

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - *CAMPUS* FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULA VANESSA COSTA OLVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE PROJETO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E A ADESÃO AO PROGRAMA CEMIG SIM**

FORMIGA – MG

2021

PAULA VANESSA COSTA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE PROJETO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E A ADESÃO AO PROGRAMA CEMIG SIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal Campus Formiga, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

FORMIGA-MG.

2021

Oliveira, Paula Vanessa Costa.

O48a Análise de viabilidade econômica entre projeto de sistemas fotovoltaicos e a adesão ao programa Cemig SIM / Paula Vanessa Costa Oliveira – Formiga: IFMG, 2021.
63p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Sistemas Fotovoltaicos. 2. Programa Cemig SIM. 3. Fazenda Solar.
4. Compensação de Créditos de Energia. 5. Viabilidade Econômica.

I. Moura, Renan Souza. II. Título.

CDD 621.3

PAULA VANESSA COSTA OLIVEIRA

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE PROJETO DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS E A ADESÃO AO PROGRAMA CEMIG SIM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal
de Minas Gerais como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Avaliado em: 30 de julho de 2021.

Nota: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Doutor Renan Souza Moura (Orientador)

Prof. ^a Dra. Danielle Cristina Teles Ferreira

Prof. Me. Marco Antônio Silva Pereira

“A vida é feita de momentos, momentos pelos quais temos que passar, sendo bons ou não, para o nosso aprendizado. Nada é por acaso. Precisamos fazer a nossa parte, desempenhar o nosso papel no palco da vida, lembrando de que a vida nem sempre segue o nosso querer, mas ela é perfeita naquilo que tem que ser.”

(Chico Xavier)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me iluminado o melhor caminho, durante toda minha vida.

Aos meus amados pais, que em sua infinita sabedoria, não me deixaram desistir desse sonho. A minha mãe Janete, minha melhor amiga, que sempre me aconselhou e confortou, nos momentos difíceis. Ao meu querido pai, por todo apoio e exemplo de profissional. Ao meu irmão Eduardo que me ensinou a viver a vida intensamente.

Sou grata às minhas avós, Maria e Margarida, que sempre se alegraram, com todas as minhas conquistas e que em toda simplicidade, me ensinaram a valorizar as pequenas coisas.

Agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Renan, por toda paciência e disponibilidade, para tornar esse sonho possível. No final deu tudo certo!

Aos meus amigos, em especial ao Marcos Vinícius, Sarah e André, que estiveram sempre comigo e que não mediram esforços para me ajudar nessa caminhada.

RESUMO

O programa Cemig SIM é um consórcio de energia solar destinado a empresas, comércios em geral, casas e apartamentos. A energia é gerada em uma fazenda solar da empresa Cemig SIM. Ao aderirem ao consórcio, as empresas contratam um lote da fazenda solar, ou seja, adquirem um percentual de participação. A energia gerada pela fazenda solar resulta na obtenção de créditos, que serão compensados na fatura de energia elétrica da Cemig Distribuição. Neste trabalho, os custos envolvidos das empresas com a adesão ao programa Cemig SIM foram comparados com “projetos tradicionais de sistemas fotovoltaicos”. Entende-se como projetos tradicionais de sistemas fotovoltaicos aqueles em que a unidade consumidora instala os seus próprios painéis solares. Figuras de mérito dentro da área de análise de viabilidade econômica foram utilizadas para comparar estas duas modalidades de obtenção de créditos. Os resultados demonstraram que investimentos em sistemas fotovoltaicos são mais indicados para consumidores que consigam instalar sistemas sem alterar a demanda contratada e capazes de gerar o suficiente para compensar todo seu consumo.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Programa Cemig SIM, Fazenda Solar, Compensação de Créditos de Energia, Viabilidade Econômica.

ABSTRACT

The Cemig SIM program is a solar energy consortium model, whose destination ranges from big companies and regular commerce to houses, buildings, among others. The energy itself is harvested from a company Cemig SIM solar farm. From the moment the potential consumers decide to buy their share of a solar farm, there is a fixed proportional percentage of participation in the program. The solar energy harvested in a farm generates income for those involved in the process. That income would work just like a credit-system: The energy bill coming from Cemig Distribuição de Energia would be cheaper, given the amount of energy generated in the contracted area. In this article, the costs of adhering to Cemig SIM are compared to “traditional photovoltaic projects”. By using this term, this article refers to those whose consuming unit's install their own solar panels. Several performance criteria standards in the field of economic viability analysis were applied, in order to compare both scenarios. The research shows that photovoltaic systems are better indicated for the customer that can install such systems without altering the it is demand and when the system is capable of generating enough to make up for their own energy consumption.

Keywords: Photovoltaic Systems, Cemig SIM Program, Solar Farm, Power Clearing System, Economic Viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Expansão da geração de energia fotovoltaica.	16
Figura 2 – Geração compartilhada.....	19
Figura 3– Equipamentos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.	20
Figura 4 – Associação série de módulos fotovoltaicos.....	21
Figura 5 – Associação paralela de módulos fotovoltaicos.	22
Figura 6 – Associação série e paralelo módulos fotovoltaicos.....	23
Figura 7 – Curvas I-V(azul) e P-V(vermelha) de um módulo fotovoltaico.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico Canadian CS3U-360P.	31
Tabela 2 - Especificações mecânicas do painel fotovoltaico.	31
Tabela 3 - Especificações de temperatura do painel fotovoltaico.	31
Tabela 4 - Resumo dos consumidores.	33
Tabela 5- Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 1 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.	34
Tabela 6 - Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 2 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.	35
Tabela 7 - Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 3 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.	35
Tabela 8- Irradiação solar média diária Divinópolis-MG.	37
Tabela 9- Irradiação solar média diária Piumhi-MG.	37
Tabela 10- Irradiação solar média diária Ouro Fino-MG.	37
Tabela 11 - Menores níveis de irradiação solar diária média em cada localidade.	38
Tabela 12 - Inversor solar fotovoltaico CSI-25KTL-GI-LFL.	39
Tabela 13 – Custos do projeto fotovoltaico para o Consumidor 1.	40
Tabela 14 – Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 1.	41
Tabela 15– Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 1.	41
Tabela 16– Custos projeto fotovoltaico Consumidor 2.	43
Tabela 17 – Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 2.	43
Tabela 18 – Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 2.	44
Tabela 19 - Inversor solar fotovoltaico GW50KLV-MT.	45
Tabela 20 – Custos sistema fotovoltaico consumidor 3.	46
Tabela 21– Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 3.	47
Tabela 22 – Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 3.	47
Tabela 23 - Simulação Consumidor 1.	48
Tabela 24 - Simulação Consumidor 2.	48
Tabela 25 - Simulação Consumidor 3.	49

Tabela 26 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 12.	50
Tabela 27 -Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 36.	51
Tabela 28 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 60.	51
Tabela 29 – Resumo das faturas de energia elétrica nos cenários analisados para o Consumidor 1.	52
Tabela 30 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 12.	54
Tabela 31 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 36.	54
Tabela 32 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 60.	55
Tabela 33 – Resumo das faturas de energia do Consumidor 2 nos cenários analisados.	56
Tabela 34 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 12.	57
Tabela 35 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 36.	58
Tabela 36- - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 60.	58
Tabela 37– Resumo das faturas de energia nos cenários analisados do Consumidor 3.	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Faturas de energia do Consumidor 1 para os cenários analisados.	53
Gráfico 2 – Faturas de energia do Consumidor 2 para os cenários analisados.	56
Gráfico 3 – Faturas de energia do Consumidor 3 para os cenários analisados.	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

FDI – Fator de Dimensionamento do Inversor

TD – Taxa de Desempenho do Sistema Fotovoltaico

SIM 12 – Plano de Descontos de 12 meses da Empresa Cemig SIM

SIM 36 – Plano de Descontos de 36 meses da Empresa Cemig SIM

SIM 60 – Plano de Descontos de 60 meses da Empresa Cemig SIM

TIR – Taxa interna de Retorno de Investimento

TMA – Taxa mínima de Atratividade

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Hipótese	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	17
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	18
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Energia solar fotovoltaica	19
2.2	Efeito fotovoltaico	21
2.3	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede	21
2.3.1	<i>Equipamentos</i>	21
2.3.1.1	Módulos fotovoltaicos	21
2.3.1.2	Inversor Grid Tie	24
2.3.1.3	Medidor bidirecional	25
2.3.2	<i>Dimensionamento de sistemas fotovoltaico conectado à rede</i>	25
2.3.2.1	Dimensionamento do gerador	25
2.3.2.2	Dimensionamento do inversor solar fotovoltaico	26
2.4	Cemig SIM	27
2.4.1	<i>Processo de contratação</i>	27
2.5	Análise Financeira	28
2.5.1	<i>Payback</i>	28
2.5.2	<i>Valor presente líquido (VPL)</i>	28
2.5.3	<i>Taxa interna de retorno</i>	29
3	METODOLOGIA	30
4	RESULTADOS	33
4.1	Cenário 1: Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem a adesão ao Programa Cemig SIM	33
4.1.1	<i>Consumidor 1</i>	34
4.1.2	<i>Consumidor 2</i>	34
4.1.3	<i>Consumidor 3</i>	35
4.2	Cenário 2: Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos instalados	36
4.2.1	<i>Irradiação solar média</i>	36
4.2.2	<i>Dimensionamento de sistemas fotovoltaico conectados à rede</i>	38

4.2.2.1	Consumidor 1	39
4.2.2.2	Consumidor 2	42
4.2.2.3	Consumidor 3	44
4.3	Cenário 3: Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM.	48
4.3.1	<i>Consumidor 1</i>	48
4.3.2	<i>Consumidor 2</i>	48
4.3.3	<i>Consumidor 3</i>	49
4.4	Comparativo entre os consumidores com sistema fotovoltaico instalado e com adesão ao programa Cemig SIM	50
4.4.1	<i>Consumidor 1</i>	50
4.4.2	<i>Consumidor 2</i>	54
4.4.3	<i>Consumidor 3</i>	57
5	CONCLUSÃO	61
6	REFERENCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

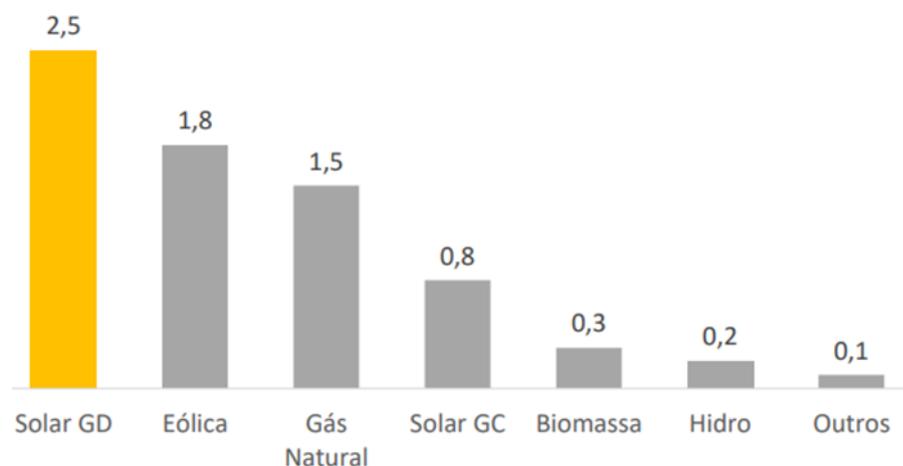
O sistema elétrico brasileiro é fundado no modelo de geração centralizada. Este modelo utiliza grandes usinas que transportam energia elétrica para os centros de consumo utilizando extensas linhas de transmissão.

Com o aumento da demanda por energia elétrica, cresceu a busca por modelos de geração de energia alternativos nos últimos anos, resultando em uma diversificação da matriz energética brasileira.

A diversificação na matriz elétrica brasileira acentuou-se expressivamente a partir de 2015, com a Resolução Normativa N° 687 da ANEEL, que criou e regulamentou o sistema de compensação de energia. Esta possibilidade de reduzir os gastos com energia movimentou obviamente o mercado energético.(ANEEL, 2015).

Considerando as preocupações com os impactos ambientais causados pelas grandes construções hidrelétricas, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019-2029 prevê a construção de apenas 10 usinas hidrelétricas até 2029, sendo elas de pequeno e médio porte. (MME; EPE, 2020). Estas mudanças no cenário energético brasileiro, possibilitam a oferta de modelos alternativos para geração de energia. Entre os modelos alternativos de geração no ano de 2020, a geração distribuída solar se destacou frente as demais fontes de geração de energia, conforme indicado na Figura 1.

Figura 1 – Expansão da geração de energia fotovoltaica.
Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica em 2020 [GW] -
Entrada em Operação



Fonte: (EPE, 2021)

Mesmo com o incentivo de compensação de créditos de energia por meio da

geração de energia distribuída, nem sempre um projeto fotovoltaico próprio é a melhor maneira de compensação de créditos de energia. A inserção de um micro-gerador ou mini-gerador de energia solar na rede distribuição exige, além do planejamento e execução do projeto fotovoltaico, um estudo das condições de instalação e da viabilidade econômica do projeto.

Uma alternativa a esse cenário, para consumidores que pretendem se inserir no mercado de compensação de créditos, mas não dispõe das condições necessárias para a instalação de um sistema fotovoltaico, é a adesão a um consórcio de geração de energia solar. (CEMIG SIM, 2021a).

O programa Cemig SIM é um consórcio de energia solar destinado a pessoas físicas e jurídicas, titulares da fatura de energia elétrica da Cemig Distribuição. A energia solar é gerada em uma fazenda da empresa Cemig SIM. Ao aderirem ao programa, é contratado um lote da fazenda solar, sem nenhum investimento inicial, que é referente a um percentual de participação. A energia gerada pela fazenda solar resulta em créditos, que serão compensados na fatura de energia elétrica da Cemig Distribuição. (CEMIG SIM, 2021a).

1.1 Hipótese

Diante da crescente demanda por energia e da necessidade de diversificação da matriz energética, frente aos elevados custos envolvidos aos modelos atuais de geração e tarifação de energia, faz-se necessário o incentivo da utilização de novas modalidades de geração de energia.

O presente Trabalho de Conclusão de Curso pretende analisar se um investimento em um sistema fotovoltaico tem maior viabilidade financeira que o programa Cemig SIM na tarifação de energia elétrica de empresas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem o objetivo de investigar, para cada empresa analisada, se o programa Cemig SIM é mais vantajoso financeiramente em relação a um sistema fotovoltaico instalado.

1.2.2 *Objetivos específicos*

Para cumprir o objetivo geral deste trabalho, foram estabelecidas as seguintes etapas intermediárias (objetivos específicos):

- Realizar um estudo bibliográfico sobre o sistema fotovoltaico e o sistema de compensação de créditos de energia.
- Estudar os conceitos relacionados ao consórcio de energia solar do Programa Cemig SIM.
- Selecionar as empresas (consumidores) sem sistema fotovoltaico instalado, pertencentes ao grupo A.
- Coletar dados como as faturas de energia e informações para compor o perfil de investimento de cada consumidor.
- Dimensionar os sistemas fotovoltaicos para cada consumidor, respeitando os limites das instalações já existentes.
- Com base no consumo médio de energia de cada consumidor, realizar simulações da adesão ao programa Cemig SIM no site da empresa.
- Comparar os resultados obtidos e a analisar a viabilidade econômica entre os dois cenários.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) está dividido em seis capítulos. No Capítulo 1 são apresentados uma introdução ao tema, a hipótese, e o objetivo geral.

O Capítulo 2 descreve os principais conceitos teóricos para o correto entendimento do tema do trabalho. O Capítulo 3 é dedicado a metodologia para que os resultados possam ser apresentados nos Capítulos 4 e 5.

Por fim, a conclusão e considerações finais são detalhadas no Capítulo 6.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energia solar fotovoltaica

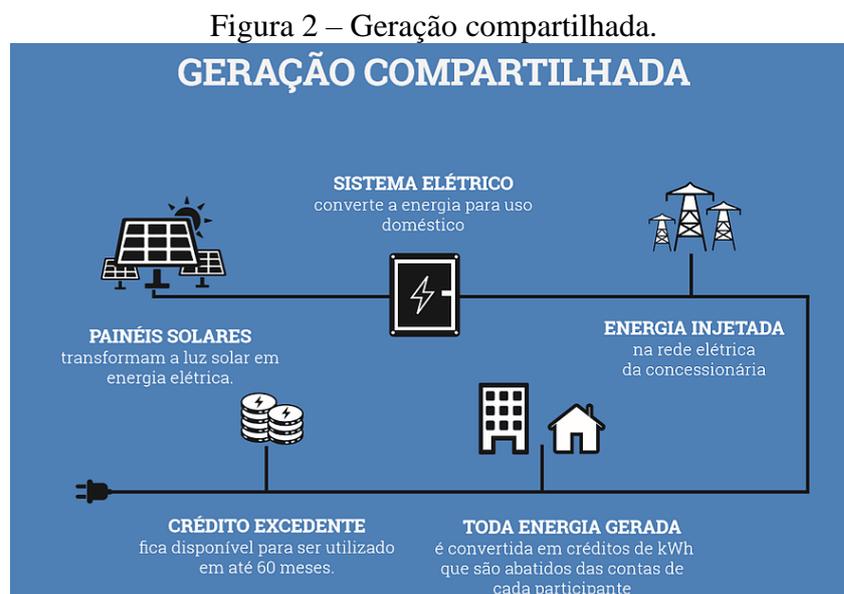
A crescente demanda por energia elétrica promove a busca por uma matriz energética mais variada e sustentável. Por se tratar de uma fonte de energia renovável e devido à alta incidência solar, a energia solar fotovoltaica vem crescendo no mercado energético brasileiro. (PORTAL SOLAR, 2020b).

A energia solar fotovoltaica é gerada por meio de painéis solares fotovoltaicos que captam a luz do sol e realizam a conversão direta da radiação solar em energia elétrica. (IMHOFF, 2007).

Mesmo com o alto índice de irradiação solar no Brasil, muitos consumidores não possuem um local apropriado para a instalação de sistemas fotovoltaicos convencionais. (PORTAL SOLAR, 2020b).

Dentro deste contexto, por meio da Resolução Normativa nº 687 de 2015, a Aneel (Agencia Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a geração compartilhada. A normativa possibilita a consumidores (pessoa física ou jurídica) o compartilhamento da energia gerada por uma unidade consumidora, desde que os consumidores estejam dentro da mesma área de concessão da concessionária de energia e que a unidade geradora esteja em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia será compensada. (ANEEL, 2015; BLUE SOL, 2017).

Na Figura 2, é apresentado um esquemático da geração compartilhada.



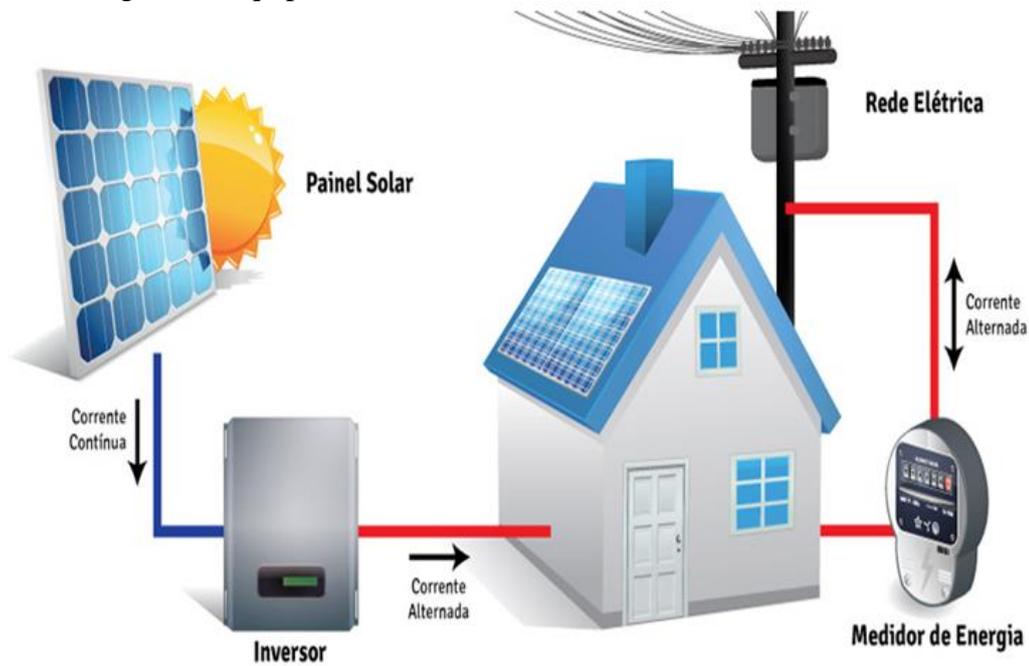
Fonte (MINHA CASA SOLAR, 2018)

Uma outra alternativa para estes consumidores, que não possuem locais apropriados para a instalação de sistemas fotovoltaicos e que pretendem utilizar a energia solar, é a adesão a um consórcio em uma fazenda solar. (CEMIG SIM, 2019; PORTAL SOLAR, 2020c; SOLARVOLT ENERGIA, 2019).

A fazenda solar é composta por vários painéis fotovoltaicos, sendo construída em um local com alto índice de incidência solar. O consumidor adere a uma cota (contrata um lote) nessa fazenda solar e a energia gerada volta para o consumidor na forma de créditos energéticos. (CEMIG SIM, 2019; PORTAL SOLAR, 2020c).

Em sistemas fotovoltaicos convencionais, diferentemente da fazenda solar, é necessária a aquisição e instalação de diversos equipamentos. Sendo assim, um investimento elevado é requerido, além de estudos de eficiência energética e custos com a manutenção do sistema (CEMIG SIM, 2019). Este tipo de sistema pode ser isolado ou conectado à rede elétrica, sendo este último ilustrado na Figura 3.

Figura 3– Equipamentos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.



Fonte: (ECOMAIS, 2018).

2.2 Efeito fotovoltaico

O fenômeno conhecido como Efeito Fotovoltaico ocorre por meio da célula fotovoltaica, que realiza a conversão direta da radiação solar incidente nas placas fotovoltaicas. (FREITAS, 2008).

A célula fotovoltaica é composta por um material semicondutor como por exemplo o silício puro, acrescido de substâncias dopantes. A dopagem do material, permite a criação de duas camadas semicondutoras, a camada tipo p dopada positivamente e a camada tipo n dopada negativamente. A junção destas camadas, origina uma região p-n, na qual é criado um campo elétrico. (FREITAS, 2008).

A radiação solar incidente sobre as células fotovoltaicas estimula a liberação dos elétrons presentes nos átomos do material. O campo elétrico presente na junção p-n, orienta estes elétrons, que se deslocam para regiões com ausência de elétrons livres, gerando uma corrente elétrica quando conectado a um circuito com uma carga. (FREITAS, 2008; ORIOL PLANAS, 2015; PORTAL SOLAR, [s. d.]).

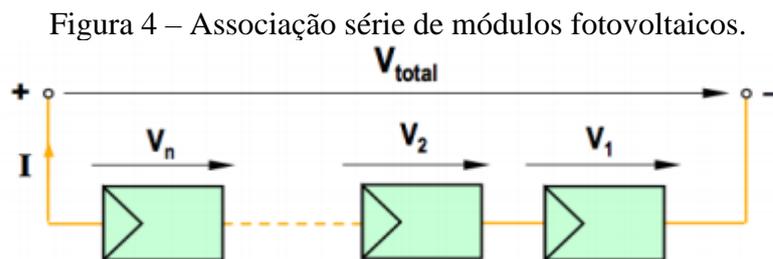
2.3 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

2.3.1 Equipamentos

2.3.1.1 Módulos fotovoltaicos

Como uma única célula fotovoltaica alcança baixos valores de tensão e de corrente de saída, conjuntos de células fotovoltaicas são associadas formando o módulo fotovoltaico. Módulos fotovoltaicos, por sua vez, podem ser associados em série ou em paralelo. (ZILLES et al., 2012).

Segundo (CARNEIRO, 2010) na associação de módulos em série, os terminais positivos são conectados aos terminais negativos do módulo seguinte e assim sucessivamente. A Figura 4, indica a conexão série de módulos fotovoltaicos.



Fonte:(CARNEIRO, 2010).

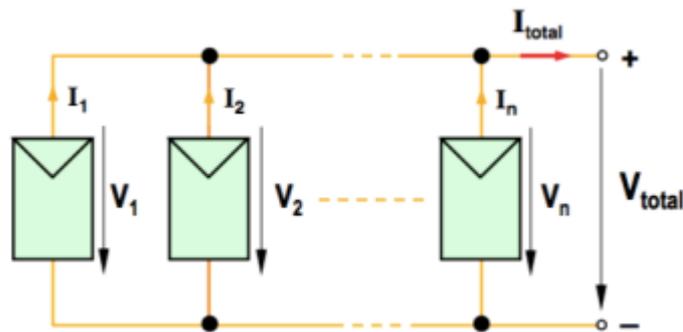
A associação de módulos em série é normalmente utilizada, pois as tensões de cada módulo são somadas, resultando em módulos com elevadas tensões de saída. (CRESESB/CEPEL, [s. d.]).

Na conexão dos módulos em paralelo, as correntes dos módulos são somadas e é mantida a mesma tensão nos módulos. (CRESESB, [s. d.]).

Na associação dos módulos em paralelo, os terminais positivos são conectados aos terminais positivos do módulo seguinte e assim sucessivamente. Da mesma forma, os terminais negativos são conectados aos terminais negativos do módulo seguinte e assim sucessivamente. (CARNEIRO, 2010).

A Figura 5 demonstra a ligação paralela de módulos fotovoltaicos.

Figura 5 – Associação paralela de módulos fotovoltaicos.

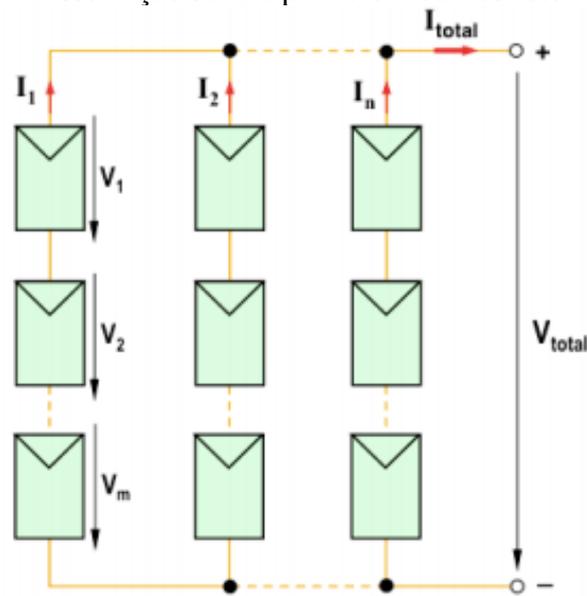


Fonte: (CARNEIRO, 2010)

Outra possibilidade de conexão dos módulos fotovoltaicos é o arranjo série e paralelo. Neste arranjo, conjuntos de módulos associados em série são conectados em paralelo.

A Figura 6 indica a conexão série e paralela de módulos.

Figura 6 – Associação série e paralelo módulos fotovoltaicos.



(CARNEIRO, 2010).

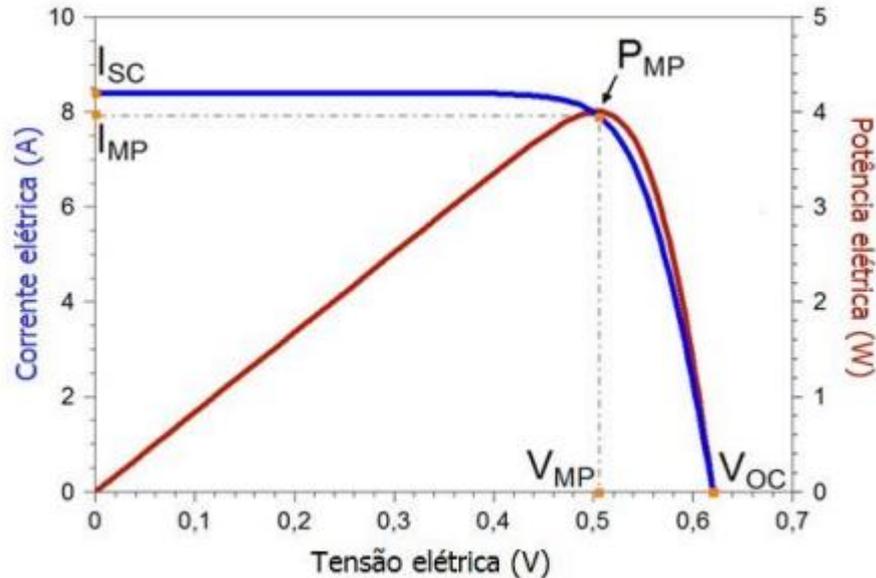
Na associação de módulos em série e paralelo, uma vez que cada módulo conectado em série é percorrido por a mesma corrente, a corrente total disponibilizada pela associação equivale à soma das correntes de cada conjunto conectado em paralelo. Já a tensão resultante, corresponde à soma das tensões de cada módulo conectado em série, sendo igual para todos os conjuntos conectados em paralelo. (CARNEIRO, 2010).

As características elétricas dos módulos fotovoltaicos, descritas nas folhas de dados dos fabricantes, indicam valores obtidos em testes de funcionamento.

- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): tensão máxima do módulo quando em operação sem carga. Nessa condição a corrente de curto circuito é igual a zero.
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): corrente máxima verificada nos terminais dos módulos, quando os terminais estão curtos-circuitados. Nessa condição a tensão de curto circuito é igual a zero.
- Tensão de máxima potência (V_{mp}): tensão verificada nos terminais dos módulos quando o sistema está operando no ponto de máxima potência.
- Corrente de máxima potência (I_{mp}): corrente verificada nos terminais dos módulos quando o sistema está operando no ponto de máxima potência.
- Ponto de potência máxima (P_{mp}): o ponto de máxima potência é definido em condições de operação do módulo com carga, em que é atingida a tensão de máxima potência (V_{mp}) e a corrente de máxima potência (I_{mp}) nos terminais do módulo.

A Figura 7 demonstra as curvas características de um módulo fotovoltaico.

Figura 7 – Curvas I-V(azul) e P-V(vermelha) de um módulo fotovoltaico.



Fonte: (PINHO; GALDINO, 2014).

2.3.1.2 Inversor Grid Tie

Os inversores solares são equipamentos utilizados para converter em corrente alternada a energia gerada em corrente contínua pelos módulos fotovoltaicos. (PORTAL SOLAR, 2020a).

Os inversores solares Grid Tie ou On Grid são destinados aos sistemas fotovoltaicos que operam de forma conectada à rede elétrica da distribuidora. Esses componentes regulam a energia elétrica fornecida pelos painéis, de modo que esteja em sincronia com a energia fornecida pela rede elétrica da distribuidora. (SOLAR PRIME, 2019).

Uma das funções dos inversores Grid Tie é a desconexão do sistema fotovoltaico na ocorrência de irregularidades na rede de energia, como mudanças de fase, variações de frequência ou queda de tensão. O isolamento do sistema protege os equipamentos que o compõem e evita acidentes de trabalho caso a rede da distribuidora esteja em manutenção, sendo assim uma medida de segurança. (SOLAR PRIME, 2019; SOLEN ENERGIA, 2019).

2.3.1.3 *Medidor bidirecional*

Os medidores de energia elétrica são equipamentos destinados a registrar o fluxo de energia entre a instalação e a rede da distribuidora. (SOLAR PRIME, 2020).

Os medidores convencionais, comumente aplicados em instalações atendidas apenas pela distribuidora, registram apenas o consumo mensal de energia elétrica em KWh. Já os medidores bidirecionais, que são utilizados para sistemas fotovoltaicos, registram além do consumo, a energia elétrica injetada na rede da distribuidora. (SOLAR PRIME, 2020).

O fluxo de energia entre a rede da distribuidora e o consumidor pode ocorrer em dois sentidos, ou seja, o consumidor pode injetar ou consumir energia da rede. É chamado de fluxo reverso quando o sistema fotovoltaico produz energia o suficiente para abastecer suas cargas e injetar na rede. O fluxo direto ocorre quando o medidor bidirecional registra a quantidade de energia consumida da rede. (SOLAR PRIME, 2020).

2.3.2 *Dimensionamento de sistemas fotovoltaico conectado à rede*

2.3.2.1 *Dimensionamento do gerador*

O potencial de geração de energia de um sistema fotovoltaico é determinado considerando fatores como consumo médio diário, módulos escolhidos, potência de pico, rendimento e fatores sazonais (irradiação solar diária e temperatura da localidade do projeto, por exemplo).

Segundo Pinho e Galdino (2014) a potência fotovoltaica pode ser determinada por:

$$P_{FV} = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (1)$$

Onde:

P_{FV} : Potência de pico do gerador fotovoltaico (Wp).

E: Consumo médio diário de energia (KW/dia).

HSP_{MA} : Média diária de horas de sol pleno (KWh/ m²).

TD: Taxa de desempenho (adimensional).

A média diária de horas de sol pleno representa o total de horas em que a

irradiância solar é constante a uma intensidade de 1000 W/m², sendo que este valor foi adotado neste Trabalho de Conclusão de Curso.

A taxa de desempenho (TD) é fator relacionado as perdas de desempenho do sistema fotovoltaico. Essas perdas podem estar relacionadas a variações de temperatura, sujeira nos módulos, eficiência do inversor fotovoltaico, sombreamento e entre outras.(PINHO; GALDINO, 2014).

Neste trabalho foram adotadas perdas de 25%, o que resulta em uma taxa de desempenho de 75% (TD= 0,75). Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), para as condições climáticas do Brasil a TD deve estar entre 70 e 80%.

A quantidade de módulos fotovoltaicos pode ser determinada pela Equação 2:

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{P_{FV}}{P_{\text{módulos}}} \quad (2)$$

Onde:

P_{FV} : Potência do gerador fotovoltaico (Wp).

$P_{\text{módulos}}$: Potência de pico dos módulos fotovoltaicos (Wp).

2.3.2.2 Dimensionamento do inversor solar fotovoltaico

O dimensionamento do inversor é realizado com base na potência do gerador fotovoltaico, nas características elétricas dos módulos e do local de instalação.

Neste contexto, o Fator de Dimensionamento do Inversor “FDI” é utilizado para verificar o desempenho do sistema fotovoltaico. Além da escolha do inversor que ofereça o melhor custo benefício, os inversores devem ser dimensionado de forma que não operem sobrecarregados e nem subcarregados (PINHO; GALDINO, 2014).

O fator de dimensionamento do inversor é determinado pela Equação (3):

$$\text{FDI} = \frac{P_{\text{NominalInversor}}}{P_{FV}} \quad (3)$$

Onde:

$P_{\text{NominalInversor}}$: Potência de pico do gerador fotovoltaico (Wpico).

P_{FV} : Potência de pico do gerador fotovoltaico (W).

Segundo (PINHO; GALDINO, 2014), o fator de dimensionamento do inversor (FDI) deve ter valores limites inferiores entre 0,75 e 0,85 e um valor limite superior próximo de 1,05.

2.4 Cemig SIM

O programa Cemig Sim é um consórcio de energia solar destinado a empresas, comércios em geral, condomínios, casas e apartamentos. Ao aderirem ao consórcio, os consumidores contratam um lote da fazenda solar, correspondente a um percentual de participação. (CEMIG SIM, 2021b).

A energia gerada pela fazenda solar, uma vez contratada, resulta na geração de créditos que serão compensados na fatura de energia elétrica da Cemig Distribuição. (CEMIG SIM, 2020a).

Podem participar do programa pessoas físicas com um consumo mínimo de 300kWh/mês e pessoas jurídicas com um consumo mínimo de 500kWh/mês. É necessário que estes interessados sejam titulares da fatura de energia da Cemig Distribuição. (CEMIG SIM, 2021b).

2.4.1 *Processo de contratação*

O desconto ofertado pela empresa Cemig SIM pode ser simulado no site da empresa. A simulação é embasada na faixa de consumo atual e no tempo de contrato. O simulador solicita ao consumidor dados como contato, valor de consumo mensal e a modalidade tarifária na qual o consumidor está inserido. (CEMIG SIM, 2020b).

Como resultados da simulação, são apresentados ao consumidor a economia estimada para três modalidades de contratos (doze; vinte e quatro; trinta e seis meses). (CEMIG SIM, 2021).

O processo de contratação do consórcio é realizado por meio de uma solicitação de proposta comercial. O consumidor envia uma cópia da fatura de energia elétrica para a empresa e solicita uma análise. Após a análise, a Cemig SIM envia uma proposta comercial para o consumidor, na qual é descrita a quantidade de KWh a serem contratados, a localização e identificação do lote da fazenda solar selecionado para atender ao cliente. (CEMIG SIM, 2020b).

Segundo a (CEMIG SIM, 2021b), o contrato tem prazo de fidelidade mínima de dois meses para os planos residências e doze meses para planos empresariais e condomínios. Em caso de cancelamento, multas são aplicadas.

2.5 Análise Financeira

2.5.1 Payback

O *payback* é uma abordagem utilizada para análise de investimentos. Segundo (GITMAN, 2017), é chamado de período de *payback*, o tempo necessário para uma empresa ter o retorno do capital investido em um projeto. O período de *payback* é determinado a partir das entradas de caixa.

As variações do valor do dinheiro no tempo não são consideradas na análise do período de *payback*. Desta forma, muitas empresas utilizam o *payback* como um critério de decisão ou como um critério de decisão complementar a outras ferramentas de decisão.(GITMAN, 2017).

2.5.2 Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido é uma técnica aplicada para analisar o orçamento de capital, considerando o valor do dinheiro no tempo. O cálculo do VPL é determinado descontando o investimento inicial de um valor presente das entradas de caixa, considerando uma taxa de custo capital. (GITMAN, 2017).

De acordo com (GITMAN, 2017), o VPL, pode ser calculado pela Equação 4 :

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} - FC_0 \quad (4)$$

Onde:

VPL: Valor presente líquido (R\$);

FC_0 : Investimento inicial (R\$);

FC_t : Valor presente dos futuros fluxos de caixa (R\$);

r: Taxa de custo de oportunidade (%);

t: Período de investimento;

Segundo (GITMAN, 2017), a taxa de custo de oportunidade (r) corresponde a taxa de retorno mínima ou taxa mínima de atratividade (TMA). A taxa mínima de atratividade caracteriza-se como o valor mínimo de retorno esperado de um investimento. Como a taxa Selic, que é a taxa básica de juros da economia, tem reflexos nos rendimentos dos mais diversos tipos investimentos, definiu-se neste TCC que a taxa

mínima de atratividade para os projetos de investimento analisados foi baseada na taxa Selic. (BONA, 2017).

Na análise de riscos de um investimento, o VPL auxilia na tomada de decisão sobre a viabilidade financeira. Essa análise consiste na tomada de decisão de aceitar ou rejeitar o projeto. Segundo os critérios de seleção do VPL, para que um projeto seja aceito, o VPL deverá ser maior que zero. (ABREU et al., 2014; GITMAN, 2017). Se dois projetos concorrentes tiverem VPL positivos, o projeto com maior VPL é aquele mais atrativo.

2.5.3 Taxa interna de retorno

Segundo (GITMAN, 2017), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que, quando aplicada, iguala o VPL a zero, ou seja, o investimento inicial é igual ao valor presente dos futuros fluxos de caixa do investimento.

Segundo (GITMAN, 2017), a taxa interna de retorno pode ser determinada pela Equação 5:

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

Onde:

TIR: Taxa interna de retorno (R\$);

FC_0 : Investimento inicial (R\$);

FC_t : Valor presente dos futuros fluxos de caixa (R\$);

t: Período de investimento;

3 METODOLOGIA

O presente Trabalho de Conclusão de Curso realizou um estudo com base no consumo médio de energia elétrica de três empresas de áreas distintas de atuação localizadas nas cidades de Divinópolis-MG, Piumhi-MG e Ouro Fino-MG.

Foram coletadas as faturas de energia, do período de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021, para posterior análise de viabilidade econômica entre a implantação de projetos de sistemas fotovoltaicos e a adesão aos planos do programa Cemig SIM.

As empresas analisadas são consumidoras trifásicas, pertencentes ao grupo A, com consumo médio mensal superior a 500 KWh, o que as torna aptas a participarem do Cemig SIM. (CEMIG SIM, 2021b).

Os consumidores analisados neste trabalho estão inseridos na modalidade tarifária hora-sazonal verde. Nesta modalidade tarifária, na fatura de energia é realizado o faturamento com preços diferentes. O cálculo da fatura, utiliza como base o consumo em dois períodos diferentes do dia, o Horário de Ponta e o Horário Fora Ponta, em que é realizado o produto do consumo de energia elétrica em cada posto tarifário pelas suas respectivas tarifas horárias.

As tarifas do mês de janeiro de 2021 foram utilizadas como referência de preço do KWh e foram baseadas nas faturas coletadas dos consumidores. A tarifa no Horário Fora de Ponta foi de R\$ 0,4534 e a tarifa no Horário de Ponta é R\$2,0643. Desta forma, com base no histórico de consumo e nas tarifas referências, foram estimados o preço das faturas de energia de cada consumidor, sem a inserção de sistema fotovoltaico e sem os planos de desconto da Cemig SIM.

Com base no perfil de consumo e na localidade das empresas, foram levantados dados referentes a irradiação solar diária média mensal para as cidades de Divinópolis-MG, Piumhi-MG e Ouro Fino-MG. A irradiação solar média possibilita o cálculo da potência necessária para atender cada unidade consumidora, assim como estimar a geração média anual. (SUNDATA, 2021).

Para os cálculos da potência fotovoltaica dos sistemas em cada localidade, foi utilizado o mês com a menor irradiação média, visando a operação do sistema fotovoltaico no pior cenário, como por exemplo estações de inverno.

Com os dados referentes as irradiação solar diária média das localidades das empresas analisadas, prosseguiu-se com os projetos dos sistemas fotovoltaicos de cada

empresa. Para fundamentar a análise de viabilidade financeira, os módulos e inversores que compõem os sistemas fotovoltaicos dimensionados foram cotados no mercado.

De acordo com a Abinee, uma maneira de estimar os custos com cabeamentos e estruturas de fixação dos módulos é com base no valor dos módulos e inversores. Para isso, estes gastos foram estimados em 12% dos gastos com os módulos somados a 14% dos gastos com os inversores fotovoltaicos.(ABINEE, 2012).

O módulo fotovoltaico utilizado em todos os três projetos foi o CS3U-360P da Canadian Solar. As Tabelas 1,2 e 3 descrevem as características elétricas, mecânicas e os coeficientes de temperatura do painel selecionado.

Tabela 1 - Especificações técnicas do módulo fotovoltaico Canadian CS3U-360P.

Dados elétricos	
Potência máxima (Pmax)	360 W
Tensão máxima (Vmp)	39,6V
Corrente máxima (Imp)	9,10A
Tensão de circuito aberto (Voc)	47,0 V
Corrente de curto circuito (Isc)	9,67 V
Eficiência	18,2%

Fonte: (SOLAR INC, 2020)

Tabela 2 - Especificações mecânicas do painel fotovoltaico.

Características mecânicas	
Tipo de célula	Policristalina
Arranjo de células	144 [2 x(2x6)]
Dimensões	2000x992x35 mm
Peso	22,5 kg
Caixa de junção	IP68
Tolerância	0~ + 5W
Número de diodos <i>bypass</i>	3

Fonte: (SOLAR INC, 2020)

Tabela 3 - Especificações de temperatura do painel fotovoltaico.

Coefficientes de temperatura	
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,36 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,28 % / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Temperatura Nominal de Operação do Módulo	42 ± 3°C

Fonte: (SOLAR INC, 2020)

Para estimar a economia na fatura com a implantação do sistema fotovoltaico, o valor do KWh adotado foi baseado na tarifa cobrada no horário fora de ponta, no mês de janeiro de 2021. A tarifa no horário fora de ponta é de R\$ 0,4534, para consumidores

do grupo A, inseridos na modalidade tarifária hora-sazonal.

O aumento da tarifa de energia ao longo dos anos foi estimado com base em uma média dos reajustes e revisões ocorridas entre os anos de 2016 a 2020. Desta forma, foi adotado um reajuste de 5,14% ao ano, o que possibilita prever a economia anual com a instalação do sistema fotovoltaico, assim como o fluxo de caixa ao longo dos anos após o investimento.

Com o objetivo de estimar e comparar a economia na fatura energia elétrica com a implantação dos sistemas fotovoltaicos e com a adesão ao Cemig SIM, foram considerados três cenários:

- Cenário 1: Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem a adesão ao Programa Cemig SIM.
- Cenário 2: Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos instalados.
- Cenário 3: Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM.

Para determinar os indicadores Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 10% a.a, ou seja, superior a Taxa Selic (visando o pior cenário para o investimento em um sistema fotovoltaico). Além disso, foram consideradas as despesas com manutenção dos equipamentos sendo de 1% a.a sobre o valor do investimento, segundo (NAKABAYASHI, 2015). A degradação dos módulos fotovoltaicos foi adotada como 0,8%a.a de acordo com (PINHO; GALDINO, 2014). Posteriormente, esses investimentos foram comparados e analisadas as condições individuais de instalação de cada consumidor.

4 RESULTADOS

O capítulo 4, é destinado a apresentação dos resultados obtidos com base na metodologia apresentada no capítulo anterior.

4.1 Cenário 1: Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem a adesão ao Programa Cemig SIM

Nesta sessão, serão apresentados os consumidores selecionados para este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Além disso, serão demonstrados os resultados e análises obtidas com base no histórico de consumo e na modalidade tarifaria na qual estão inseridos atualmente. Todos os cálculos desta seção foram realizados no software Microsoft Excel. A Tabela 4 caracteriza de forma resumida os consumidores estudados.

Tabela 4 - Resumo dos consumidores.

Consumidor	Cidade	Ramo	Demanda Contratada (KW)	Transformador (KVA)
1	Divinópolis-MG	Indústria de Impressões Gráficas	80	112,5
2	Piumhi-MG	Exportadora de Grãos de Café	180	300
3	Ouro Fino-MG	Indústria de Peças Automotivas	700	700

Fonte: Próprio Autor.

Atualmente, os três consumidores apresentados na Tabela 4 não possuem painéis fotovoltaicos para compensação de créditos e nem programas de desconto na fatura de energia, o que caracteriza o Cenário 1 deste Trabalho de Conclusão de Curso.

As próximas subseções deste capítulo apresentarão o preço estimado das faturas de energia elétrica referentes aos consumos registrados em (KWh). Para as estimativas, foi realizado o produto do consumo de energia elétrica em cada posto tarifário pelas suas respectivas tarifas.

4.1.1 Consumidor 1

A Tabela 5 apresenta o histórico de consumo fornecido pelo Consumidor 1 e o preço estimado das faturas de energia elétrica sem a instalação de painéis fotovoltaicos ou a adesão do programa Cemig SIM.

Tabela 5- Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 1 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.

Mês/Ano	Consumo Ponta (KWh)	Consumo Fora de Ponta (KWh)	Consumo Total (KWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)
Fevereiro/2020	552	7.216	7.768	4.411,23
Março/2020	552	7.708	8.260	4.634,30
Abril/2020	414	6.724	7.138	3.903,28
Maió/2020	138	2.952	3.090	1.623,31
Junho/2020	276	2.788	3.064	1.833,83
Julho/2020	276	3.352	3.628	2.089,54
Agosto/2020	414	4.674	5.088	2.973,81
Setembro/2020	276	4.592	4.868	2.651,76
Outubro/2020	966	10.332	11.298	6.678,64
Novembro/2020	690	8.610	9.300	5.328,14
Dezembro/2020	828	10.086	10.914	6.282,23
Janeiro/2021	552	7.298	7.850	4.448,41
Total Anual:	5.934	76.332	82.266	46.858,49

Fonte: Próprio Autor.

Pela Tabela 5, foi calculado o consumo médio mensal no período de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021. O valor obtido é de 6.855,54KWh/mês. O consumo médio diário, considerando o mês composto por 30 dias, é de 228,49KWh/diários.

4.1.2 Consumidor 2

A Tabela 6 apresenta o histórico de consumo fornecido pelo Consumidor 2 e o preço estimado das faturas de energia elétrica sem a instalação de painéis fotovoltaicos ou a adesão do programa Cemig SIM.

Tabela 6 - Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 2 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.

Mês/Ano	Consumo Ponta (KWh)	Consumo Fora de Ponta (KWh)	Consumo Total (KWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)
Fevereiro/2020	560	5.460	6.020	3.631,57
Março/2020	420	5.740	6.160	3.469,52
Abril/2020	560	5.040	5.600	3.441,14
Mai/2020	420	3.780	4.200	2.580,86
Junho/2020	560	7.560	8.120	4.583,71
Julho/2020	1.680	15.540	17.220	10.513,86
Agosto/2020	2.100	14.000	16.100	10.682,63
Setembro/2020	1.540	10.360	11.900	7.876,25
Outubro/2020	700	7.280	7.980	4.745,76
Novembro/2020	560	6.720	7.280	4.202,86
Dezembro/2020	280	5.720	6.000	3.171,45
Janeiro/2021	840	7.840	8.680	5.288,67
Total Anual:	10.220	95.040	105.260	64.188,28

Fonte: Próprio Autor.

Com base no consumo total descrito na Tabela 6, o consumo médio mensal no período de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021, é de 8.771,67KWh/mês e o consumo médio diário, considerando o mês composto por 30 dias, é 292,39KWh.

4.1.3 Consumidor 3

Assim como para os consumidores anteriores, com base na fatura de energia cedida pelo Consumidor 3, a Tabela 7 demonstra o histórico de consumo e apresenta os preços estimados das faturas de energia elétrica sem sistema fotovoltaico instalado ou a adesão do programa Cemig SIM.

Tabela 7 - Preço das faturas de energia elétrica do Consumidor 3 sem a utilização de painéis fotovoltaicos ou a adesão ao programa Cemig SIM.

Mês/Ano	Consumo Ponta (KWh)	Consumo Fora de ponta (KWh)	Consumo Total (KWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)
Fevereiro/2020	2.800	60.900	157.500	33.392,10
Março/2020	7.000	150.500	135.800	82.686,80
Abril/2020	6.650	129.150	83.650	72.284,21
Mai/2020	4.200	79.450	33.250	44.692,69
Junho/2020	700	32.550	51.100	16.203,18
Julho/2020	1.400	49.700	73.500	25.424,00

Mês/Ano	Consumo Ponta (KWh)	Consumo Fora de ponta (KWh)	Consumo Total (KWh)	Fatura de Energia Elétrica (R\$)
Agosto/2020	1.400	72.100	120.050	35.580,16
Setembro/2020	1.750	118.300	130.900	57.249,75
Outubro/2020	2.450	128.450	164.400	63.296,77
Novembro/2020	4.450	159.950	158.200	81.707,47
Dezembro/2020	7.700	150.500	134.050	84.131,81
Janeiro/2021	6.300	127.750	63.700	70.926,94
Total Anual:	46.800	1.259.300	1.306.100	667.575,86

Fonte: Próprio Autor.

O consumo médio mensal para o mesmo período de fevereiro/2020 a janeiro/2021 é de 108.841,67KWh/mês. Considerando um mês formado por 30 dias, o consumo médio diário é de 3.628,06KWh/diários.

As próximas sessões descrevem os descontos obtidos nas faturas de energia com a instalação de painéis fotovoltaicos ou a participação no programa Cemig SIM.

4.2 Cenário 2: Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos instalados

Esta seção detalha a elaboração dos projetos fotovoltaicos para os consumidores descritos no item anterior, bem como os custos com equipamentos, instalação, documentação e frete. Além disso, apresentam os resultados da análise financeira do investimento em um sistema fotovoltaico.

4.2.1 Irradiação solar média

Para determinar a potência fotovoltaica necessária para atender cada consumidor, inicialmente foram levantados os dados referentes a irradiação solar média de cada cidade. As Tabelas 8, 9 e 10 apresentam os dados mensais médios de irradiação solar em kW/m²/dia, para as localidades dos consumidores.

Tabela 8- Irradiação solar média diária Divinópolis-MG.

Mês	Irradiação solar diária média (kWh/m².dia)
Janeiro	5,88
Fevereiro	6,03
Março	5,14
Abril	4,92
Mai	4,28
Junho	4,11
Julho	4,34
Agosto	5,25
Setembro	5,48
Outubro	5,58
Novembro	5,33
Dezembro	5,65
Média:	5,17

Fonte: (SUNDATA, 2021).

Tabela 9- Irradiação solar média diária Piumhi-MG.

Mês	Irradiação solar diária média(kWh/m².dia)
Janeiro	5,62
Fevereiro	5,90
Março	4,96
Abril	4,82
Mai	4,24
Junho	4,04
Julho	4,29
Agosto	5,21
Setembro	5,32
Outubro	5,55
Novembro	5,19
Dezembro	5,57
Média:	5,06

Fonte: (SUNDATA, 2021).

Tabela 10- Irradiação solar média diária Ouro Fino-MG.

Mês	Irradiação solar diária média(kWh/m².dia)
Janeiro	5,30
Fevereiro	5,57
Março	4,91
Abril	4,62
Mai	3,91

Mês	Irradiação solar diária média(kWh/m².dia)
Junho	3,65
Julho	3,88
Agosto	4,73
Setembro	4,95
Outubro	5,39
Novembro	5,48
Dezembro	5,69
Média:	4,84

Fonte: (SUNDATA, 2021).

Como é possível notar, para as três localidades o menor valor mensal médio de irradiação solar ocorre no mês de junho, que é definido como o mês de inverno no Brasil. Dessa forma, a irradiação solar diária média utilizada nos projetos fotovoltaicos foi a do mês de junho, prevendo que os painéis irão trabalhar no pior cenário, com pouca incidência.

A Tabela 11 indica o menor nível de irradiação solar diária média em cada cidade dos consumidores.

Tabela 11 - Menores níveis de irradiação solar diária média em cada localidade.

Consumidor	Localidade	Menores Níveis de Irradiação Solar Diária Média (kWh/m².dia)
1	Divinópolis-MG	4,11
2	Piumhi-MG	4,04
3	Ouro Fino-MG	3,65

Fonte: Adaptada SUNDATA (2021).

Na subseção a seguir, será detalhado os projetos fotovoltaicos para atender as cargas elétricas de cada consumidor.

4.2.2 Dimensionamento de sistemas fotovoltaico conectados à rede

Os resultados obtidos nos dimensionamentos projetos fotovoltaicos, assim como os custos, são apresentados subseções a seguir.

4.2.2.1 Consumidor 1

- **Dimensionamento do gerador**

A potência necessária para o atendimento do Consumidor 1, com base no consumo médio diário de 228,49KWh/diários e no nível de irradiação médio diário de 4,11(kWh/m².dia) é dada por:

$$P_{fv} = \frac{(228.490/0,75)}{4,11} = 74,13\text{KW}(\text{pico})$$

A quantidade de módulos de 360W(pico), necessários para atender a demanda de 74,13KW (pico) deste consumidor, é igual a:

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{74.130}{360} = 205,92 \approx 206 \text{ módulos}$$

- **Dimensionamento do inversor fotovoltaico**

Escolheu-se o inversor CSI-25KTL-GI-L, da marca Canadian Solar, que opera a uma potência de 25KW. Para atender a demanda de potência de 74,13KW(pico), foram utilizados três inversores de 25KW. A Tabela 12, descreve o inversor.

Tabela 12 - Inversor solar fotovoltaico CSI-25KTL-GI-LFL.

Dados de entrada CC	
Tensão máxima de entrada	1100V
Faixa de operação MPPT	200-850V
Corrente máxima de entrada	57A (28,5A por MPPT)
Corrente máxima de curto-circuito	89A (44,5A por MPPT)
Número de estradas	6 (3 por MPPT)
Dados de saída CA	
Potência nominal	25.000W
Tensão nominal de saída	220V
Faixa de tensão de saída	180-270V
Corrente máxima de saída	72,2A
Faixa de frequência	50-60Hz
Características do sistema	
Eficiência máxima	97%
Grau de proteção	IP65
Faixa de temperatura de operação	-25°C a +60°C

Fonte: (CANADIAN SOLAR, 2021).

O sistema foi projetado para que dois inversores operem com 4 fileiras, em que

destas, 3 fileiras trabalhem com 20 módulos em série e 1 fileira trabalhe com 9 módulos em série. O terceiro inversor foi projetado para operar com 4 fileiras de 17 módulos conectados em série.

O fator de dimensionamento do inversor (FDI):

$$FDI = \frac{75.000}{74.130} \approx 1,01$$

O fator de dimensionamento do inversor é admissível, pois está próximo do limite superior de 1,05.

- **Custos do projeto**

Os custos dos equipamentos dimensionados para compor este sistema fotovoltaico são descritos Tabela 13:

Tabela 13 – Custos do projeto fotovoltaico para o Consumidor 1.

Quantidade	Item	Valor unitário	Valor total
206	Módulos fotovoltaicos	R\$ 756,97	R\$ 155.935,82
3	Inversores - CSI-25KTL-GI-LFL	R\$ 18.334,99	R\$ 55.004,97
3	String Box ABB (4/2)	R\$ 1.399,00	R\$ 4.361,84
1	String Box ABB (2/1)	R\$ 868,26	R\$ 868,26
-	Cabeamentos e estruturas de fixação	-	R\$ 26.412,99
-	Projeto	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
	Frete e outros	R\$ 2.240,25	R\$ 2.240,25
Valor final do projeto:			R\$ 259.824,13

Fonte: Próprio Autor.

custos com cabeamentos e estruturas de fixação

No tópico a seguir, serão apresentados os resultados do estudo de viabilidade financeira deste investimento. Os cálculos foram realizados no Excel.

- **Análise financeira**

O perfil de investimento em um sistema fotovoltaico, previsto nos primeiros 25 anos para o Consumidor 1, é descrito nesta seção.

Tabela 14 – Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 1.

Ano	Eficiência do Sistema	Geração Média Anual (KWh)	Consumo Médio Anual (KWh)	Tarifa (R\$/KWh)	Economia Anual Estimada (R\$)	Despesas Anuais Com Manutenção	Fluxo de Caixa (R\$)
0							- 259.824,13
1	100,00%	103.410,00	82.266,54	0,4534	37.299,65	-2.598,24	-225.122,73
2	99,20%	102.582,72	82.266,54	0,4767	39.216,85	-2.624,22	-188.530,10
3	98,40%	101.755,44	82.266,54	0,5012	51.000,58	-2.650,47	-140.179,99
4	97,60%	100.928,16	82.266,54	0,5270	53.186,06	-2.676,97	-89.670,90
5	96,80%	100.100,88	82.266,54	0,5541	55.461,46	-2.703,74	-36.913,18
6	96,00%	99.273,60	82.266,54	0,5825	57.830,26	-2.730,78	18.186,30
7	95,20%	98.446,32	82.266,54	0,6125	60.296,05	-2.758,09	75.724,26
8	94,40%	97.619,04	82.266,54	0,6440	62.862,53	-2.785,67	135.801,13
9	93,60%	96.791,76	82.266,54	0,6771	65.533,55	-2.813,52	198.521,15
10	92,80%	95.964,48	82.266,54	0,7119	68.313,07	-2.841,66	263.992,56
11	92,00%	95.137,20	82.266,54	0,7484	71.205,18	-2.870,07	332.327,67
12	91,20%	94.309,92	82.266,54	0,7869	74.214,13	-2.898,78	403.643,02
13	90,40%	93.482,64	82.266,54	0,8274	77.344,27	-2.927,76	478.059,53
14	89,60%	92.655,36	82.266,54	0,8699	80.600,12	-2.957,04	555.702,61
15	88,80%	91.828,08	82.266,54	0,9146	83.986,34	-2.986,61	636.702,34
16	88,00%	91.000,80	82.266,54	0,9616	87.507,71	-3.016,48	721.193,57
17	87,20%	90.173,52	82.266,54	1,0110	91.169,19	-3.046,64	809.316,12
18	86,40%	89.346,24	82.266,54	1,0630	94.975,88	-3.077,11	901.214,89
19	85,60%	88.518,96	82.266,54	1,1176	98.933,03	-3.107,88	997.040,04
20	84,80%	87.691,68	82.266,54	1,1751	103.046,06	-3.138,96	1.096.947,15
21	84,00%	86.864,40	82.266,54	1,2355	107.320,53	-3.170,35	1.201.097,32
22	83,20%	86.037,12	82.266,54	1,2990	111.762,17	-3.202,05	1.309.657,44
23	82,40%	85.209,84	82.266,54	1,3658	116.376,87	-3.234,07	1.422.800,23
24	81,60%	84.382,56	82.266,54	1,4360	121.170,69	-3.266,41	1.540.704,51
25	80,80%	83.555,28	82.266,54	1,5098	126.149,86	-3.299,08	1.663.555,29

Fonte: Próprio Autor.

Com base nas estimativas para o investimento do Consumidor 1, demonstradas na Tabela 14, foram determinados os indicadores de viabilidade *Payback*, VPL e TIR, utilizando o software Microsoft Excel, descritos na Tabela 15.

Tabela 15– Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 1.

Indicadores de viabilidade financeira	
<i>Payback</i>	5 anos
VPL	R\$ 300.334,53
TIR	20,07%

Fonte: Próprio Autor.

O projeto fotovoltaico resultou em um VPL positivo, indicando que o faturamento obtido com o investimento é maior que as despesas do mesmo. Além disso, a TIR de 20,07% deste investimento ultrapassou a TMA de 10%, o que demonstra que

o investimento é recomendado. Estas figuras de mérito indicam a viabilidade do projeto.

4.2.2.2 Consumidor 2

- **Dimensionamento do gerador**

A potência necessária para o atendimento do Consumidor 2, com base no consumo médio diário de 292,39KWh/diários e no nível de irradiação médio diário de 4,04(kWh/m².dia) é dada por:

$$P_{fv} = \frac{(292.390/0,75)}{4,04} = 96,50KW(\text{pico})$$

A quantidade de módulos de 360W(pico), necessários para atender a demanda de 96,50KW (pico) desta unidade consumidora, é igual a:

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{96.500}{360} = 268,05 \approx 268 \text{ módulos}$$

- **Dimensionamento de inversor fotovoltaico**

Para o Consumidor 2, também foi escolhido o inversor CSI-25KTL-GI-L, da marca Canadian Solar, que opera a uma potência de 25KW. Suas especificações estão descritas na Tabela 12 da subseção 4.2.2.1. Para atender a demanda de potência de 96,50W (pico), foram utilizados quatro inversores de 25KW.

O sistema foi projetado para que 3 inversores trabalhem com 4 fileiras de 17 módulos conectados em série e o quarto inversor trabalhe com 4 fileiras de 16 módulos também conectados em série.

O fator de dimensionamento do inversor (FDI):

$$FDI = \frac{100.000}{96.500} \approx 1,04$$

O fator de dimensionamento do inversor é admissível, pois o valor está próximo do limite superior de 1,05.

- **Custos do projeto**

Os custos dos equipamentos dimensionados para compor este sistema

fotovoltaico são descritos na Tabela 16.

Tabela 16– Custos projeto fotovoltaico Consumidor 2.

Quantidade	Item	Valor unitário	Valor total
268	Módulos fotovoltaicos	R\$ 756,97	R\$ 202.867,96
4	Inversores - CSI-25KTL-GI-LFL	R\$ 18.334,99	R\$ 73.339,96
4	String Box ABB (4/2)	R\$ 1.399,00	R\$ 5.596
-	Cabeamentos e estruturas de fixação	-	R\$ 34.611,75
-	Projeto	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
	Frete e outros	R\$ 8.596	R\$ 8.595,54
Valor final do projeto:			R\$ 340.011,21

Fonte: Próprio Autor.

No tópico a seguir, serão apresentados os resultados do estudo de viabilidade financeira deste investimento. Os cálculos foram realizados no software Microsoft Excel.

- **Análise financeira**

O perfil de investimento em um sistema fotovoltaico, previsto nos primeiros 25 anos para o Consumidor 2, é descrito a seguir.

Tabela 17 – Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 2.

Ano	Eficiência do Sistema	Geração Média Anual (KWh)	Consumo Médio Anual (KWh)	Tarifa (R\$/KWh)	Economia Anual Estimada (R\$)	Despesas Anuais Com Manutenção	Fluxo de Caixa (R\$)
0							-340.011,21
1	100,00%	131.824,69	105.260	0,4534	47.724,88	-3.400,11	-295.686,44
2	99,20%	130.770,09	105.260	0,4767	50.177,94	-3.434,11	-248.942,61
3	98,40%	129.715,49	105.260	0,5012	52.757,09	-3.468,45	-199.653,97
4	97,60%	128.660,90	105.260	0,5270	55.468,80	-3.503,14	-147.688,31
5	96,80%	127.606,30	105.260	0,5541	58.319,90	-3.538,17	-92.906,58
6	96,00%	126.551,70	105.260	0,5825	61.317,54	-3.573,55	-35.162,59
7	95,20%	125.497,10	105.260	0,6125	64.469,26	-3.609,29	25.697,39
8	94,40%	124.442,51	105.260	0,6440	67.782,99	-3.645,38	89.834,99
9	93,60%	123.387,91	105.260	0,6771	71.267,03	-3.681,83	157.420,19
10	92,80%	122.333,31	105.260	0,7119	74.930,16	-3.718,65	228.631,69
11	92,00%	121.278,71	105.260	0,7484	78.781,57	-3.755,84	303.657,42
12	91,20%	120.224,12	105.260	0,7869	82.830,94	-3.793,40	382.694,96
13	90,40%	119.169,52	105.260	0,8274	87.088,45	-3.831,33	465.952,08
14	89,60%	118.114,92	105.260	0,8699	91.564,79	-3.869,64	553.647,23
15	88,80%	117.060,32	105.260	0,9146	96.271,23	-3.908,34	646.010,11
16	88,00%	116.005,73	105.260	0,9616	101.219,57	-3.947,42	743.282,25
17	87,20%	114.951,13	105.260	1,0110	106.422,25	-3.986,90	845.717,61
18	86,40%	113.896,53	105.260	1,0630	111.892,36	-4.026,77	953.583,20

Ano	Eficiência do Sistema	Geração Média Anual (KWh)	Consumo Médio Anual (KWh)	Tarifa (R\$/KWh)	Economia Anual Estimada (R\$)	Despesas Anuais Com Manutenção	Fluxo de Caixa (R\$)
19	85,60%	112.841,93	105.260	1,1176	117.643,62	-4.067,04	1.067.159,78
20	84,80%	111.787,34	105.260	1,1751	123.690,50	-4.107,71	1.186.742,58
21	84,00%	110.732,74	105.260	1,2355	130.048,20	-4.148,78	1.312.642,00
22	83,20%	109.678,14	105.260	1,2990	136.732,67	-4.190,27	1.445.184,40
23	82,40%	108.623,54	105.260	1,3658	143.760,73	-4.232,17	1.584.712,96
24	81,60%	107.568,95	105.260	1,4360	151.150,04	-4.274,50	1.731.588,50
25	80,80%	106.514,35	105.260	1,5098	158.919,15	-4.317,24	1.886.190,41

Fonte: Próprio Autor.

Com base nas estimativas para o investimento do Consumidor 2, demonstradas na Tabela 17, foram determinados os indicadores de viabilidade *Payback*, VPL e TIR, utilizando o software Microsoft Excel, descritos na Tabela 18.

Tabela 18 – Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 2.

Indicadores de viabilidade financeira	
<i>Payback</i>	6 anos
VPL	R\$ 291.359,77
TIR	17,59%

Fonte: Próprio Autor.

O projeto fotovoltaico resultou em um VPL positivo, indicando que o faturamento obtido com o investimento é maior que as despesas do mesmo. Além disso, a TIR de 17,59% deste investimento ultrapassou a TMA de 10% o que demonstra que o investimento é recomendado. Juntas, estas figuras de mérito indicam a viabilidade do projeto.

4.2.2.3 Consumidor 3

- **Dimensionamento do gerador**

A potência necessária para o atendimento do Consumidor 3, com base no consumo médio diário de 3.628,06KWh /diários e no nível de irradiação médio diário de 3,64 (KWh/m².dia), é dada por:

$$P_{FV} = \frac{(3.628.060/0,75)}{3,64} = 1.326,04 \text{ KW (pico)}$$

A quantidade de módulos de 360W(pico), necessários para atender a geração de

1.326,04KW (pico), é igual a:

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{1.326.040}{360} = 3.683,44 \approx 3.684 \text{ módulos}$$

A potência total do conjunto de módulos deve ser:

$$P_{\text{TOTAL}} = 3.684 \cdot 360 = 1.326,24(\text{KW})$$

Neste sistema, a potência CA na saída dos inversores é maior que a demanda contratada de 700KW, sendo necessário um aumento na demanda contratada. Desta forma, o dimensionamento foi realizado para que o sistema opere para atender metade do consumo da indústria, gerando 663,12KW.

A quantidade de módulos de 360W(pico), necessários para gerar 663,12KW (pico) deste consumidor, é igual a:

$$\text{Quantidade de módulos} = \frac{663.120}{360} = 1.842 \text{ módulos}$$

- **Dimensionamento de inversor fotovoltaico**

Escolheu-se o inversor GW50KLV-MT, da marca GoodWe, que opera a uma potência de 50KW. Para atender a demanda de potência de 663,12KW (pico), foram utilizados doze inversores de 50KW. A Tabela 19 descreve as características do inversor.

Tabela 19 - Inversor solar fotovoltaico GW50KLV-MT.

Dados de entrada CC	
Tensão máxima de entrada	800V
Faixa de operação MPPT	200-650V
Corrente máxima de entrada	(44A por MPPT)
Número de entradas	4 (4 por MPPT)
Dados de saída CA	
Potência nominal	50.000W
Tensão nominal de saída	220V
Faixa de tensão de saída	150-300V
Corrente máxima de saída	133A
Faixa de frequência	50-60 Hz
Características do sistema	
Eficiência máxima	98,7%
Grau de proteção	IP65
Faixa de temperatura de operação	-30°C a +60°C

Fonte: (GOODWE, [s. d.]).

O sistema foi projetado para que onze inversores operem com 10 fileiras de 16

módulos série. O décimo segundo inversor irá operar com 5 fileiras de 15 módulos série e 1 fileira de 7 módulos série.

O fator de dimensionamento do inversor (FDI):

$$FDI = \frac{600.000}{663.120} \approx 0,90$$

O fator de dimensionamento do inversor é admissível, pois o valor está próximo do limite superior de 1,05.

- **Custos do projeto**

Os custos dos equipamentos dimensionados para compor este sistema fotovoltaico são descritos na Tabela 20.

Tabela 20 – Custos sistema fotovoltaico consumidor 3.

Quantidade	Item	Valor unitário	Valor total
1.842	Módulos fotovoltaicos	R\$ 756,97	R\$ 1.394.338,74
12	Inversores – GW50KLV-MT	R\$ 39.278,76	R\$ 471.345,12
23	String Box ABB (4/2)	R\$ 1.399,00	R\$ 32.177,00
11	String Box ABB (2/1)	R\$ 868,26	R\$ 9.550,86
-	Cabeamentos e estruturas de fixação	-	R\$ 233.308,97
-	Projeto	R\$ 15.000,00	R\$ 15.000,00
.	Frete e outros	R\$ 10.000	R\$ 10.000
Valor final do projeto:			R\$ 2.165.720,69

Fonte: Próprio Autor.

No tópico a seguir, serão apresentados os resultados do estudo de viabilidade financeira deste investimento. Os cálculos foram realizados no Excel.

- **Análise financeira**

O perfil de investimento em um sistema fotovoltaico, previsto nos primeiros 25 anos para o Consumidor 3, é descrito a seguir.

Tabela 21– Fluxo de caixa do projeto de investimento do Consumidor 3.

Ano	Eficiência do Sistema	Geração Média Anual (KWh)	Consumo Médio Anual (KWh)	Tarifa (R\$/KWh)	Economia Anual Estimada (R\$)	Despesas Anuais Com Manutenção	Fluxo de Caixa (R\$)
0							-2.165.720,69
1	100,00%	866.311,57	653.050	0,4534	296.092,87	-21.657,21	-1.891.285,02
2	99,20%	859.381,08	653.050	0,4767	311.312,04	-21.873,78	-1.601.846,76
3	98,40%	852.450,59	653.050	0,5012	327.313,48	-22.092,52	-1.296.625,79
4	97,60%	845.520,09	653.050	0,5270	344.137,40	-22.313,44	-974.801,84
5	96,80%	838.589,60	653.050	0,5541	361.826,06	-22.536,58	-635.512,36
6	96,00%	831.659,11	653.050	0,5825	380.423,92	-22.761,94	-277.850,38
7	95,20%	824.728,62	653.050	0,6125	399.977,71	-22.989,56	99.137,76
8	94,40%	817.798,12	653.050	0,6440	420.536,56	-23.219,46	496.454,87
9	93,60%	810.867,63	653.050	0,6771	442.152,14	-23.451,65	915.155,35
10	92,80%	803.937,14	653.050	0,7119	464.878,76	-23.686,17	1.356.347,95
11	92,00%	797.006,65	653.050	0,7484	488.773,53	-23.923,03	1.821.198,44
12	91,20%	790.076,15	653.050	0,7869	513.896,49	-24.162,26	2.310.932,67
13	90,40%	783.145,66	653.050	0,8274	540.310,77	-24.403,88	2.826.839,56
14	89,60%	776.215,17	653.050	0,8699	568.082,74	-24.647,92	3.370.274,37
15	88,80%	769.284,68	653.050	0,9146	597.282,19	-24.894,40	3.942.662,17
16	88,00%	762.354,18	653.050	0,9616	627.982,50	-25.143,34	4.545.501,32
17	87,20%	755.423,69	653.050	1,0110	660.260,80	-25.394,78	5.180.367,34
18	86,40%	748.493,20	653.050	1,0630	694.198,20	-25.648,73	5.848.916,82
19	85,60%	741.562,71	653.050	1,1176	729.879,99	-25.905,21	6.552.891,59
20	84,80%	734.632,21	653.050	1,1751	767.395,82	-26.164,27	7.294.123,15
21	84,00%	727.701,72	653.050	1,2355	806.839,97	-26.425,91	8.074.537,21
22	83,20%	720.771,23	653.050	1,2990	848.311,54	-26.690,17	8.896.158,58
23	82,40%	713.840,74	653.050	1,3658	891.914,76	-26.957,07	9.761.116,27
24	81,60%	706.910,24	653.050	1,4360	937.759,17	-27.226,64	10.671.648,80
25	80,80%	699.979,75	653.050	1,5098	985.960,00	-27.498,91	11.630.109,89

Fonte: Próprio Autor.

Com base nas estimativas para o investimento do Consumidor 3, demonstradas na Tabela 21, foram determinados os indicadores de viabilidade Payback, VPL e TIR, utilizando o software Microsoft Excel, descritos na Tabela 22.

Tabela 22 – Demonstrativo dos indicadores de viabilidade do projeto fotovoltaico para o Consumidor 3.

Indicadores de viabilidade financeira	
<i>Payback</i>	6 anos
VPL	R\$ 1.745.897,72
TIR	17,18%

Fonte: Próprio Autor.

O projeto fotovoltaico resultou em um VPL positivo, indicando que o faturamento obtido com o investimento é maior que as despesas do mesmo. Além disso, a TIR de 17,18% deste investimento ultrapassou a TMA de 10% o que demonstra que

o investimento é recomendado. Estas figuras de mérito indicam a viabilidade do projeto.

4.3 Cenário 3: Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM.

A seguir serão apresentadas das simulações realizadas no site do Programa Cemig SIM.

4.3.1 Consumidor 1

Com base no consumo médio mensal de 6.855,54KWh mensais utilizado para as simulações no site da Cemig SIM, a análise do perfil de consumo de energia do simulador enquadrou o consumidor na faixa de consumo de 5.000KWh a 50.000KWh mensais. A Tabela 23 demonstra os resultados da simulação realizada para este consumidor.

Tabela 23 - Simulação Consumidor 1.

Plano	Período (anos)	Desconto Percentual	Economia Anual Aproximada (R\$)
SIM 12	1	14%	8.625,60
SIM 36	3	16%	9.857,88
SIM 60	5	18%	11.090,04

Fonte: (CEMIG SIM, 2021).

4.3.2 Consumidor 2

Com base no consumo médio mensal de 8.771,67KWh mensais utilizado para as simulações no site da Cemig SIM, a análise do perfil de consumo de energia do simulador enquadrou o consumidor na faixa de consumo de 5.000KWh a 50.000KWh mensais. A Tabela 24 demonstra os resultados da simulação realizada para este consumidor.

Tabela 24 - Simulação Consumidor 2.

Plano	Período (anos)	Desconto Percentual	Economia Anual Aproximada (R\$)
SIM 12	1	14%	R\$ 11.070,60
SIM 36	3	16%	R\$ 12.652,08
SIM 60	5	18%	R\$ 14.233,56

Fonte: (CEMIG SIM, 2021).

4.3.3 Consumidor 3

Para este consumidor, foi realizada uma simulação para seu consumo médio mensal de 108.841,67KWh mensais e posteriormente comparado com o sistema fotovoltaico projetado para operar no limite da demanda. Como o sistema fotovoltaico opera no limite da demanda contratada, diferente dos Consumidores 1 e 2, com o investimento fotovoltaico este consumidor paga a concessionária, o consumo que seu sistema fotovoltaico não compensa. Desta forma, além das despesas com a demanda contratada, manutenção, taxa de iluminação pública, demanda contratada e entre outros encargos, o consumidor pagará a parcela do consumo de energia que o sistema não gera.

Com base no consumo médio mensal de 108.841,67KWh mensais utilizado para as simulações no site da Cemig SIM, a análise do perfil de consumo de energia do simulador enquadrou o consumidor na faixa de consumo de 50.000KWh a 1.000.000KWh mensais.

A Tabela 25 demonstra os resultados das simulações realizadas para este consumidor, no site Cemig SIM.

Tabela 25 - Simulação Consumidor 3.

Plano	Período (anos)	Desconto Percentual	Economia Anual Aproximada (R\$)
SIM 12	1	14%	R\$ 138.818,88
SIM 36	3	16%	R\$ 158.650,20
SIM 60	5	18%	R\$ 178.481,40

Fonte: (CEMIG SIM, 2021).

A subseção a seguir, apresenta um comparativo entre os consumidores com sistema fotovoltaico instalado e sem sistema fotovoltaico instalado.

4.4 Comparativo entre os consumidores com sistema fotovoltaico instalado e com adesão ao programa Cemig SIM

Nesta subseção, serão comparadas as faturas de energia elétrica entre os consumidores com sistema fotovoltaico instalado e com adesão ao programa Cemig SIM.

Para as estimativas das faturas de energia elétrica do Cenário 3 (Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM), os descontos obtidos nas simulações realizadas no site do Programa Cemig SIM, foram aplicados nas faturas estimadas no Cenário 1 (Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM).

4.4.1 Consumidor 1

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 26 demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 12, do programa Cemig SIM.

Tabela 26 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 12.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 12 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 12
1	46.858,49	0,00	38.232,89	18,41%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 12, obtém-se um desconto no ano de R\$ 8.625,60, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM) é equivalente a um lucro de 18,41%, que pode ser investido em outras aplicações. Porém, mesmo com o desconto anual, estima-se uma despesa total de R\$ 38.232,89.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 5 anos e o investimento não gerará lucros antes de 1 ano, período de duração do plano SIM 12.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 27 demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 36 da Cemig SIM.

Tabela 27 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 36.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 36 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 36
1	46.858,49	0,00	37.000,61	21,04%
2	49.267,02	0,00	39.409,14	20,01%
3	51.799,34	0,00	41.941,46	19,03%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 36, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 9.857,88 ao ano, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão aos planos Cemig SIM) resulta em lucro percentual médio de 20% obtido ao longo de três anos de plano. Porém, mesmo com os descontos anuais, em três anos estima-se uma despesa total de R\$ 118.351,21.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 5 anos e o investimento não gerará lucros antes de 3 anos, período de duração do plano SIM 36.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 28, demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 60 da Cemig SIM.

Tabela 28 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 1 com a adesão ao plano SIM 60.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 60 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 60
1	46.858,49	0,00	35.768,45	23,67%
2	49.267,02	0,00	38.176,98	22,51%
3	51.799,34	0,00	40.709,30	21,41%
4	54.461,83	0,00	43.371,79	20,36%
5	57.261,17	0,00	46.171,13	19,37%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 60, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 11.090,04 ao ano, que se comparado com o faturamento do Cenário 1 (sem instalação de painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM) resulta em

um lucro percentual médio de aproximadamente 21,46% por ano, obtido ao longo dos cinco anos de plano. Porém, mesmo com os descontos anuais que a adesão ao plano proporciona, é estimada uma despesa total em cinco anos, de R\$ 204.197,64.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 5 anos e o investimento não gerará lucros antes deste tempo, somente no 6 ano observa-se um lucro, equivalente a R\$ 18.186,30, descrito no fluxo de caixa da subseção 4.2.2.1. Este lucro obtido no 6 ano do investimento é inferior ao lucro obtido com os descontos do plano SIM 60 que totalizam R\$ 55.450,20 (R\$11.090,04 de desconto por ano).

A Tabela 29 demonstra um resumo comparativo entre as faturas de energia anuais para os cenários: Cenário 1 (Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM); Cenário 2 (Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos); Cenário 3 (Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM).

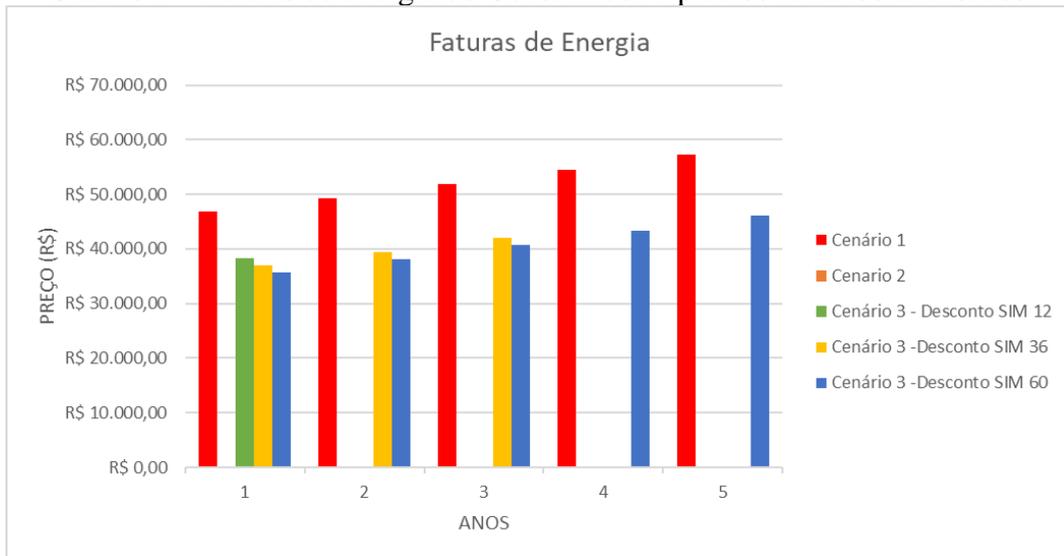
Tabela 29 – Resumo das faturas de energia elétrica nos cenários analisados para o Consumidor 1.

Ano	Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário 3		
			Plano SIM 12 (R\$)	Plano SIM 36 (R\$)	Plano SIM 60 (R\$)
1	46.858,49	0,00	38.232,89	37.000,61	35.768,45
2	49.267,02	0,00	-	39.409,14	38.176,98
3	51.799,34	0,00	-	41.941,46	40.709,30
4	54.461,83	0,00	-	-	43.371,79
5	57.261,17	0,00	-	-	46.171,13
Despesas Totais	259.647,84	0,00	38.232,89	118.351,21	204.197,64

Fonte: Próprio Autor.

O gráfico abaixo, apresenta as faturas de energia elétrica nos três cenários analisados.

Gráfico 1 – Faturas de energia do Consumidor 1 para os cenários analisados.



Fonte: Próprio Autor.

Analisando o investimento em um sistema fotovoltaico com relação a adesão aos planos ofertados pela Cemig SIM para este consumidor, o investimento em um sistema fotovoltaico próprio se mostrou mais atrativo, tendo em vista os resultados obtidos com os indicadores de atratividade, onde o VPL foi positivo e a TIR maior que a taxa mínima de atratividade.

Estima-se que o sistema fotovoltaico opere, nos primeiros 5 anos, basicamente para pagar o investimento e despesas, e só proporcione lucros expressivos a partir do 6 ano porem o sistema consegue compensar todo o consumo de energia. Para este consumidor, os planos Cemig SIM oferecem uma redução menor da fatura de energia se comparado ao sistema fotovoltaico. Além disso, passado os períodos iniciais de compensação do investimento inicial, os lucros obtidos com sistema fotovoltaico são superiores aos lucros obtidos com os três planos do programa Cemig SIM.

4.4.2 Consumidor 2

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 30 demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 12, da Cemig SIM.

Tabela 30 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 12.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 12 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 12
1	64.188,28	0,00	53.117,68	17,25%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 12, obtém-se um desconto no ano de R\$ 11.070,60, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM) é equivalente a um lucro de 17,25%, que pode ser investido em outras aplicações. Porém, mesmo com o desconto anual, estima-se uma despesa total no ano de R\$ 53.117,68.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 6 anos e o investimento não irá gerar lucros antes de 1 ano, período de duração do plano SIM 12.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 31, demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 36, da Cemig SIM.

Tabela 31 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 36.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 36 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 36
1	64.188,28	0,00	51.536,20	19,71%
2	67.487,56	0,00	54.835,48	18,75%
3	70.956,42	0,00	58.304,34	17,83%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 36, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 12.652,08 ao ano, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM), resulta em lucro percentual médio

de 18,76% obtido ao longo de três anos de plano. Porém, mesmo com os descontos anuais, em três anos estima-se uma despesa total de R\$ 164.676,02

Como para o investimento neste sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 6 anos, não haverá lucros antes de 3 anos, período de duração do plano SIM 36.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 32, demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 60, da Cemig SIM

Tabela 32 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 2 com a adesão ao plano SIM 60.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 60 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 60
1	64.188,28	0,00	49.954,72	22,17%
2	67.487,56	0,00	53.254,00	21,09%
3	70.956,42	0,00	56.722,86	20,06%
4	74.603,58	0,00	60.370,02	19,08%
5	78.438,20	0,00	64.204,64	18,15%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 60, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 14.233,56 ao ano, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM) resulta em um lucro percentual médio de aproximadamente 20,11% por ano, obtido ao longo dos cinco anos de plano. Porém, mesmo com os descontos anuais, em cinco anos estima-se uma despesa total de R\$ 284.506,25

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, observa-se um lucro, equivalente a R\$ 25.697,39 apenas no 7 ano do investimento, descrito no fluxo de caixa da subseção 4.2.2.2. Esse lucro é inferior aos descontos somados obtidos nos cinco anos de adesão ao plano SIM 60 e superior aos descontos somados obtidos nos planos SIM 12 de 1 ano e SIM 36 de 3 anos.

A Tabela 33 demonstra comparativo entre as faturas de energia anuais para os cenários: Cenário 1 (Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM); Cenário 2 (Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos); Cenário 3 (Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM).

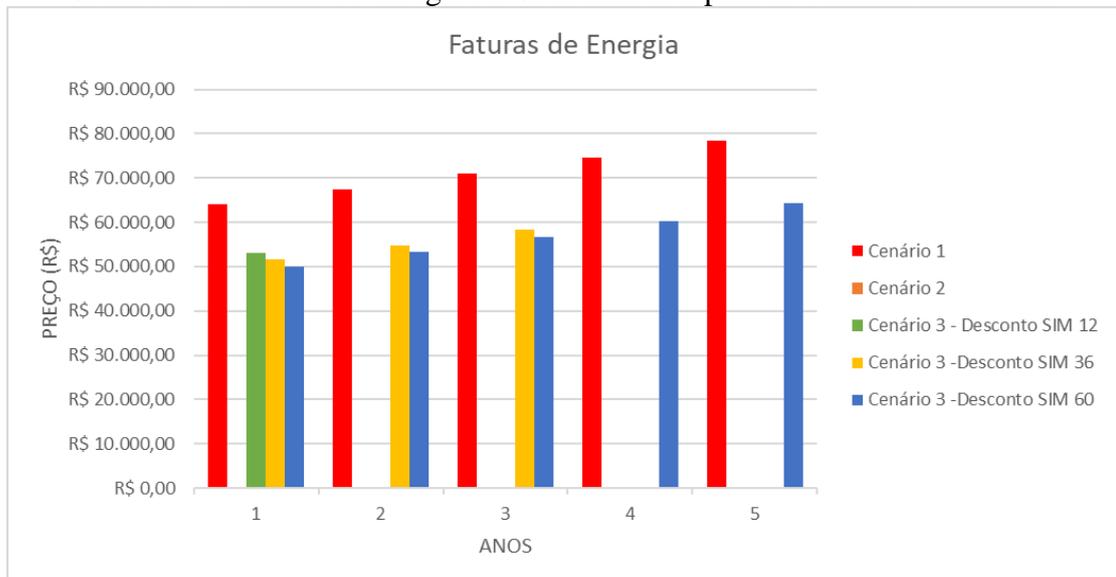
Tabela 33 – Resumo das faturas de energia do Consumidor 2 nos cenários analisados.

Ano	Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário 3		
			Plano SIM 12 (R\$)	Plano SIM 36 (R\$)	Plano SIM 60 (R\$)
1	64.188,28	0,00	53.117,68	51.536,20	49.954,72
2	67.487,56	0,00	-	54.835,48	53.254,00
3	70.956,42	0,00	-	58.304,34	56.722,86
4	74.603,58	0,00	-	-	60.370,02
5	78.438,20	0,00	-	-	64.204,64
Despesas Totais	355.674,05	0,00	53.117,68	164.676,02	284.506,25

Fonte: Próprio Autor.

O gráfico abaixo, apresenta as faturas de energia elétrica nos três cenários analisados.

Gráfico 2 – Faturas de energia do Consumidor 2 para os cenários analisados.



Fonte: Próprio Autor.

Analisando o investimento em um sistema fotovoltaico com relação a adesão aos planos ofertados pela Cemig SIM para este consumidor, o investimento em um sistema fotovoltaico próprio se mostrou mais atrativo, tendo em vista os resultados obtidos com os indicadores de atratividade, onde o VPL foi positivo e a TIR maior que a taxa mínima de atratividade.

Mesmo que sistema fotovoltaico nos primeiros 6 anos opere basicamente para

pagar o investimento e despesas, e só proporcione lucros superiores ao programa a partir do 7 ano, os planos Cemig SIM oferecem uma redução menor da fatura de energia se comparado ao sistema fotovoltaico. Além disso, passado os períodos iniciais de compensação do investimento inicial, os lucros obtidos com sistema fotovoltaico são superiores aos lucros obtidos com os três planos da Cemig sim.

O local em que está localizada a empresa do consumidor proporciona uma extensa área sem sombreamento, possibilitando a instalação dos painéis. Desta forma, o programa Cemig SIM se torna menos atrativo para este consumidor.

4.4.3 Consumidor 3

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 34 demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 12, da Cemig SIM.

Tabela 34 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 12.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 12 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 12
1	667.575,86	296.092,87	528.756,98	20,79%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 12, obtém-se um desconto no ano de R\$ 138.818,88, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM), é equivalente a um lucro de 20,79%, que pode ser investido em outras aplicações. Porém, mesmo com o desconto anual, estima-se uma despesa total no ano de R\$ 528.756,98.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 6 anos o investimento não irá gerar lucros antes de 1 ano, período de duração do plano SIM 12.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 35, demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 36, da Cemig SIM.

Tabela 35 - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 36.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 36 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 36
1	667.575,86	296.092,87	508.925,66	23,77%
2	701.889,26	311.312,04	543.239,06	22,60%
3	737.966,37	327.313,48	579.316,17	21,50%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 36, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 158.650,20 ao ano, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM) resulta em lucro percentual médio de 22,62% obtido ao longo de três anos de plano. Porém, mesmo com os descontos anuais, em três anos estima-se uma despesa total de R\$ 1.631.480,89.

Como para o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 6 anos, não haverá lucros antes de 3 anos, período de duração do plano SIM 36.

Com base na faixa de consumo mensal deste consumidor, a Tabela 36, demonstra a economia na fatura de energia com a adesão ao plano SIM 60, da Cemig SIM

Tabela 36- - Economia nas faturas de energia elétrica do Consumidor 3 com a adesão ao plano SIM 60.

Ano	Cenário 1 Fatura Anual (R\$)	Cenário 2 Fatura Anual (R\$)	Cenário 3 Fatura Anual SIM 60 (R\$)	Lucro Percentual Anual SIM 60
1	667.575,86	296.092,87	489.094,46	26,74%
2	701.889,26	311.312,04	523.407,86	25,43%
3	737.966,37	327.313,48	559.484,97	24,19%
4	775.897,84	344.137,40	597.416,44	23,00%
5	815.778,99	361.826,06	637.297,59	21,88%

Fonte: Próprio Autor.

Com a inserção do plano SIM 60, obtém-se um desconto de aproximadamente R\$ 178.481,40 ao ano, que se comparado com o faturamento Cenário 1 (sem sistema fotovoltaico e sem adesão ao programa Cemig SIM) resulta em lucro percentual médio de aproximadamente 24,25% por ano, obtido ao longo dos cinco anos de plano. Porém,

mesmo com os descontos anuais, em cinco anos estima-se uma despesa total de aproximadamente R\$ 2.806.701,31.

Com o investimento em um sistema fotovoltaico, o tempo de retorno do investimento ocorrerá após 6 anos e o investimento não irá gerar lucros antes deste tempo, apenas no 7 ano observa-se um lucro, equivalente a R\$ 99.137,76 que é descrito no fluxo de caixa da subseção 4.2.2.3. Este lucro, obtido no 7 ano do investimento, é inferior ao somatório dos lucros obtidos em cinco anos com os descontos do plano SIM 60, que totalizam R\$ 892.407,00 (R\$ 171.481,40 de desconto por ano).

A Tabela 37 demonstra comparativo entre as faturas de energia anuais para os cenários: Cenário 1 (Consumidores sem a utilização de painéis fotovoltaicos e sem adesão ao programa Cemig SIM); Cenário 2 (Consumidores utilizando painéis fotovoltaicos); Cenário 3 (Consumidores com adesão ao Programa Cemig SIM).

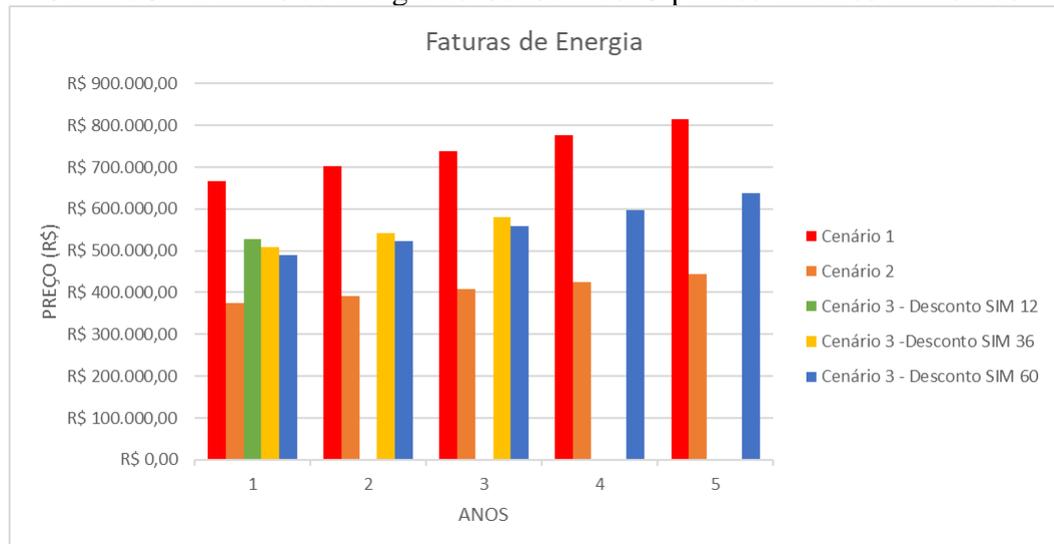
Tabela 37– Resumo das faturas de energia nos cenários analisados do Consumidor 3.

Ano	Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Cenário 3		
			Plano SIM 12 (R\$)	Plano SIM 36 (R\$)	Plano SIM 60 (R\$)
1	667.575,86	296.092,87	528.756,98	508.925,66	489.094,46
2	701.889,26	311.312,04	-	543.239,06	523.407,86
3	737.966,37	327.313,48	-	579.316,17	559.484,97
4	775.897,84	344.137,40	-	-	597.416,44
5	815.778,99	361.826,06	-	-	637.297,59
Despesas Totais	3.699.108,31	1.640.681,85	528.756,98	1.631.480,89	2.806.701,31

Fonte: Próprio Autor.

O gráfico abaixo, apresenta as faturas de energia elétrica nos três cenários analisados.

Gráfico 3 – Faturas de energia do Consumidor 3 para os cenários analisados.



Fonte: Próprio Autor.

Analisando o investimento em um sistema fotovoltaico com relação a adesão aos planos ofertados pelo programa Cemig SIM, para este consumidor o investimento em um sistema fotovoltaico próprio se mostrou atrativo, tendo em vista os resultados obtidos com os indicadores de atratividade, onde o VPL foi positivo e a TIR maior que a taxa mínima de atratividade.

Mesmo que o sistema fotovoltaico tenha sido projetado para trabalhar aproximadamente no limite da demanda contratada e não gere o suficiente para compensar todo o consumo, ainda assim, a partir do 6 ano, o investimento começa a gerar lucros, porém é somente a partir do 9 ano que os lucros do investimento fotovoltaico superam a adesão ao plano SIM 60.

O local em que está localizada a empresa do consumidor proporciona uma extensa área sem sombreamento, com possibilidade de instalações dos painéis no solo. Porém, para que o sistema fotovoltaico gere o suficiente para compensar 100% do consumo da empresa, será necessário um aumento na demanda contratada e o investimento seria duplicado. Assim, os planos da Cemig SIM se tornam viáveis para este consumidor.

5 CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso apresentou um estudo de viabilidade econômica entre a instalação de um sistema fotovoltaico próprio e a adesão ao programa Cemig SIM, para consumidores do grupo A.

Os resultados obtidos demonstram que quanto maior o consumo de energia elétrica, maiores são os sistemas fotovoltaicos instalados e os tempos de retorno do investimento.

Diante dos planos de descontos nas faturas de energia elétrica, ofertados pelo programa Cemig SIM, observa-se que o plano SIM 12 e SIM 36 oferecem descontos pouco expressivos devido o curto tempo de duração de 1 ano (12 meses) e 3 anos (36 meses) respectivamente, quando comparado a instalação de um sistema fotovoltaico, que é um investimento de longo prazo. Porém, como o investimento fotovoltaico tem um tempo de retorno do investimento, o plano SIM 12, assim como o plano SIM 36, podem ser alternativas para consumidores que preferirem uma redução mais rápida e sem investimento na fatura de energia. O plano da Cemig SIM 60 é uma boa alternativa para consumidores que não investem em um sistema fotovoltaico próprio.

Como o investimento em um sistema fotovoltaico tem uma durabilidade de aproximadamente 25 anos, mesmo com as despesas de compra e instalação do projeto, despesas com manutenção, operação e entre outros ao longo do tempo, para consumidores do grupo A, com condições de investir em um sistema fotovoltaico próprio, sem limitações de local para instalação dos painéis e que o sistema instalado consiga compensar boa parcela do seu consumo, é um investimento que proporciona lucros mais expressivos que os planos de desconto do programa Cemig SIM.

Por ser um programa novo e que está em constantes modificações, é necessário realizar uma análise dos impactos dessas mudanças ao longo dos anos.

6 REFERENCIAS

ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira Preparado por.** [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2021.

ABREU, José Carlos Franco Filho *et al.* **Finanças corporativas.** 11. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014. v. 1

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687.** [S. l.], 2015.

Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 7 maio 2021.

BLUE SOL, Energia Solar. **Geração Compartilhada: o Início do Condomínio Solar**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/geracao-compartilhada/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

BONA, ANDRÉ. **Descubra o que é VPL e sua importância nos investimentos**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://andrebona.com.br/descubra-o-que-e-vpl-e-qual-sua-importancia-nos-investimentos/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

CANADIAN SOLAR, INC. **Trifásicos 220V (01.2021)**. Datasheet. Concessão: 2021.

CARNEIRO, Joaquim. **Módulos fotovoltaicos: Características e associações**. [S. l.: s. n.], 2010.

CEMIG SIM. **CEMIG S!M**. [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.cemigsim.com.br/home>. Acesso em: 10 dez. 2020.

CEMIG SIM. **Cemig SIM: Soluções em energia limpa e renovável com qualidade**. [S. l.], 2021a. Disponível em: <https://cemigsim.com.br/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

CEMIG SIM. **Como Funciona a Compensação de Energia**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://cemigsim.com.br/blog/compensacao-de-energia>. Acesso em: 17 jan. 2021.

CEMIG SIM. **Fazenda Solar - Cemig SIM**. [S. l.], 2021b. Disponível em: <https://cemigsim.com.br/fazenda-solar>. Acesso em: 18 mar. 2021.

CEMIG SIM. **Tudo pelo site: Saiba como simular e solicitar uma proposta SIM**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://cemigsim.com.br/blog/simular-e-solicitar-proposta-sim>. Acesso em: 17 jan. 2021.

CRESESB/CEPEL. **Energia Solar - Princípios e Aplicações**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf. Acesso em: 13 mar. 2021.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=331. Acesso em: 12 jul. 2021.

ECOMAIS. **Energia Solar**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://www.ecomais.ind.br/energia-solar>. Acesso em: 18 mar. 2021.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/Caderno_MMGD_Baterias_vf13.pdf. Acesso em: 13 jul. 2021.

FREITAS, Susana Sofia Alves. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. 2008. - Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão, [s. l.], 2008. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/2098/1/Susana_Freitas_MEI_2008.pdf. Acesso em: 9 mar. 2021.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 14. ed. São Paulo: Editora Pearson, 2017. *E-book*.

GOODWE. **Datasheet Inversor 50kw 3x380V**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: https://solar.ourolux.com.br/media/sparsh/product_attachment/Datasheet_-_Inversor_de_50_0kW_-_3x380V_-_GoodWe_MT.pdf. Acesso em: 13 jun. 2021.

IMHOFF, Johninon. Desenvolvimento de Conversores estáticos para sistemas autônomos. **Universidade Federal de Santa Maria**, [s. l.], p. 146, 2007.

MINHA CASA SOLAR. **Energia-compartilhada**. [S. l.], 2018. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/beneficios-de-gerar-sua-propria-energia/energia-compartilhada/>. Acesso em: 18 mar. 2021.

MME, Ministério de Minas Energia; EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031>. Acesso em: 12 jul. 2021.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica**. 2015. - USP, [s. l.], 2015. Disponível em: http://200.144.182.130/iee/lfs/sites/default/files/Dissertacao_Renny_vfinal.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.

ORIOI PLANAS. **Qual é o efeito fotovoltaico? Luz e eletricidade**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://pt.solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/efeito-fotovoltaico>. Acesso em: 11 mar. 2021.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S. l.], 2014. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 12 jul. 2021.

PORTAL SOLAR. **Conheça inversor solar: on grid, off grid e híbrido – Portal Solar**. [S. l.], 2020a. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-inversor-solar.html>. Acesso em: 9 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Efeito Fotovoltaico X Efeito Fotoelétrico - O que são e quais as diferenças**. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/efeito-fotovoltaico-x-efeito-fotoeletrico-o-que-sao-quais-diferencas>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. [S. l.], 2020b. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PORTAL SOLAR. **Fazenda solar traz redução de 15% na conta de luz em Minas Gerais**. [S. l.], 2020c. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/fazenda-solar-traz-reducao-de-15-na-conta-de-luz-em-minas-gerais.html>. Acesso em: 12 jan. 2021.

SOLAR INC, Canadian. **KuMax CS3U-P High Efficiency**. CS3U-365P. Concessão: 2020.

SOLAR PRIME. **Inversor solar: o que é e para que serve?**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://blog.solarprime.com.br/inversor-solar-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

SOLAR PRIME. **Tudo que você precisa saber sobre o relógio bidirecional de energia solar**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://blog.solarprime.com.br/relogio-bidirecional-de-energia-solar/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

SOLARVOLT ENERGIA. **Fazenda Solar: Tudo o que você precisa saber**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/fazenda-solar-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SOLENERGIA. **Energia solar fotovoltaica: como funciona o inversor grid tie**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.solenenergia.com.br/blog/inversor-grid-tie/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

SUNDATA. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 27 maio 2021.

ZILLES, Roberto *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2012. v. 1 *E-book*.