\$10.828,98
Ano 5	R\$2.359,91	-R\$8.469,07
Ano 6	R\$2.487,56	-R\$5.981,51
Ano 7	R\$2.622,14	-R\$3.359,37
Ano 8	R\$2.764,01	-R\$595,36
Ano 9	R\$2.913,56	R\$2.318,20
Ano 10	-R\$4,91	R\$2.313,29
Ano 11	R\$3.237,43	R\$5.550,71
Ano 12	R\$3.412,64	R\$8.963,36
Ano 13	R\$3.597,36	R\$12.560,72
Ano 14	R\$3.792,09	R\$16.352,80
Ano 15	R\$3.997,38	R\$20.350,18
Ano 16	R\$4.213,80	R\$24.563,98
Ano 17	R\$4.441,96	R\$29.005,94
Ano 18	R\$4.682,49	R\$33.688,43
Ano 19	R\$4.936,07	R\$38.624,50
Ano 20	R\$2.127,28	R\$40.751,79
Ano 21	R\$5.485,26	R\$46.237,04
Ano 22	R\$5.782,39	R\$52.019,43
Ano 23	R\$6.095,65	R\$58.115,09
Ano 24	R\$6.425,91	R\$64.541,00
Ano 25	R\$6.774,10	R\$71.315,10

**Fonte: Autoria própria.**



**Gráfico 20 - Fluxo de caixa anual para a residência considerando os impostos.**  
**Fonte: Autoria Própria**

Analisando o Gráfico 21, pode-se concluir que o *payback* simples para a residência no atual quadro econômico do Paraná ocorre em 8 anos e 3 meses.



**Gráfico 21 - Payback simples para a residência considerando os impostos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

- Possível convênio ao CONFAZ

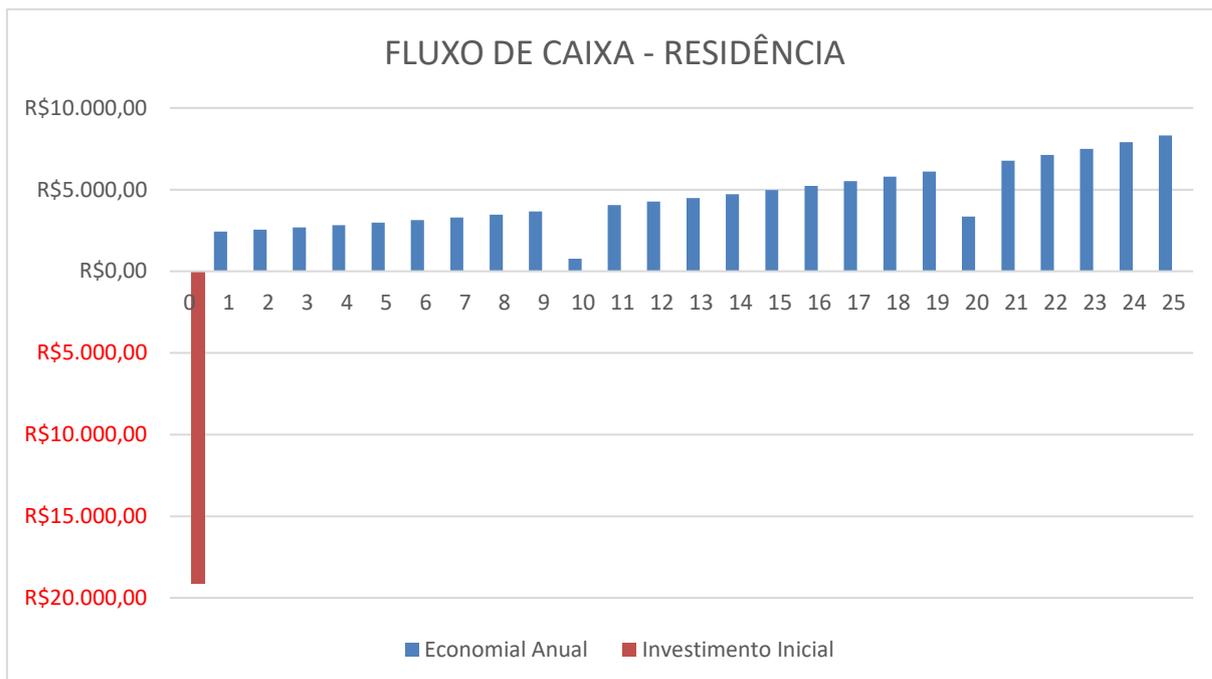
O fluxo de caixa por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para a residência, desconsiderando os impostos, podem ser visualizados na Tabela 28 e no Gráfico 22.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 7, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 6.

**Tabela 28 - Fluxo de caixa anual e acumulado para a residência desconsiderando os impostos.**

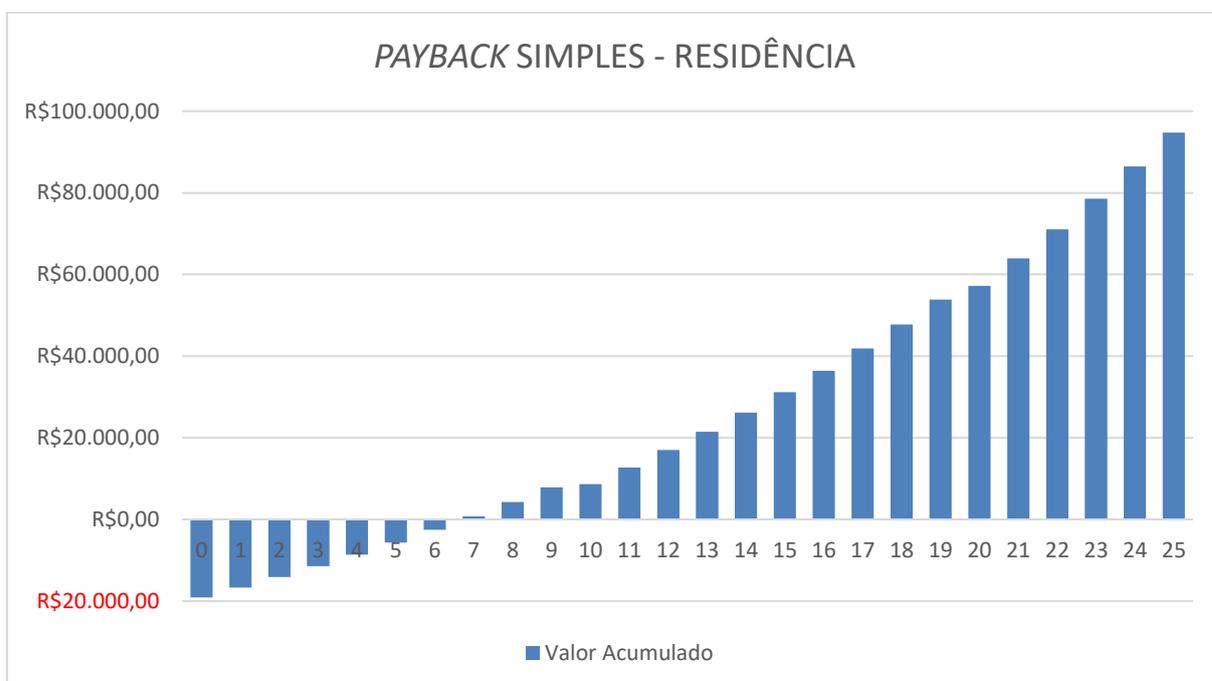
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado
Ano 0	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$2.422,11	-R\$16.696,16
Ano 2	R\$2.549,92	-R\$14.146,25
Ano 3	R\$2.684,45	-R\$11.461,80
Ano 4	R\$2.826,08	-R\$8.635,72
Ano 5	R\$2.975,16	-R\$5.660,56
Ano 6	R\$3.132,10	-R\$2.528,46
Ano 7	R\$3.297,30	R\$768,84
Ano 8	R\$3.471,20	R\$4.240,04
Ano 9	R\$3.654,27	R\$7.894,31
Ano 10	R\$770,84	R\$8.665,14
Ano 11	R\$4.049,81	R\$12.714,96
Ano 12	R\$4.263,34	R\$16.978,30
Ano 13	R\$4.488,11	R\$21.466,41
Ano 14	R\$4.724,71	R\$26.191,11
Ano 15	R\$4.973,76	R\$31.164,87
Ano 16	R\$5.235,91	R\$36.400,78
Ano 17	R\$5.511,87	R\$41.912,65
Ano 18	R\$5.802,34	R\$47.714,99
Ano 19	R\$6.108,10	R\$53.823,09
Ano 20	R\$3.353,81	R\$57.176,90
Ano 21	R\$6.768,71	R\$63.945,61
Ano 22	R\$7.125,30	R\$71.070,91
Ano 23	R\$7.500,64	R\$78.571,55
Ano 24	R\$7.895,73	R\$86.467,28
Ano 25	R\$8.311,58	R\$94.778,86

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 22 – Fluxo de caixa anual para a residência desconsiderando os impostos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

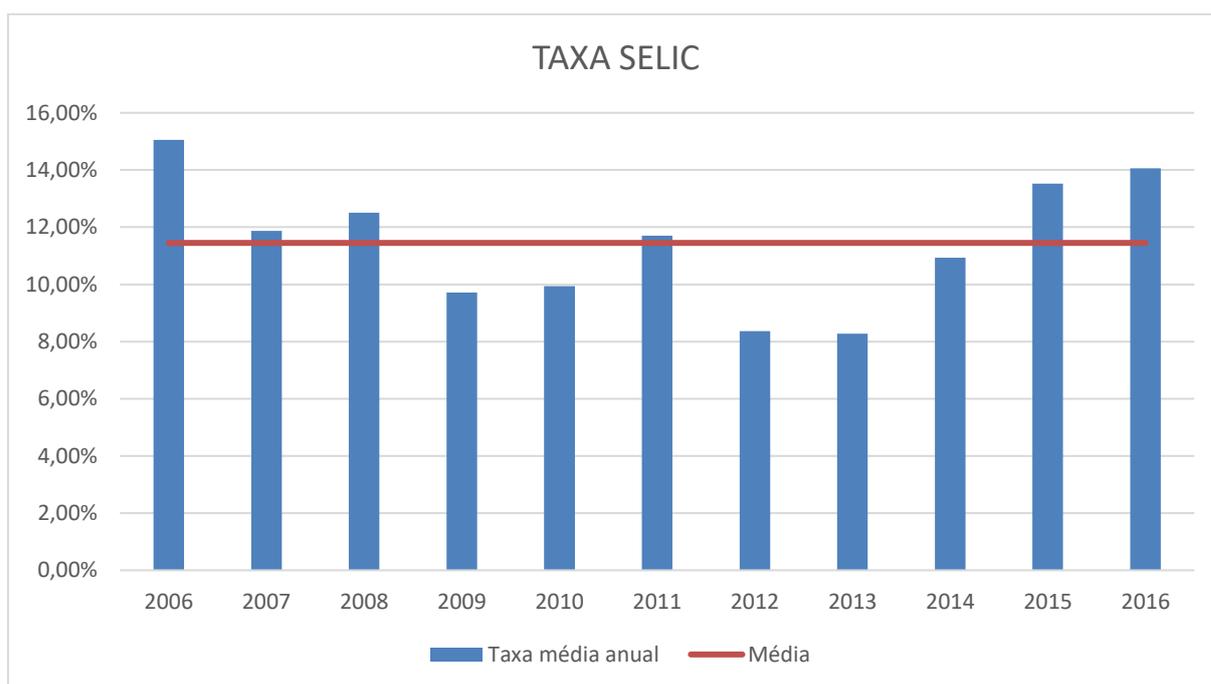
Analisando o Gráfico 23, pode-se concluir que o *payback* simples para a residência em um possível convênio ao CONFAZ ocorre em 6 anos e 10 meses.



**Gráfico 23 – Payback simples para a residência desconsiderando os impostos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

#### 4.6.4 Payback Descontado

Para análise do *payback* descontado é necessário considerar todo o fluxo de caixa no valor presente através da utilização de uma taxa de juros. Considerou-se o valor da média histórica apresentado no Gráfico 24 dos anos de 2006 a 2016 da taxa SELIC como referência nos cálculos.



**Gráfico 24 - Histórico da Taxa SELIC.**

**Fonte: Adaptado de BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017b.**

A valor adotado para a taxa SELIC foi de 11,45%, que corresponde à média dos 11 anos.

#### 4.6.4.1 Escritório Verde

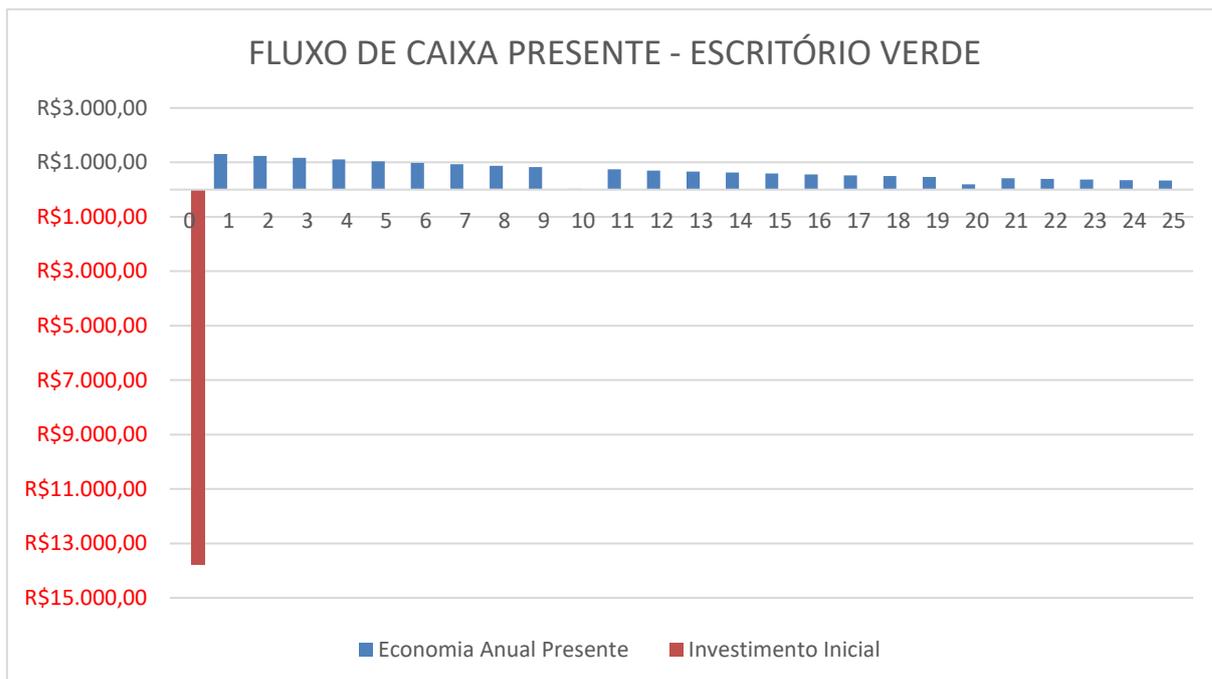
O fluxo de caixa presente por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para o Escritório Verde podem ser visualizados na Tabela 29 e no Gráfico 25.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 17, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 16.

**Tabela 29 - Fluxos de caixa para o Escritório Verde.**

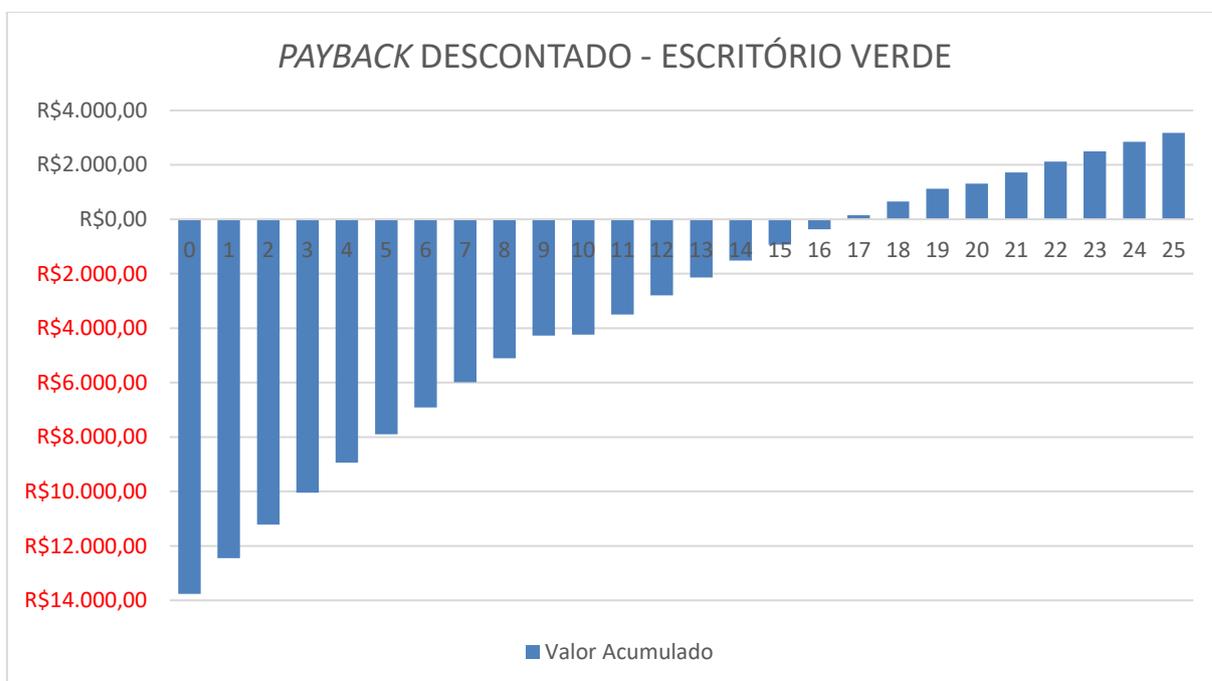
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Presente</b>	<b>Fluxo de Caixa Acumulado</b>
Ano 0	-13.761,65	-13.761,65	-13.761,65
Ano 1	1.460,32	1.310,29	-12.451,36
Ano 2	1.537,22	1.237,59	-11.213,77
Ano 3	1.618,16	1.168,91	-10.044,85
Ano 4	1.703,36	1.104,04	-8.940,81
Ano 5	1.793,03	1.042,77	-7.898,04
Ano 6	1.887,42	984,89	-6.913,15
Ano 7	1.986,77	930,22	-5.982,93
Ano 8	2.091,33	878,58	-5.104,35
Ano 9	2.201,39	829,81	-4.274,54
Ano 10	102,98	34,83	-4.239,71
Ano 11	2.439,15	740,22	-3.499,50
Ano 12	2.567,48	699,11	-2.800,39
Ano 13	2.702,54	660,29	-2.140,10
Ano 14	2.844,70	623,61	-1.516,49
Ano 15	2.994,32	588,98	-927,51
Ano 16	3.151,79	556,26	-371,25
Ano 17	3.317,53	525,36	154,10
Ano 18	3.491,97	496,17	650,27
Ano 19	3.675,56	468,60	1.118,87
Ano 20	1.654,53	189,27	1.308,14
Ano 21	4.072,14	417,97	1.726,10
Ano 22	4.286,17	394,74	2.120,84
Ano 23	4.511,42	372,80	2.493,64
Ano 24	4.748,49	352,07	2.845,71
Ano 25	4.997,99	332,50	3.178,21

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 25 - Fluxo de caixa presente para o Escritório Verde.**  
 Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 26, pode-se concluir que o *payback* descontado para o Escritório Verde ocorre em 16 anos e 9 meses.



**Gráfico 26 - Payback descontado para o Escritório Verde.**  
 Fonte: Autoria própria.

## 4.6.4.2 Sede Neville

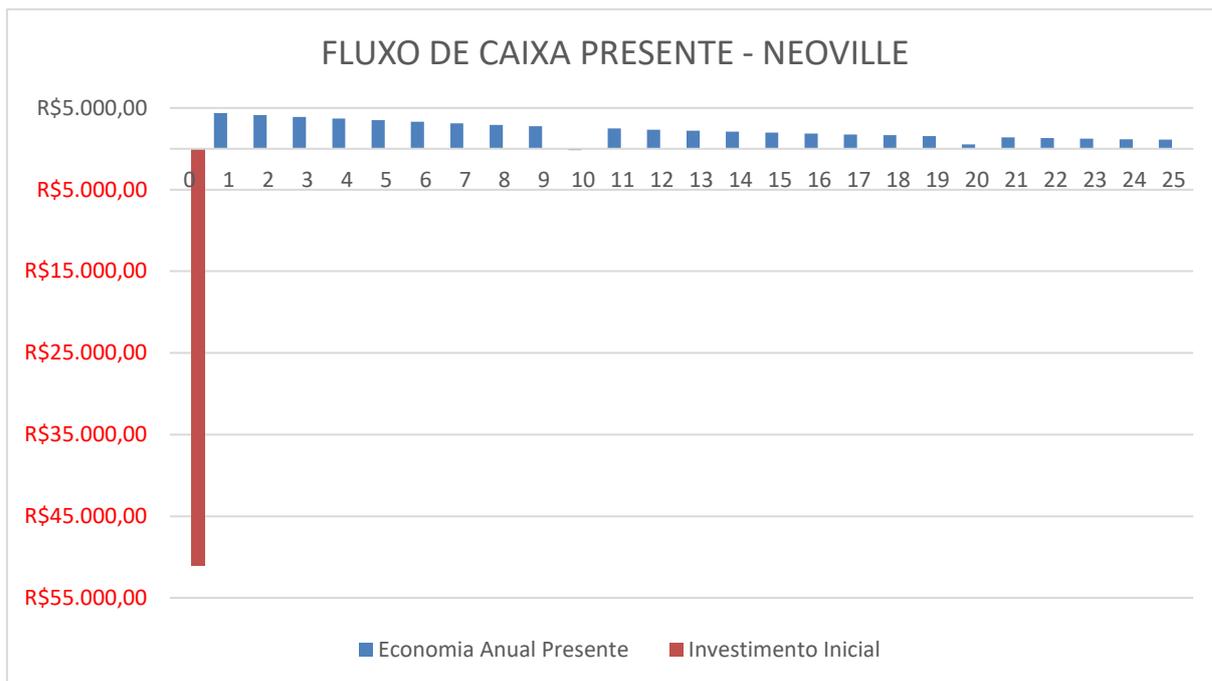
O fluxo de caixa presente por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para o Neville podem ser visualizados na Tabela 30 e no Gráfico 27.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 21, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 20.

**Tabela 30 - Fluxos de caixa para a Sede Neville.**

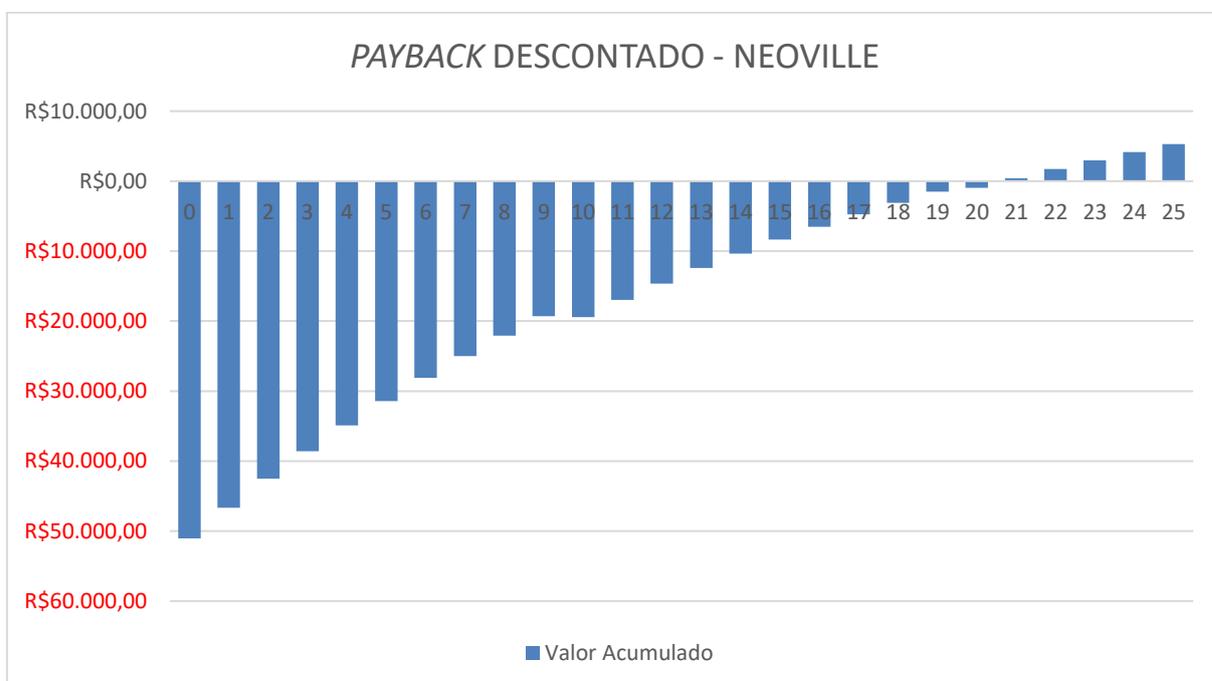
<b>Ano</b>	<b>Fluxo de Caixa</b>	<b>Fluxo de Caixa Presente</b>	<b>Fluxo de Caixa Acumulado</b>
Ano 0	-R\$51.042,63	R\$0,00	-R\$51.042,63
Ano 1	R\$4.889,36	R\$4.387,04	-R\$46.655,59
Ano 2	R\$5.146,48	R\$4.143,34	-R\$42.512,25
Ano 3	R\$5.417,11	R\$3.913,16	-R\$38.599,09
Ano 4	R\$5.701,93	R\$3.695,74	-R\$34.903,35
Ano 5	R\$6.001,70	R\$3.490,39	-R\$31.412,96
Ano 6	R\$6.317,20	R\$3.296,43	-R\$28.116,52
Ano 7	R\$6.649,25	R\$3.113,24	-R\$25.003,28
Ano 8	R\$6.998,72	R\$2.940,21	-R\$22.063,08
Ano 9	R\$7.366,52	R\$2.776,78	-R\$19.286,29
Ano 10	-R\$459,16	-R\$155,30	-R\$19.441,59
Ano 11	R\$8.160,98	R\$2.476,63	-R\$16.964,96
Ano 12	R\$8.589,72	R\$2.338,94	-R\$14.626,02
Ano 13	R\$9.040,94	R\$2.208,88	-R\$12.417,14
Ano 14	R\$9.515,81	R\$2.086,05	-R\$10.331,09
Ano 15	R\$10.015,56	R\$1.970,04	-R\$8.361,05
Ano 16	R\$10.541,50	R\$1.860,46	-R\$6.500,59
Ano 17	R\$11.095,00	R\$1.756,98	-R\$4.743,61
Ano 18	R\$11.677,50	R\$1.659,24	-R\$3.084,37
Ano 19	R\$12.290,51	R\$1.566,93	-R\$1.517,45
Ano 20	R\$4.722,87	R\$540,26	-R\$977,18
Ano 21	R\$13.614,53	R\$1.397,40	R\$420,22
Ano 22	R\$14.328,98	R\$1.319,63	R\$1.739,85
Ano 23	R\$15.080,83	R\$1.246,19	R\$2.986,04
Ano 24	R\$15.872,04	R\$1.176,82	R\$4.162,86
Ano 25	R\$16.704,67	R\$1.111,31	R\$5.274,17

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 27 - Fluxo de caixa presente para a Sede Neville.**  
 Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 28, pode-se concluir que o *payback* descontado para a Sede Neville ocorre em 20 anos e 9 meses.



**Gráfico 28 - Payback descontado para a Sede Neville.**  
 Fonte: Autoria própria.

#### 4.6.4.3 Residência

- Atual quadro econômico do Paraná

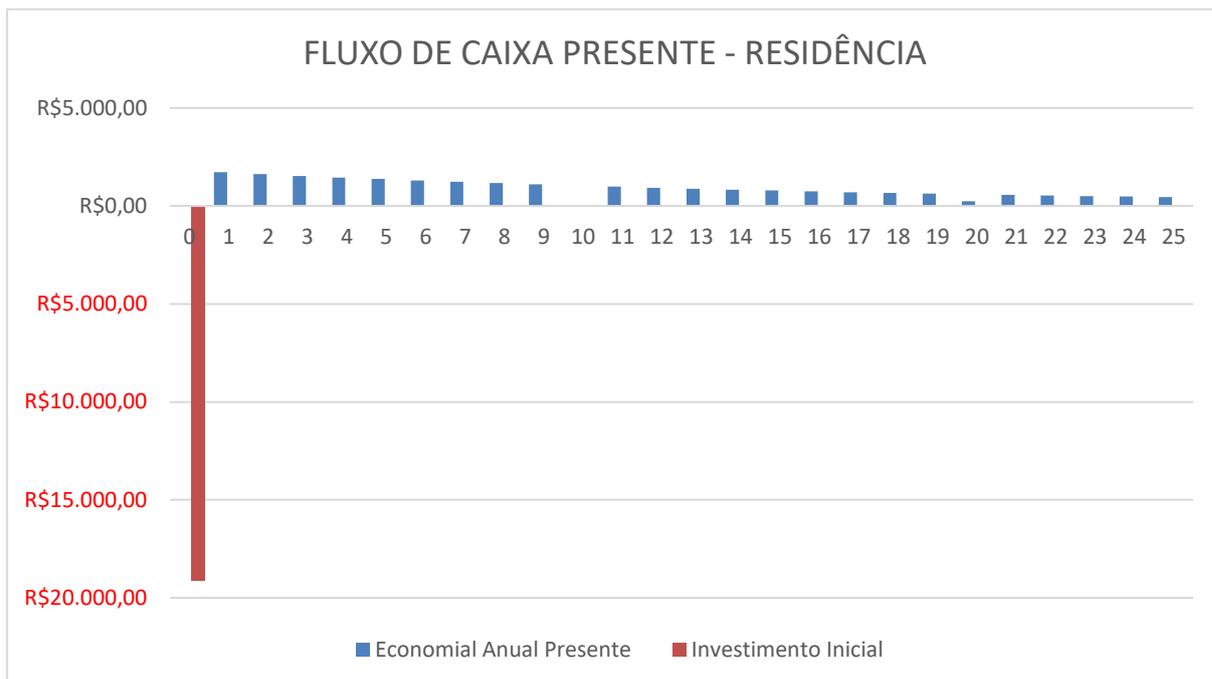
O fluxo de caixa presente por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para a residência, considerando os impostos, podem ser visualizados na Tabela 31 e no Gráfico 29.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 19, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 18.

**Tabela 31 - Fluxos de caixa para a residência considerando os impostos.**

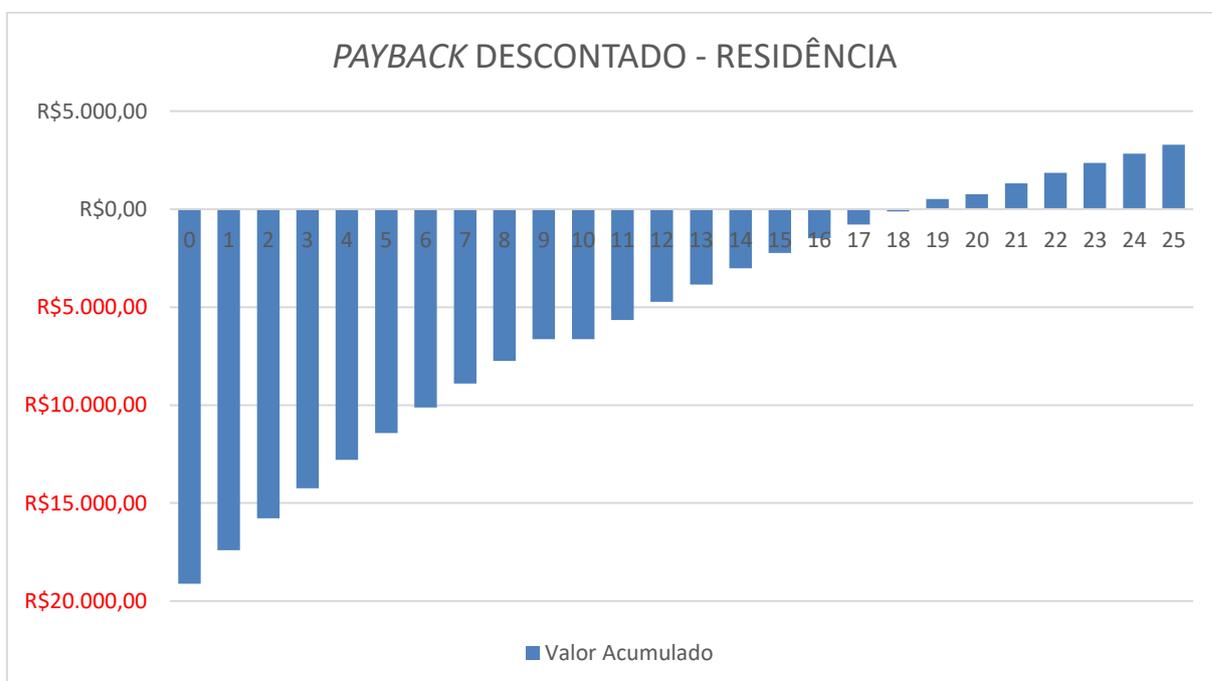
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Presente	Fluxo de Caixa Acumulado
Ano 0	-R\$19.118,28	R\$0,00	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$1.911,59	R\$1.715,20	-R\$17.403,08
Ano 2	R\$2.014,96	R\$1.622,21	-R\$15.780,86
Ano 3	R\$2.123,94	R\$1.534,27	-R\$14.246,60
Ano 4	R\$2.238,81	R\$1.451,10	-R\$12.795,50
Ano 5	R\$2.359,91	R\$1.372,44	-R\$11.423,06
Ano 6	R\$2.487,56	R\$1.298,06	-R\$10.125,00
Ano 7	R\$2.622,14	R\$1.227,71	-R\$8.897,29
Ano 8	R\$2.764,01	R\$1.161,18	-R\$7.736,11
Ano 9	R\$2.913,56	R\$1.098,26	-R\$6.637,86
Ano 10	-R\$4,91	-R\$1,66	-R\$6.639,52
Ano 11	R\$3.237,43	R\$982,47	-R\$5.657,05
Ano 12	R\$3.412,64	R\$929,24	-R\$4.727,81
Ano 13	R\$3.597,36	R\$878,91	-R\$3.848,90
Ano 14	R\$3.792,09	R\$831,30	-R\$3.017,60
Ano 15	R\$3.997,38	R\$786,27	-R\$2.231,33
Ano 16	R\$4.213,80	R\$743,69	-R\$1.487,63
Ano 17	R\$4.441,96	R\$703,42	-R\$784,22
Ano 18	R\$4.682,49	R\$665,33	-R\$118,89
Ano 19	R\$4.936,07	R\$629,30	R\$510,42
Ano 20	R\$2.127,28	R\$243,35	R\$753,76
Ano 21	R\$5.485,26	R\$563,01	R\$1.316,77
Ano 22	R\$5.782,39	R\$532,53	R\$1.849,30
Ano 23	R\$6.095,65	R\$503,71	R\$2.353,01
Ano 24	R\$6.425,91	R\$476,45	R\$2.829,46
Ano 25	R\$6.774,10	R\$450,66	R\$3.280,12

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 29 - Fluxo de caixa presente para a residência considerando os impostos.**  
 Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 30, pode-se concluir que o *payback* descontado para a residência no atual quadro econômico do Paraná ocorre em 18 anos e 2 meses.



**Gráfico 30 - Payback descontado para a residência considerando os impostos.**  
 Fonte: Autoria própria.

- Possível convênio ao CONFAZ

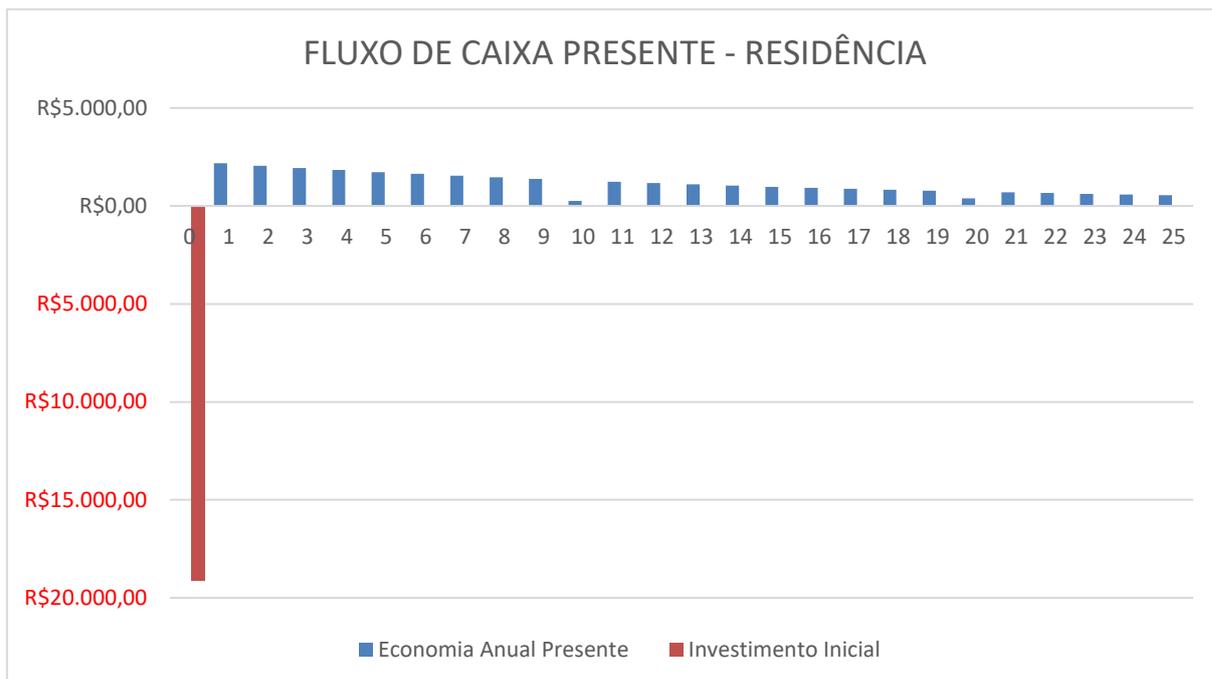
O fluxo de caixa presente por ano e o fluxo de caixa acumulado ao longo de 25 anos para a residência, desconsiderando os impostos, podem ser visualizados na Tabela 32 e no Gráfico 31.

Analisando os valores calculados, é possível perceber que o fluxo de caixa acumulado se torna positivo no ano 13, ou seja, o investimento foi pago durante o ano 12.

**Tabela 32 - Fluxos de caixa para a residência desconsiderando os impostos.**

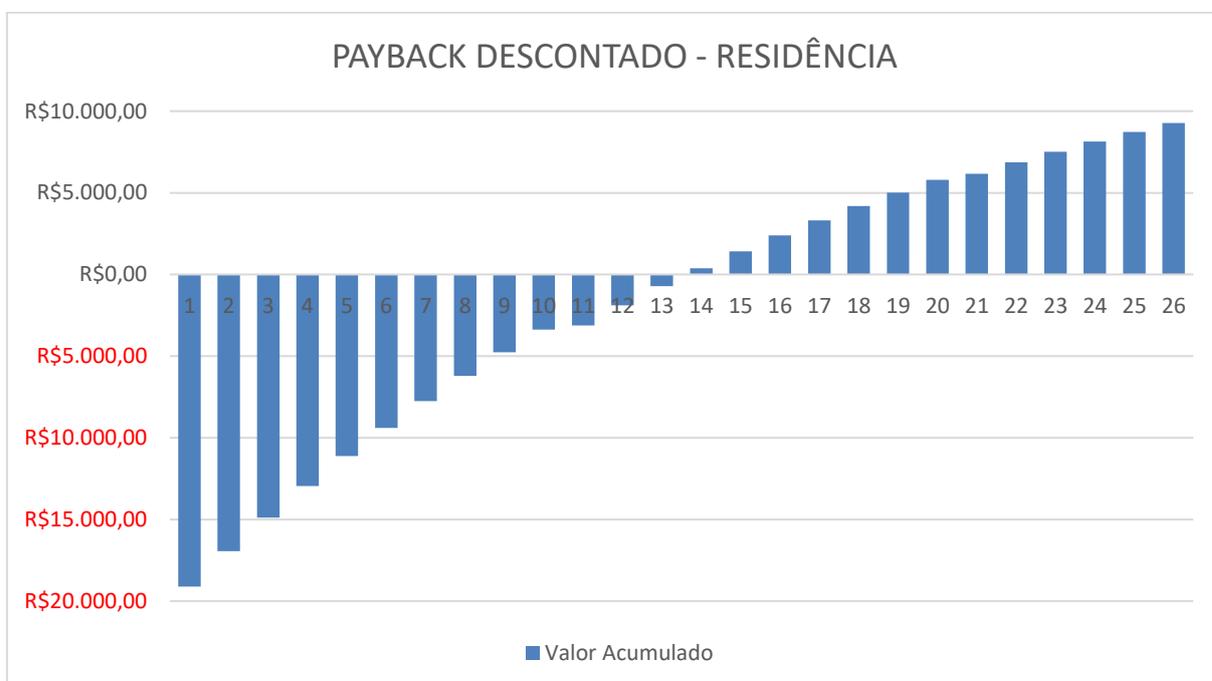
Ano	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Presente	Fluxo de Caixa Acumulado
Ano 0	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$2.422,11	R\$2.173,27	-R\$16.945,00
Ano 2	R\$2.549,92	R\$2.052,89	-R\$14.892,11
Ano 3	R\$2.684,45	R\$1.939,17	-R\$12.952,95
Ano 4	R\$2.826,08	R\$1.831,74	-R\$11.121,21
Ano 5	R\$2.975,16	R\$1.730,25	-R\$9.390,95
Ano 6	R\$3.132,10	R\$1.634,39	-R\$7.756,57
Ano 7	R\$3.297,30	R\$1.543,82	-R\$6.212,74
Ano 8	R\$3.471,20	R\$1.458,28	-R\$4.754,47
Ano 9	R\$3.654,27	R\$1.377,46	-R\$3.377,00
Ano 10	R\$770,84	R\$260,71	-R\$3.116,29
Ano 11	R\$4.049,81	R\$1.229,01	-R\$1.887,29
Ano 12	R\$4.263,34	R\$1.160,88	-R\$726,40
Ano 13	R\$4.488,11	R\$1.096,53	R\$370,13
Ano 14	R\$4.724,71	R\$1.035,75	R\$1.405,88
Ano 15	R\$4.973,76	R\$978,33	R\$2.384,21
Ano 16	R\$5.235,91	R\$924,08	R\$3.308,29
Ano 17	R\$5.511,87	R\$872,85	R\$4.181,14
Ano 18	R\$5.802,34	R\$824,45	R\$5.005,58
Ano 19	R\$6.108,10	R\$778,73	R\$5.784,31
Ano 20	R\$3.353,81	R\$383,65	R\$6.167,96
Ano 21	R\$6.768,71	R\$694,74	R\$6.862,70
Ano 22	R\$7.125,30	R\$656,21	R\$7.518,91
Ano 23	R\$7.500,64	R\$619,81	R\$8.138,72
Ano 24	R\$7.895,73	R\$585,42	R\$8.724,14
Ano 25	R\$8.311,58	R\$552,94	R\$9.277,09

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 31 - Fluxo de caixa presente para a residência desconsiderando os impostos.**  
 Fonte: Autoria própria.

Analisando o Gráfico 32, pode-se concluir que o *payback* descontado para a residência em um possível convênio ao CONFAZ ocorre em 12 anos e 8 meses.



**Gráfico 32 - Payback descontado para a residência desconsiderando os impostos.**  
 Fonte: Autoria própria.

#### 4.6.5 Valor Presente Líquido

Para o cálculo do valor presente líquido, a taxa SELIC considerada foi de 11,25%, a qual está vigente desde 13 de Abril de 2017 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017b). Os VPLs do Escritório Verde, Sede Neville e residência (com e sem impostos) podem ser vistos na Tabela 33.

**Tabela 33 – VPL dos cenários estudados.**

	<b>Escritório Verde</b>	<b>Neville</b>	<b>Residência Cenário Atual</b>	<b>Residência Convênio CONFAZ</b>
Ano 0	-R\$13.761,65	-R\$51.042,63	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$1.460,32	R\$4.889,36	R\$1.911,59	R\$2.422,11
Ano 2	R\$1.537,22	R\$5.146,48	R\$2.014,96	R\$2.549,92
Ano 3	R\$1.618,16	R\$5.417,11	R\$2.123,94	R\$2.684,45
Ano 4	R\$1.703,36	R\$5.701,93	R\$2.238,81	R\$2.826,08
Ano 5	R\$1.793,03	R\$6.001,70	R\$2.359,91	R\$2.975,16
Ano 6	R\$1.887,42	R\$6.317,20	R\$2.487,56	R\$3.132,10
Ano 7	R\$1.986,77	R\$6.649,25	R\$2.622,14	R\$3.297,30
Ano 8	R\$2.091,33	R\$6.998,72	R\$2.764,01	R\$3.471,20
Ano 9	R\$2.201,39	R\$7.366,52	R\$2.913,56	R\$3.654,27
Ano 10	R\$102,98	-R\$459,16	-R\$4,91	R\$770,84
Ano 11	R\$2.439,15	R\$8.160,98	R\$3.237,43	R\$4.049,81
Ano 12	R\$2.567,48	R\$8.589,72	R\$3.412,64	R\$4.263,34
Ano 13	R\$2.702,54	R\$9.040,94	R\$3.597,36	R\$4.488,11
Ano 14	R\$2.844,70	R\$9.515,81	R\$3.792,09	R\$4.724,71
Ano 15	R\$2.994,32	R\$10.015,56	R\$3.997,38	R\$4.973,76
Ano 16	R\$3.151,79	R\$10.541,50	R\$4.213,80	R\$5.235,91
Ano 17	R\$3.317,53	R\$11.095,00	R\$4.441,96	R\$5.511,87
Ano 18	R\$3.491,97	R\$11.677,50	R\$4.682,49	R\$5.802,34
Ano 19	R\$3.675,56	R\$12.290,51	R\$4.936,07	R\$6.108,10
Ano 20	R\$1.654,53	R\$4.722,87	R\$2.127,28	R\$3.353,81
Ano 21	R\$4.072,14	R\$13.614,53	R\$5.485,26	R\$6.768,71
Ano 22	R\$4.286,17	R\$14.328,98	R\$5.782,39	R\$7.125,30
Ano 23	R\$4.511,42	R\$15.080,83	R\$6.095,65	R\$7.500,64
Ano 24	R\$4.748,49	R\$15.872,04	R\$6.425,91	R\$7.895,73
Ano 25	R\$4.997,99	R\$16.704,67	R\$6.774,10	R\$8.311,58
<b>VPL</b>	<b>R\$3.486,06</b>	<b>R\$6.295,57</b>	<b>R\$3.689,83</b>	<b>R\$9.794,65</b>

Fonte: Autoria própria.

Como todos os resultados de valor presente líquido foram positivos, constatou-se que os SFVCRs dos cenários estudados são viáveis.

#### 4.6.6 Taxa Interna de Retorno

A Tabela 34 apresenta os valores das taxas internas de retorno para o Escritório Verde, Sede Neville e residência (com e sem impostos), levando em consideração o investimento inicial e as economias geradas ao longo de 25 anos.

**Tabela 34 – TIR dos cenários estudados.**

	<b>Escritório Verde</b>	<b>Neville</b>	<b>Residência Cenário Atual</b>	<b>Residência Convênio CONFAZ</b>
Ano 0	-R\$13.761,65	-R\$51.042,63	-R\$19.118,28	-R\$19.118,28
Ano 1	R\$1.460,32	R\$4.889,36	R\$1.911,59	R\$2.422,11
Ano 2	R\$1.537,22	R\$5.146,48	R\$2.014,96	R\$2.549,92
Ano 3	R\$1.618,16	R\$5.417,11	R\$2.123,94	R\$2.684,45
Ano 4	R\$1.703,36	R\$5.701,93	R\$2.238,81	R\$2.826,08
Ano 5	R\$1.793,03	R\$6.001,70	R\$2.359,91	R\$2.975,16
Ano 6	R\$1.887,42	R\$6.317,20	R\$2.487,56	R\$3.132,10
Ano 7	R\$1.986,77	R\$6.649,25	R\$2.622,14	R\$3.297,30
Ano 8	R\$2.091,33	R\$6.998,72	R\$2.764,01	R\$3.471,20
Ano 9	R\$2.201,39	R\$7.366,52	R\$2.913,56	R\$3.654,27
Ano 10	R\$102,98	-R\$459,16	-R\$4,91	R\$770,84
Ano 11	R\$2.439,15	R\$8.160,98	R\$3.237,43	R\$4.049,81
Ano 12	R\$2.567,48	R\$8.589,72	R\$3.412,64	R\$4.263,34
Ano 13	R\$2.702,54	R\$9.040,94	R\$3.597,36	R\$4.488,11
Ano 14	R\$2.844,70	R\$9.515,81	R\$3.792,09	R\$4.724,71
Ano 15	R\$2.994,32	R\$10.015,56	R\$3.997,38	R\$4.973,76
Ano 16	R\$3.151,79	R\$10.541,50	R\$4.213,80	R\$5.235,91
Ano 17	R\$3.317,53	R\$11.095,00	R\$4.441,96	R\$5.511,87
Ano 18	R\$3.491,97	R\$11.677,50	R\$4.682,49	R\$5.802,34
Ano 19	R\$3.675,56	R\$12.290,51	R\$4.936,07	R\$6.108,10
Ano 20	R\$1.654,53	R\$4.722,87	R\$2.127,28	R\$3.353,81
Ano 21	R\$4.072,14	R\$13.614,53	R\$5.485,26	R\$6.768,71
Ano 22	R\$4.286,17	R\$14.328,98	R\$5.782,39	R\$7.125,30
Ano 23	R\$4.511,42	R\$15.080,83	R\$6.095,65	R\$7.500,64
Ano 24	R\$4.748,49	R\$15.872,04	R\$6.425,91	R\$7.895,73
Ano 25	R\$4.997,99	R\$16.704,67	R\$6.774,10	R\$8.311,58
<b>TIR</b>	<b>13,92%</b>	<b>12,58%</b>	<b>13,29%</b>	<b>16,45%</b>

Fonte: Autoria própria.

Pode-se constatar que os investimentos puderam ser pagos, tendo em vista que todas as taxas internas de retorno foram maiores do que a taxa utilizada para o cálculo do VPL, 11,25%.

## 4.7 FORMAS DE AQUISIÇÃO PARA INVESTIMENTO INICIAL DO SFVCR

### 4.7.1 Empréstimo financeiro

O empréstimo financeiro é uma opção destinada a pessoas que se interessam em possuir um SFVCR mas não possuem o capital necessário para o investimento inicial.

Esse recurso é um contrato entre o cliente e uma instituição financeira onde o cliente recebe uma quantia de dinheiro que deve ser devolvida em um prazo determinado, acrescido de uma taxa de juros. As instituições financeiras podem estabelecer critérios próprios para conceder empréstimos, não havendo limite para as taxas cobradas. Existe obrigatoriedade por parte das instituições financeiras de informar, antes da contratação, o Custo Efetivo Total (CET), de cada operação de empréstimo (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017a).

O CET deve ser expresso na forma de taxa percentual anual, incluindo todos os encargos e despesas das operações, tais como tarifas e impostos. É possível quitar empréstimos antecipadamente com redução dos juros e as condições para esse adiantamento cabem às instituições. (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017a).

Efetou-se uma consulta junto à Caixa Econômica Federal para o empréstimo pessoal no valor do SFVCR instalado na residência. Obteve-se os valores conforme a Tabela 35.

**Tabela 35 – Simulação de empréstimo CET.**

Valor do Financiamento	R\$19.118,28
Valor das Parcelas	R\$1.243,72
Quantidade de Parcelas	48
Taxa de juros	5,70 % a.m.
Custo Efetivo Total	99,68% a.a.
Valor Final	R\$59.698,56

**Fonte: Caixa Econômica Federal.**

## 4.8 APLICAÇÃO DOS CAPITAIS

### 4.8.1 Aplicação do Saldo Economizado na Poupança após Instalação do SFVCR

A conta poupança em 2016 foi o rendimento preferido de 76% dos brasileiros

que economizaram dinheiro. Essa preferência é devida ao fato da facilidade do investimento e pela aplicação não estar sujeita a cobrança de Imposto de Renda (ECONOMIA UOL, 2017).

A remuneração dos depósitos da poupança é definida pelo Banco Central do Brasil de acordo com a legislação atual<sup>4</sup> e é composta por duas parcelas:

- I. a remuneração básica, dada pela Taxa Referencial - TR, e
- II. a remuneração adicional, correspondente a:
  - a. 0,5% ao mês, enquanto a meta da taxa SELIC ao ano for superior a 8,5%; ou
  - b. % da meta da taxa SELIC ao ano, mensalizada, vigente na data de início do período de rendimento, enquanto a meta da taxa SELIC ao ano for igual ou inferior a 8,5% (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017c).

Para cálculo de rendimentos, fez-se a média da remuneração básica da poupança dos anos de 2006 a 2016, conforme a Tabela 36.

**Tabela 36 –Reajuste anual da poupança.**

Ano	Reajuste
2006	8,41
2007	7,80
2008	7,74
2009	7,09
2010	6,81
2011	7,50
2012	6,58
2013	6,32
2014	7,02
2015	7,94
2016	8,35
Média	<b>7,41</b>

Fonte: Adaptado de PORTAL BRASIL, 2017.

A média obtida foi utilizada como taxa padrão de rendimento para os próximos 25 anos. A aplicação do saldo economizado na poupança foi feita ano a ano.

<sup>4</sup> Art. 12 da Lei nº 8.177, de 1º de março de 1991, com a redação dada pela Medida Provisória nº 567, de 3 de maio de 2012, e art. 7º da Lei nº 8.660, de 28 de maio de 1993 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2017c).

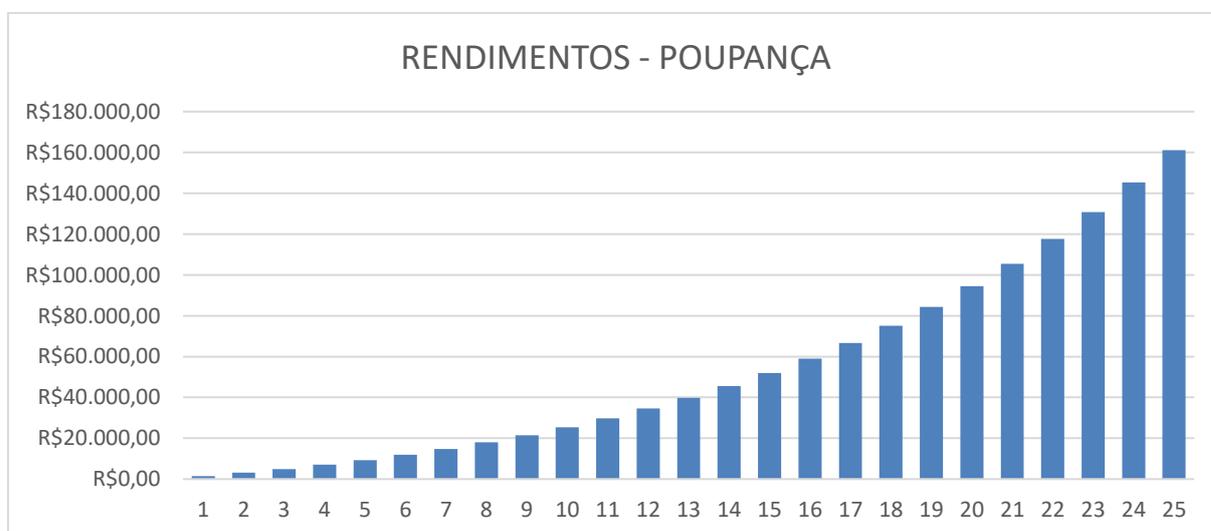
#### 4.8.1.1 Escritório Verde

O valor economizado acumulado ano a ano do Escritório Verde pode ser visto na Tabela 37 e visualizado no Gráfico 33.

**Tabela 37 – Economia acumulada ano a ano do EV.**

	<b>Economia Acumulada Ano a Ano</b>
Ano 1	R\$1.460,32
Ano 2	R\$3.105,81
Ano 3	R\$4.954,25
Ano 4	R\$7.024,92
Ano 5	R\$9.338,79
Ano 6	R\$11.918,60
Ano 7	R\$14.789,03
Ano 8	R\$17.976,83
Ano 9	R\$21.511,05
Ano 10	R\$25.423,13
Ano 11	R\$29.747,18
Ano 12	R\$34.520,15
Ano 13	R\$39.782,06
Ano 14	R\$45.576,25
Ano 15	R\$51.949,65
Ano 16	R\$58.953,05
Ano 17	R\$66.641,43
Ano 18	R\$75.074,27
Ano 19	R\$84.315,93
Ano 20	R\$94.435,99
Ano 21	R\$105.509,73
Ano 22	R\$117.618,51
Ano 23	R\$130.850,31
Ano 24	R\$145.300,20
Ano 25	<b>R\$161.070,92</b>

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 33 – Rendimento na poupança referente ao EV.**

Fonte: Autoria própria.

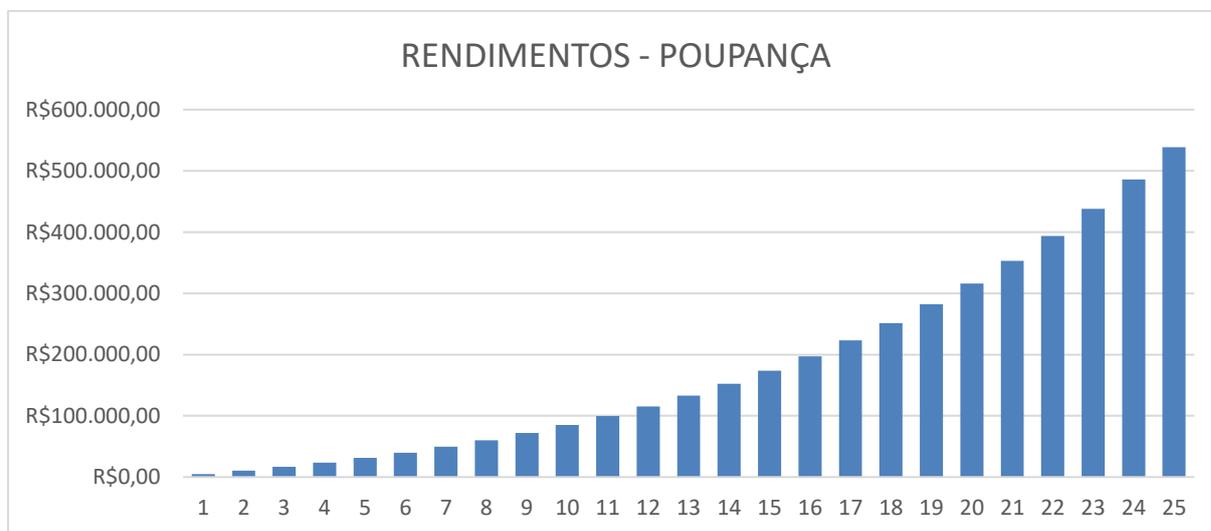
## 4.8.1.2 Neville

O valor economizado acumulado ano a ano da Sede Neville pode ser visto na Tabela 38 e visualizado no Gráfico 34.

**Tabela 38 - Economia acumulada ano a ano do Neville.**

	<b>Economia Acumulada Ano a Ano</b>
Ano 1	R\$4.889,36
Ano 2	R\$10.398,34
Ano 3	R\$16.586,40
Ano 4	R\$23.518,07
Ano 5	R\$31.263,43
Ano 6	R\$39.898,54
Ano 7	R\$49.505,92
Ano 8	R\$60.175,07
Ano 9	R\$72.003,03
Ano 10	R\$85.095,03
Ano 11	R\$99.565,06
Ano 12	R\$115.536,65
Ano 13	R\$133.143,61
Ano 14	R\$152.530,85
Ano 15	R\$173.855,23
Ano 16	R\$197.286,56
Ano 17	R\$223.008,62
Ano 18	R\$251.220,25
Ano 19	R\$282.136,53
Ano 20	R\$315.990,09
Ano 21	R\$353.032,50
Ano 22	R\$393.535,73
Ano 23	R\$437.793,76
Ano 24	R\$486.124,35
Ano 25	<b>R\$538.870,85</b>

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 34 - Rendimento na poupança referente ao Neville.**

Fonte: Autoria própria.

#### 4.8.1.3 Residencial

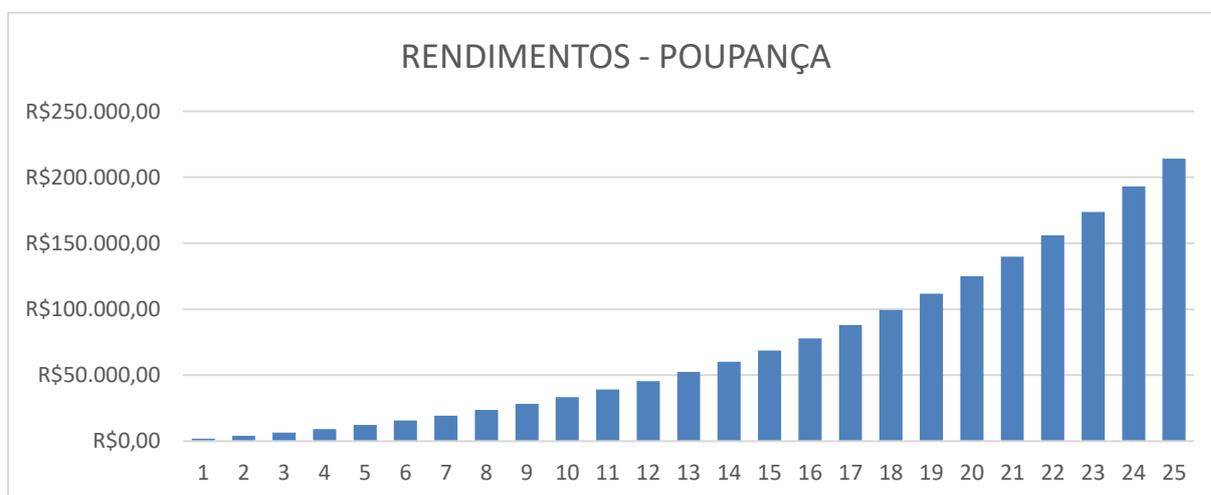
- Atual quadro econômico do Paraná

O valor economizado acumulado ano a ano da residência, considerando os impostos, pode ser visto na Tabela 39 e visualizado no Gráfico 35.

**Tabela 39 - Economia acumulada ano a ano da residência considerando os impostos.**

	<b>Economia Acumulada Ano a Ano</b>
Ano 1	R\$1.911,59
Ano 2	R\$4.068,28
Ano 3	R\$6.493,85
Ano 4	R\$9.214,12
Ano 5	R\$12.257,17
Ano 6	R\$15.653,50
Ano 7	R\$19.436,20
Ano 8	R\$23.641,23
Ano 9	R\$28.307,58
Ano 10	R\$33.477,56
Ano 11	R\$39.197,05
Ano 12	R\$45.515,81
Ano 13	R\$52.487,76
Ano 14	R\$60.171,35
Ano 15	R\$68.629,91
Ano 16	R\$77.932,01
Ano 17	R\$88.151,94
Ano 18	R\$99.370,12
Ano 19	R\$111.673,61
Ano 20	R\$125.156,64
Ano 21	R\$139.921,15
Ano 22	R\$156.077,47
Ano 23	R\$173.744,89
Ano 24	R\$193.052,45
Ano 25	<b>R\$214.139,69</b>

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 35 - Rendimento na poupança referente à residência considerando os impostos.**

Fonte: Autoria própria.

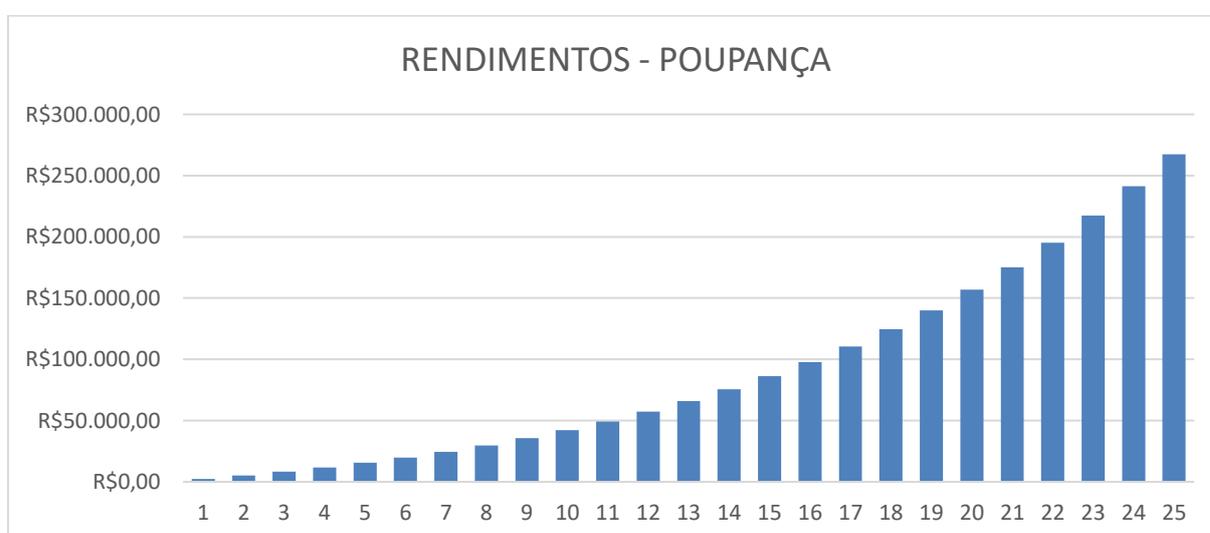
- Possível convênio ao CONFAZ

O valor economizado acumulado ano a ano da residência, desconsiderando os impostos, pode ser visto na Tabela 40 e visualizado no Gráfico 36.

**Tabela 40 - Economia acumulada ano a ano da residência desconsiderando os impostos.**

	<b>Economia Acumulada Ano a Ano</b>
Ano 1	R\$2.422,11
Ano 2	R\$5.151,61
Ano 3	R\$8.218,01
Ano 4	R\$11.653,37
Ano 5	R\$15.492,53
Ano 6	R\$19.773,26
Ano 7	R\$24.536,57
Ano 8	R\$29.826,95
Ano 9	R\$35.692,62
Ano 10	R\$42.185,88
Ano 11	R\$49.363,40
Ano 12	R\$57.286,61
Ano 13	R\$66.022,01
Ano 14	R\$75.641,67
Ano 15	R\$86.223,59
Ano 16	R\$97.852,22
Ano 17	R\$110.618,97
Ano 18	R\$124.622,73
Ano 19	R\$139.970,50
Ano 20	R\$156.778,02
Ano 21	R\$175.170,44
Ano 22	R\$195.283,08
Ano 23	R\$217.262,24
Ano 24	R\$241.266,05
Ano 25	<b>R\$267.465,38</b>

Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 36 - Rendimento na poupança referente à residência desconsiderando os impostos.**

Fonte: Autoria própria.

## 5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho de conclusão de curso, a partir da metodologia apresentada, permitiu que os objetivos propostos fossem atingidos de forma satisfatória, viabilizando a análise dos sistemas estudados.

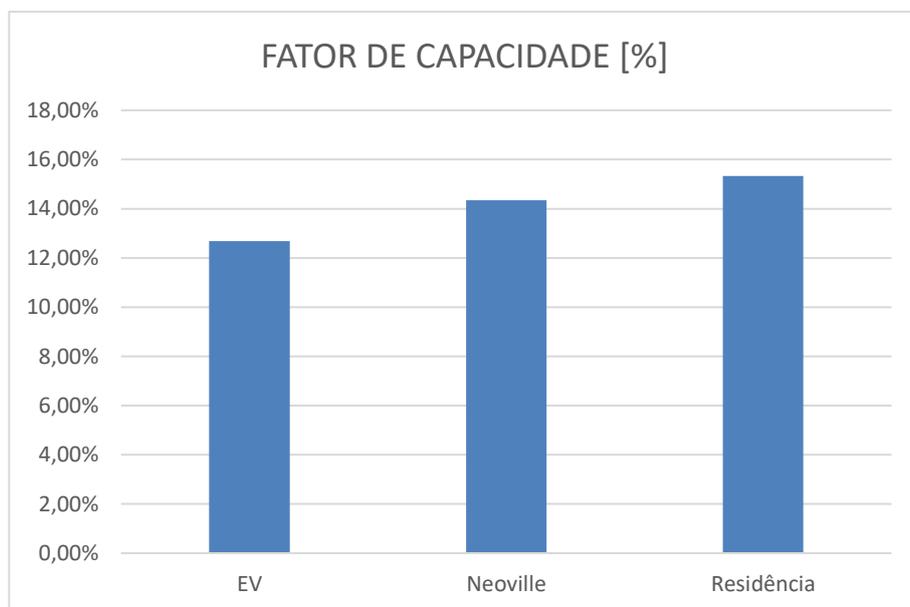
Os SFVCRs podem ser amplamente instalados em edificações sendo uma opção para produzir eletricidade, como geração distribuída, contribuindo com o aumento da disponibilidade de eletricidade no Brasil. Apesar de ser considerado um investimento de alto custo, a economia à longo prazo pode tornar-se vantajosa ao consumidor que instala o SFVCR devido ao sistema de compensação de energia elétrica. De acordo com a Resolução Normativa n. 482 da ANEEL que abrangeu a resolução anterior n. 687, fica estabelecido que o excedente de energia gerado pelas unidades consumidoras com microgeração ou minigeração é injetado na rede da distribuidora, gerando assim créditos em energia (kWh) nas próximas faturas.

A fim de acompanhar a evolução da energia fotovoltaica gerada a partir dos SFVCRs em Curitiba, tem-se o potencial instalado de 856,64kWp, onde o Escritório Verde da UTFPR foi o primeiro sistema implantado em Curitiba.

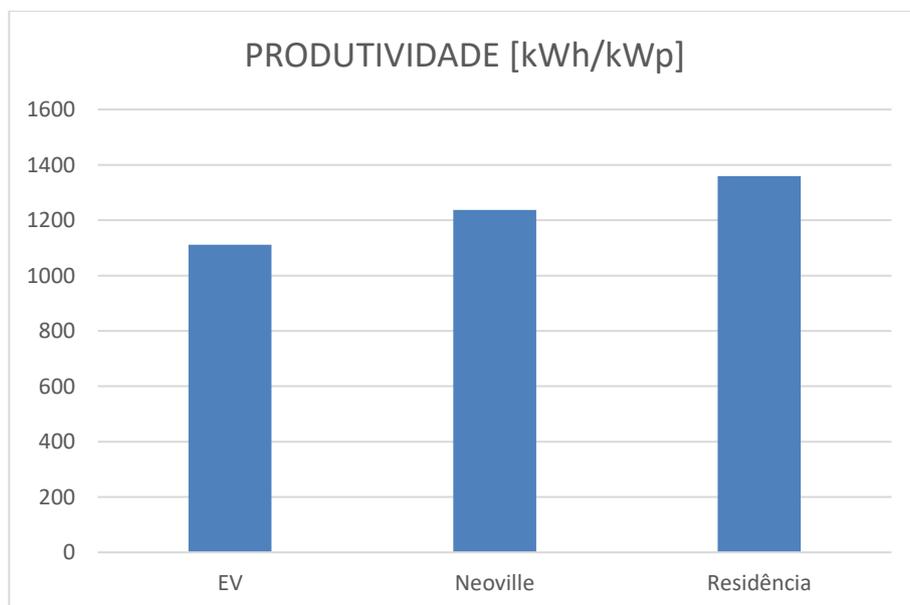
Comparou-se os valores de irradiação do INMET estação A807, localizada no centro politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com o piranômetro instalado no Bloco B da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), onde a maior diferença percentual mensal observada foi de 8,86% em janeiro de 2017, considerando os meses em que houveram coleta de dados todos os dias. Entretanto, a média em 2016 foi de 0,49% e, em 2017, 6,83%.

Os índices de mérito: Fator de Capacidade (FC), Produtividade (YF) e Taxa de desempenho (PR) estão adequados se comparados ao período de operação de cada um dos três sistemas. Os valores médios dos índices obtidos do EV em 5 anos de operação foram 12,68%, 1.111,14 kWh/kWp e 71,25% para o FC, YF e PR, respectivamente. Vale destacar que os índices de mérito terão maior consistência e relevância à medida que mais estudos de desempenho forem sendo gerados ao longo dos anos de operação a fim de obter dados históricos de geração. As plantas que foram instaladas em 2016, tanto a residencial quanto a do Neville, possuem desempenho superior por serem mais modernas. Para o Neville, os valores obtidos foram 14,34%, 1.237,29 kWh/kWp e 77,96% para o FC, YF e PR, respectivamente. Já para a residência, os valores foram 15,33%, 1.359,24 kWh/kWp e 83,08% para o

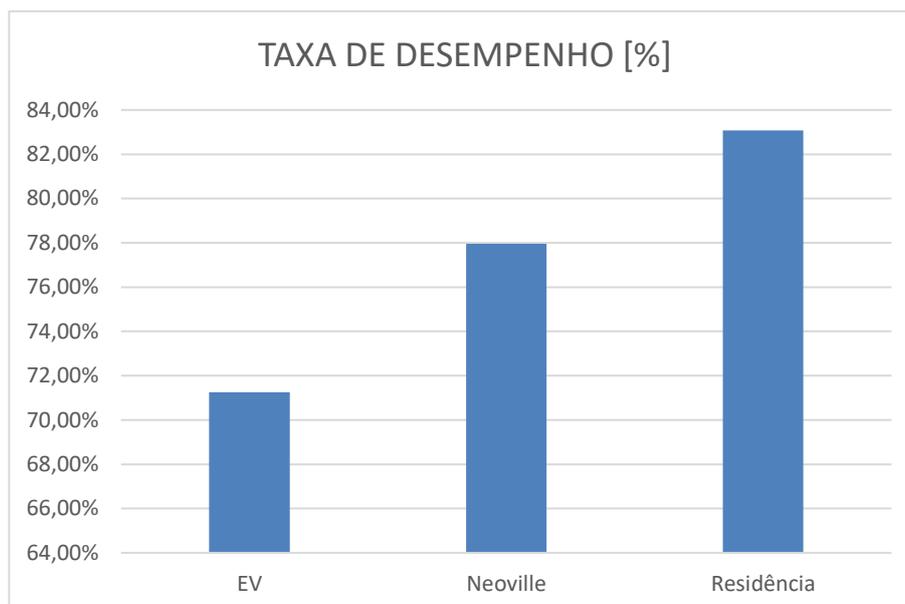
FC, YF e PR, respectivamente. Esses índices estão representados nos Gráficos 37, 38 e 39 e é possível perceber que as plantas instaladas em 2016 possuem desempenho superior quando comparadas a uma planta mais antiga, como a do Escritório Verde.



**Gráfico 37 – Comparação do Fator de Capacidade do Escritório Verde, Neville e Residência.**  
Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 38 - Comparação da Produtividade do Escritório Verde, Neville e Residência.**  
Fonte: Autoria própria.



**Gráfico 39 - Comparação da Taxa de Desempenho do Escritório Verde, Neoville e Residência.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Para a análise do tempo de retorno do investimento inicial do SFVCR, utilizou-se de ferramentas de engenharia econômica: *Payback* Simples, *Payback* Descontado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR). Em todos os casos estudados é observado que para cada consumidor final é possível, além de obter esse retorno, conseguir rentabilidade ao logo da vida útil do SFVCR. As análises de *payback* simples e descontado estão resumidas na Tabela 41 e foi constatado que o tempo necessário para o pagamento do sistema foi inferior à sua vida útil, tornando-se a instalação viável.

**Tabela 41 – Tabela resumo referente a análise de retorno do investimento.**

	Escritório Verde	Neoville	Residência Cenário Atual	Residência Convênio CONFAZ
<b><i>Payback</i> simples</b>	7 anos e 11 meses	8 anos e 6 meses	8 anos e 3 meses	6 anos e 10 meses
<b><i>Payback</i> descontado</b>	16 anos e 9 meses	20 anos e 9 meses	18 anos e 2 meses	12 anos e 8 meses

**Fonte: Autoria própria.**

Em relação ao VPL, este apresentou um valor positivo ao final do período analisado, apontando a viabilidade do projeto em relação a esse parâmetro. Do ponto de vista da TIR, esta ficou superior ao valor da taxa de juros considerada, a SELIC, portanto também indica a viabilidade do projeto.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10899 - Energia Solar Fotovoltaica - Terminologia**, Primeiro Projeto de Revisão, Norma Brasileira, 2013.

ABNT. **NBR 11704**: Sistemas fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. USP. São Paulo, p. 171. 2012.

AMBIENTE ENERGIA. **21 estados já aderiram a convênio que isenta geração distribuída de ICMS**. 31 de agosto de 2016. Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2016/08/21-estados-ja-aderiram-convenio-que-isenta-geracao-distribuida-de-icms/30123>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ANEEL amplia possibilidades para micro e minigeração distribuída**. 24 de novembro de 2015. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=8955&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90)>. Acesso em: 23 de março de 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 1ª edição. Brasília, 2002. 153 p. Disponível em <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>. Acesso em: 20 de março de 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**, 3ª edição. Brasília, 2008. 236 p. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>. Acesso em: 20 de março de 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 29 de abril de 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 687**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de

compensação de energia elétrica, e dá outras providências, 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 25 de outubro de 2016.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Unidades Consumidoras com Geração Distribuída**. 06 de fevereiro de 2017. Disponível em: <[goo.gl/Rme0Kk](http://goo.gl/Rme0Kk)>. Acesso em: 07 de maio de 2017.

ARAÚJO, A. J. N.; RANK, N. I.; BUENO, T. B. A. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica em Curitiba**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, 2016.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Empréstimos e Financiamentos**. Série I – Relacionamento com o Sistema Financeiro Nacional. Departamento de Educação Financeira. Disponível em: <[https://www.bcb.gov.br/pre/pef/port/folder\\_serie\\_I\\_emprestimos\\_e\\_financiamentos.pdf](https://www.bcb.gov.br/pre/pef/port/folder_serie_I_emprestimos_e_financiamentos.pdf)>. Acesso em: 21 de maio de 2017a.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das Taxas de Juros**. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/Pec/Copom/Port/taxaSelic.asp#nota>>. Acesso em: 21 de maio de 2017b.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Remuneração dos Depósitos de Poupança**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp>>. Acesso em: 21 de maio de 2017c.

BENEDITO, R. D. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências).

BOYLE, G. **Renewable Energy, 2nd edition**. Oxford, UK: Oxford University Press & The Open University, 2004.

CHINTPOWER. Disponível em: <<http://monitor.chintpower.com/Terminal/TerminalMain.aspx?come=Public&pid=153>> Acesso em: 01 maio de 2017.

CONFAZ - CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDÁRIA. Disponível em: <<https://www.confaz.fazenda.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/CONFAZ>>. Acesso em: 20 de maio de 2017.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas de Energia da COPEL. 19 de julho de 2016.** Disponível em: <<https://goo.gl/OD3kpO>>. Acesso em: 09 de maio de 2017.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. **Alterações Tarifárias.** 15 de maio de 2017a. Disponível em: <<https://goo.gl/xrtrT9>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

COPEL – COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA ELÉTRICA. **Taxas e Tarifas.** 15 de maio de 2017b. Disponível em: <<https://goo.gl/kMwkNI>>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

DIEESE – DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. **Comportamento das tarifas de energia elétrica no Brasil.** Nota Técnica Número 147 - Agosto 2015. Disponível em: <<https://www.dieese.org.br/notatecnica/2015/notaTec147eletricidade.pdf>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

ECONOMIA UOL. **76% dos brasileiros que guardam dinheiro preferem a poupança, diz pesquisa.** São Paulo, 17 de janeiro de 2017. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/redacao/2017/01/17/76-dos-brasileiros-que-guardam-dinheiro-preferem-a-poupanca-diz-pesquisa.htm>>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

ENERGIA HELIOTÉRMICA. **Glossário.** Disponível em: <<http://energiaheliotermica.gov.br/pt-br/glossario>>. Acesso em: 12 de outubro de 2016.

ENERGYSHOP. **Placa Solar.** Disponível em: <<https://www.energyshop.com.br/produto/listar/placa-solar>>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira.** Nota Técnica EPE. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, Maio, 2012. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos\\_23/NT\\_EnergiaSolar\\_2012.pdf](http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf)> Acesso em: 19 de maio 2017.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2014**. Relatório síntese: ano base 2013. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2014\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2014_Web.pdf)> Acesso em: 25 de maio 2016.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balço energético nacional 2016**. Relatório final: ano base 2015. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2016a. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2016.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf)> Acesso em: 27 de maio 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Demanda de Energia 2050**. Nota Técnica DEA 13/15. Rio de Janeiro, 2016b. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>>. Acesso em: 29 de abril de 2016.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 12. ed. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, c2010. xxiii, 775 p.

H2 ENERGIA. Disponível em: <<http://h2denergia.com.br/loja/>>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

HIROSE CLEAN ENERGY - PORTAL SOLAR - TUDO SOBRE ENERGIA SOLAR. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 26 de abril de 2017.

IEA-PPS. **ANALYTICAL MONITORING OF GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**. St. Ursen: Report Iea-pvps T13-03:2014, 2014. 90 p.

IEA-PVPS. **ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**. St. Ursen: Report Iea-pvps T2-01: 2000, 2000. 233 p.

INEE - INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é geração distribuída**. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/forum\\_ger\\_distrib.asp](http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp)>. Acesso em: 25 março de 2016.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 01 maio de 2017.

INOVACARE SOLAR - Distribuidor Growatt no Brasil, 2016. Disponível em: <<http://www.inovacare.solar/tecnologia/>>. Acesso em: 03 de outubro de 2016.

INSTITUTO IDEAL – INSTITUTO PARA O DESENSOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA. “**O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica** – Edição 2016.” Disponível em: <[https://issuu.com/idealeco\\_logicas/docs/estudofv2016\\_final](https://issuu.com/idealeco_logicas/docs/estudofv2016_final)>. Acesso em: 19 de maio de 2017.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia Volume 2**. UFSC/LABEE, 2010.

LEMES JR, A. B.; CHEROBIM, A. P. M.; RIGO, C. M. **Fundamentos de finanças empresariais: técnicas e práticas essenciais**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2015.

MARIANO, J. D'. **Análise do potencial da geração de energia fotovoltaica para redução dos picos de demanda e contribuição energética nas edificações da UTFPR em Curitiba**. Dissertação de Mestrado. Curitiba, 2017.

MCCANN, R. **Visible Light- What the Human Eye Sees**. Photovoltaic Lighting Group. Disponível em: < <http://www.solarlightaustralia.com.au/2013/02/20/visible-light/>>. Acesso em: 12 de outubro de 2016.

MYPVPOWER. Disponível em: <<https://www.mypvpower.com>>. Acesso em: 01 de maio de 2017.

NEOSOLAR. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/kit-energia-solar.html>>. Acesso em: 26 de abril de 2017

PORTAL BRASIL. **Caderneta de Poupança - Índices Mensais**. Disponível em <[http://www.portalbrasil.net/poupanca\\_mensal.htm](http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm)>. Acesso em: 21 de maio de 2017.

REN 21. **Renewables 2016 Global Status Report**. Disponível em: <<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>> Acesso em: 27 de maio de 2017.

RÜTHER, R.. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, 2004.

SOLSTÍCIO ENERGIA. **Energia Solar**, 2013. Disponível em: <<http://www.solsticioenergia.com.br/sobre-energia-solar/>>. Acesso em: 27 março de 2016.

SOUZA, M. B.; IATSKIU, T.; TEM-PASS, E. H.; TIEPOLO, G. M.; SOUZA, A.; TORRES, R. L. **Análise Econômica para Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica de Energia no Estado do Paraná**. Revista SODEBRAS, ISSN 1809-3957, v. 12, nº 133, Janeiro, 2017.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JR, O.; URBANETZ JR, J.; VIANA, T. PEREIRA, E. B. **Comparação entre o potencial de geração fotovoltaica no Estado do Paraná com Alemanha, Itália e Espanha**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar. Recife, 2014a.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JR, O.; URBANETZ JR, J. **Estudo do potencial de participação das fontes renováveis de energia na matriz elétrica do estado do Paraná**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis, 2014b.

TIEPOLO, G. M. **Estudo do potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná**. Tese de doutorado – Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PPGEPS, 2015.

TIEPOLO, G. M.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, E. B.; PEREIRA, S.V.; ALVES, A.R. **Energia Solar no Estado do Paraná – Potencial, barreiras e políticas públicas**. Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da informação na integração dos recursos. X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Gramado, RS, 2016a.

TIEPOLO, G. M.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, E. B.; PEREIRA, S. V.; ALVES, A. R. **Potencial de geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no estado do Paraná – Resultados Parciais**. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte, MG, 2016b.

UFRGS. **Programa RADIASOL**. Laboratório de Energia Solar, 2012.

URBANETZ JR, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese de doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, 2010.

URBANETZ JR, J.; CASAGRANDE JR, E. F.; TIEPOLO, G. M. **Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR**. IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. 2014a.

URBANETZ JR, J. **Introdução a Energia Solar Fotovoltaica e o SFVCR do Escritório Verde da UTFPR**. Universidade Federal Tecnológica do Paraná - UTFPR. Semana da Engenharia – Instituto de Engenharia do Paraná - IEP – Curitiba, 2014b.

URBANETZ JR, J.; CHINVELSKI, T.; SIMÃO, C. A. F.; MAKISHI, L. M. M. **Primeiro Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica Homologado pela COPEL**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar – Recife, 2014c.

URBANETZ JR, J.; TIEPOLO, G. M.; CASAGRANDE JR, E. F.; TONIN, F. S.; MARIANO, J. D'. **Geração Distribuída Fotovoltaica: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos da UTFPR em Curitiba**. Oferta e Demanda de Energia – o papel da tecnologia da informação na integração dos recursos. X Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Gramado, RS, 2016.

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. **Dados de irradiação do piranômetro instalado no Laboratório B207 da UTFPR**, 2017.

VIANA, T. S. **Potencial de Geração de Energia Elétrica com Sistemas Fotovoltaicos com Concentrador no Brasil**. Florianópolis, SC, 2010.

VILLALVA, T. SOUZA G.; GAZOLLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. 1.ed. Editora: Érica Ltda. São Paulo, 2013. 224 p.

XINHUA NEWS AGENCY. **It's official: China has the most solar PV installed globally**. *PV Magazine*, 25 jan. 2016. Seção *Global PV markets*. Disponível em: <[http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/its-official--china-has-the-most-solar-pv-installed-globally\\_100022939](http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/its-official--china-has-the-most-solar-pv-installed-globally_100022939)>. Acesso em: 26 de abril de 2016.