

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO E GESTÃO DO
AMBIENTE CONSTRUÍDO

Marleide Gonçalves Santiago

**ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES
NA CIDADE DE MONTES CLAROS-MG**

Belo Horizonte

2021

Marleide Gonçalves Santiago

**ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES
NA CIDADE DE MONTES CLAROS-MG**

Monografia de especialização apresentada
à Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Especialista
Produção e Gestão do Ambiente
Construído

Orientador: Silvio Romero Fonseca Motta

Belo Horizonte

2021

S235e	<p>Santiago, Marleide Gonçalves. Energia fotovoltaica em edificações residenciais unifamiliares na cidade de Montes Claros-MG [recurso eletrônico] / Marleide Gonçalves Santiago. – 2021. 1 recurso online (49 f. : il., color.) : pdf.</p> <p>Orientador: Silvio Romero Fonseca Motta.</p> <p>“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”</p> <p>Anexos: f. 48-49.</p> <p>Bibliografia: f. 46-47. Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p> <p>1. Construção civil. 2. Geração de energia fotovoltaica. 3. Sustentabilidade. I. Motta, Silvio Romero Fonseca II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 69</p>
-------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: MARLEIDE GONÇALVES SANTIAGO

MATRÍCULA: 2018718350

RESULTADO

Aos 23 dias do mês de abril de 2021 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

“ENERGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES NA CIDADE DE MONTESCLAROS-MG”

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 85

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Silvio Romero Fonseca Motta

Nome



Assinatura

Prof.^ª. Dr.^ª. Paula Bamberg

Nome

Paula
Bamberg:599
62291615

Assinatura

Assinado de forma digital por Paula Bamberg:59962291615
Dados: 2021.06.07 15:36:47 -03'00'

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 23 de abril de 2021

Antonio Neves de
Carvalho
Junior:78724104604

Assinado de forma digital por Antonio Neves de Carvalho Junior:78724104604
Dados: 2021.06.07 16:47:43 -03'00'

Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por me permitir, mais uma vez, vencer uma etapa importante!

Ao meu esposo Valmar, que sempre foi o meu maior companheiro e incentivador.

Aos colegas e professores que fizeram parte desta caminhada.

Agradeço em especial ao Silvio, que além de orientador, foi extremamente humano e paciente, compreendendo as fragilidades do momento.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.*
(Madre Teresa de Calcutá)

RESUMO

Muito se fala em sustentabilidade em grandes empreendimentos e construtoras, porém, em cidades pouco verticalizadas, a contribuição de cada indivíduo / morador se faz extremamente importante para a implementação de ações sustentáveis nas edificações. A cidade de Montes Claros/MG está localizada no norte de Minas Gerais e vem crescendo e se verticalizando nos últimos anos, mas ainda é uma cidade com muitas edificações residenciais unifamiliares, predominantemente horizontais sendo portanto, necessário buscar fontes alternativas de energia para abastecimento das mesmas. Este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em edificações residências unifamiliares em Montes Claros para um sistema conectado à rede elétrica da CEMIG. O presente trabalho se justifica pela importante busca por fontes de energias renováveis para abastecimento e ao grande número de construções residenciais unifamiliares na cidade citada. A elaboração do trabalho foi baseada em pesquisa bibliográfica, cujas fontes consultadas foram normas técnicas, artigos publicados e produtos ou tecnologias disponíveis no mercado. Os resultados obtidos através de cálculos de demanda, dimensionamentos e orçamentos do sistema foram apresentados e evidenciaram que o investimento em um sistema de geração de energia fotovoltaica em residência mostra-se viável e com grande vantagem econômica.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Energia Fotovoltaica. Painel solar. Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Sistema fotovoltaico *on grid*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões da sustentabilidade	12
Figura 2 - Foto panorâmica Montes Claros	14
Figura 3 - Geração de eletricidade por fonte, Mundo 1990-2018	16
Figura 4 - Geração de eletricidade por fonte, Brasil 1990-2019	17
Figura 5 - Oferta Interna de Energia no Brasil 2019 (%).....	19
Figura 6 - Oferta Interna de Energia Elétrica (%)	20
Figura 7 - Mapa de Irradiação	21
Figura 8 - Radiação solar média anual em Minas Gerais [kWh/m ² /dia]	22
Figura 9 - Identificação de áreas favoráveis ao desenvolvimento de usinas solares	23
Figura 10 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico.....	25
Figura 11 - Sistema fotovoltaico isolado.....	26
Figura 12 - Sistema fotovoltaico híbrido	27
Figura 13 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	28
Figura 14 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	28
Figura 15 - Layout.....	30
Figura 16 - Fachada frontal	31
Figura 17 - Fachada posterior	32
Figura 18 - Fachada frontal / Muro	32
Figura 19 - Sala com pé direito duplo.....	33
Figura 20 - Projeto de cobertura.....	34
Figura 21 - Dimensionamento Projeto Elétrico	35
Figura 22 - Cálculo de Demanda e Orçamento	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Oferta Interna de Energia	18
Tabela 2- Oferta Interna de Energia Elétrica	19
Tabela 3- Comparação da eficiência de mercado das diferentes tecnologia fotovoltaicas	25
Tabela 4- Dimensionamento - Média diária de consumo.....	36
Tabela 5- Tabela de valor por kwh sem impostos	37
Tabela 6- Cálculos de consumo em R\$.....	38
Tabela 7- Tarifa Iluminação Pública Montes Claros.	38
Tabela 8 - Valor do Consumo + TCIP	39
Tabela 9- Consumo Taxa de Disponibilidade	39
Tabela 10- Consumo Taxa de Disponibilidade + TCIP	40
Tabela 11- Comparativo de consumo – Custo Benefício	42
Tabela 12- Tempo de Retorno do Sistema Fotovoltaico.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ABINEE – Associação Brasileira Da Indústria Elétrica e Eletrônica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MME- Ministério de Minas e Energias

OIE- Oferta Interna de Energia

ONU - Organização das Nações Unidas

SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment

TCIP- Taxa para custeio do serviço de iluminação pública

WCED - Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

SUMÁRIO

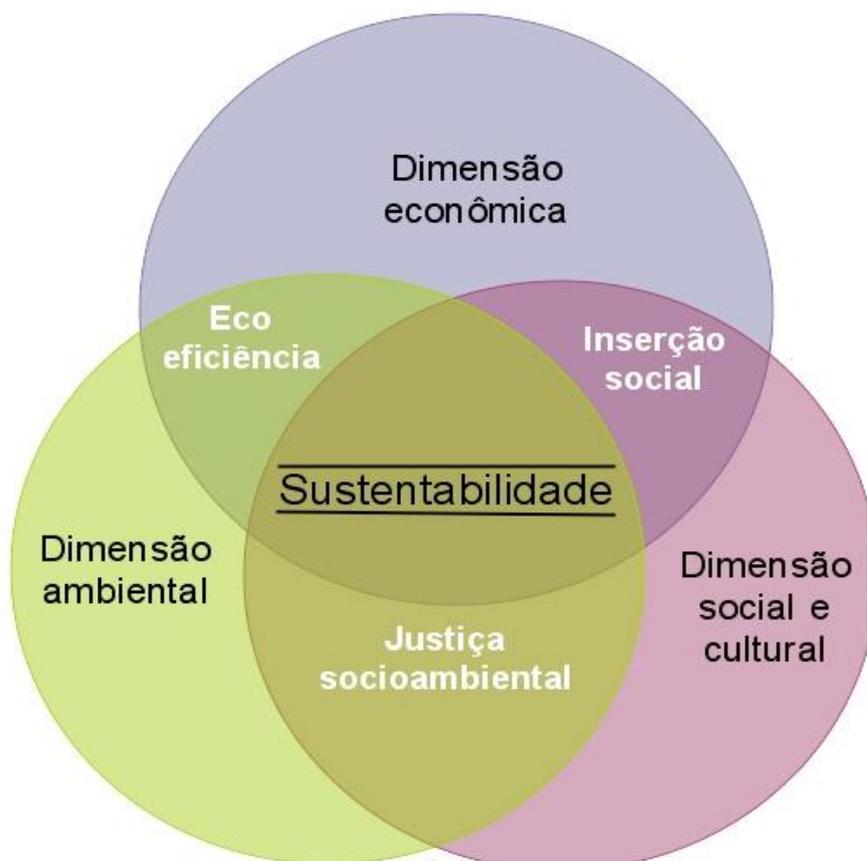
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivo Especifico	15
2 METODOLOGIA.....	15
3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	15
3.1 Panorama Brasileiro de geração de eletricidade por fontes.	16
3.2 Radiação solar da região	20
3.3 Como funciona o sistema fotovoltaico em residências.....	23
4 ESTUDO DE CASO.....	29
5 RESULTADOS E ANÁLISE	36
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
ANEXO A.....	48

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema sustentabilidade tem sido muito discutido, mostrando uma preocupação com o futuro do planeta e das próximas gerações. Com o aumento da população e conseqüentemente do número de habitações, o tema se torna ainda mais importante.

O relatório Brundtland, escrito em 1987 pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED) criada pela ONU em 1983, diz que o desenvolvimento é sustentável quando atende as necessidades atuais sem comprometer as gerações futuras. Segundo Elkington (1994), o desenvolvimento para se tornar sustentável deve buscar o equilíbrio em três dimensões: social, econômico e ambiental. Para alcançar este equilíbrio, deve-se buscar por ações ambientalmente responsáveis, socialmente justas, economicamente viáveis, definidas como triple *Bottom Line* também conhecido como *People, Planet e Profit* (Pessoas, Planeta e Lucro) ou, tripé da sustentabilidade (Figura 1).

Figura 1 - Dimensões da sustentabilidade



Fonte: ELKINGTON, 1994.

Existe portanto uma preocupação com o uso, e possível esgotamento dos recursos naturais gerando uma busca por métodos e tecnologias para uso de energia proveniente de fontes alternativas.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o uso de energia fotovoltaica em edificações residenciais unifamiliares na cidade de Montes Claros-MG. Os objetivos específicos são: Levantar dados de Radiação solar da cidade; identificar parâmetros e exigências para instalação do sistema fotovoltaico em residências e avaliar a redução do valor na conta de energia elétrica.

1.1 JUSTIFICATIVA

Muito se fala em sustentabilidade em grandes empreendimentos e construtoras, porém, em cidades pouco verticalizadas, a contribuição de cada indivíduo / morador se faz extremamente importante para a implementação de ações sustentáveis nas edificações. A cidade de Montes Claros/MG está localizada no norte de Minas Gerais e vem crescendo e se verticalizando nos últimos anos, mas ainda é uma cidade com muitas edificações residenciais unifamiliares, predominantemente horizontais (Figura 2) sendo portanto, necessário o uso de fontes alternativas de energia para abastecimento das mesmas.

Figura 2 - Foto panorâmica Montes Claros



Fonte: HiTech Video Produtora, 2019

Grande parte da energia elétrica consumida no Brasil é proveniente das hidrelétricas e dentre outros motivos, o impacto ambiental causado pelas usinas durante o processo de geração, tem sido uma justificativa para a busca por novas tecnologias e fontes de energias. A energia solar se mostra promissora pois possibilita a geração de forma distribuída e descentralizada, usando a rede de distribuição existente. Segundo informações do INEE¹, utiliza-se a expressão geração distribuída para denominar a geração elétrica junto ou próxima ao consumidor, sendo este independente da potência, tecnologia ou fonte de energia (INEE, 2011) .

Em 2012, com a aprovação da Resolução Normativa nº 482/2012 pela ANEEL, a possibilidade de cada morador gerar a sua energia se tornou real. A normativa estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012). Com a normativa vigente, a produção e utilização da energia solar fotovoltaica em residências vai aos poucos se

¹ Instituto Nacional de Eficiência Energética

implementando como uma solução promissora. O presente trabalho se justifica pela importante busca por fontes de energias renováveis para abastecimento, ao grande número de construções residenciais unifamiliares na cidade de Montes Claros/MG e aos índices de radiação solar presentes na cidade.

1.2 OBJETIVOS

Este estudo propõe atender ao objetivo geral e aos objetivos específicos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é analisar a viabilidade do uso de energia fotovoltaica em edificações residências unifamiliares em Montes Claros para um sistema conectado à rede elétrica da CEMIG.

1.2.2 Objetivo Especifico

Para alcançar o objetivo geral, o presente trabalho se propõe a:

- Levantar dados de Radiação solar da cidade;
- Identificar como funciona o sistema fotovoltaico em residências;
- Avaliar a viabilidade de instalação do sistema fotovoltaico em um estudo de caso.

2 METODOLOGIA

Para atender aos objetivos propostos, o trabalho contempla uma pesquisa exploratória. Numa primeira etapa, levantamento bibliográfico com uma leitura do panorama de geração de eletricidade por fontes no Brasil, dados de radiação solar na região (Norte de Minas), como funciona o sistema fotovoltaico em residências e por fim, estudo de caso com cálculos de consumo para avaliar a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico para uma residência em execução, localizada no bairro Morada da Serra em Montes Claros/MG, utilizando como dados de entrada o projeto elétrico elaborado.

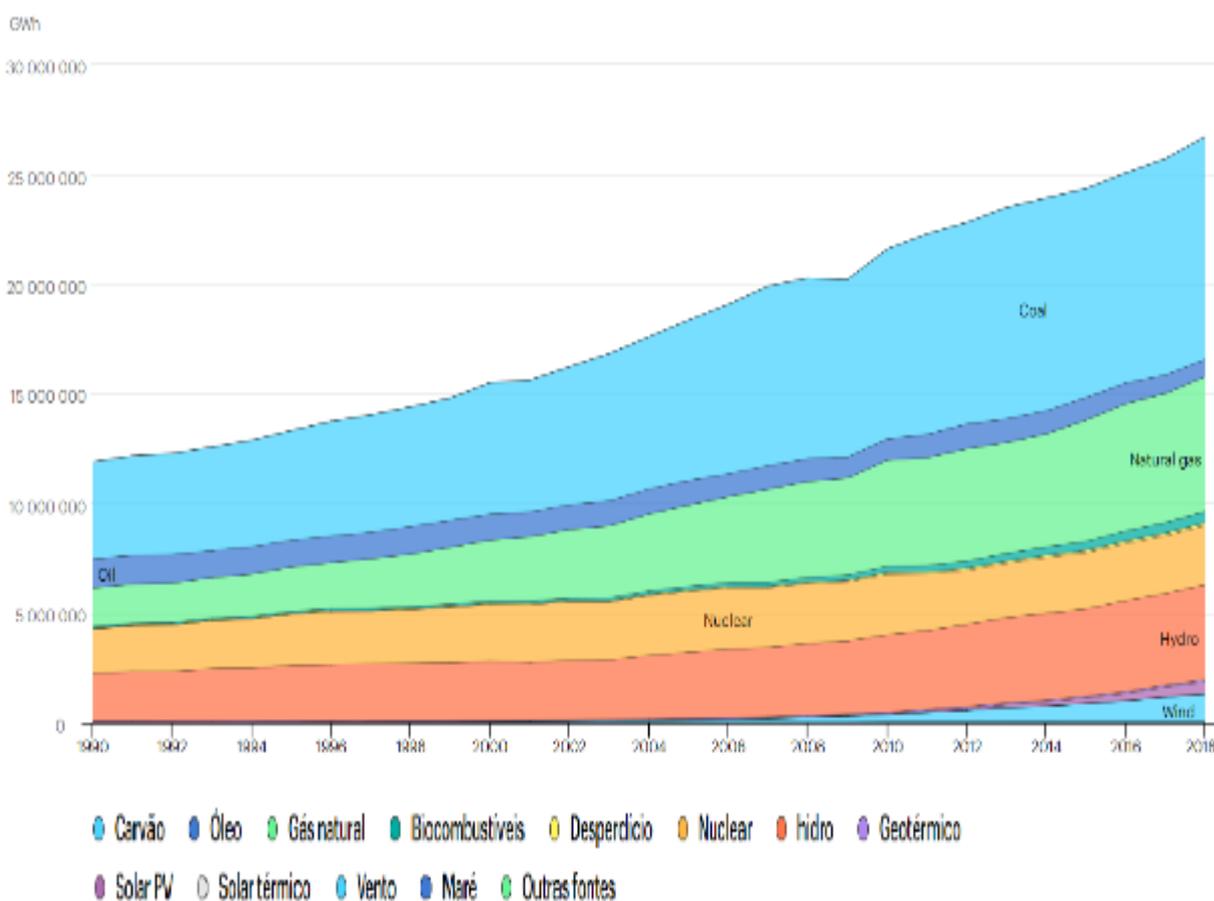
3 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

A seguir será apresentado levantamento bibliográfico com uma leitura do panorama de geração de eletricidade por fontes, dados de radiação solar na região e o funcionamento do sistema fotovoltaico em residências.

3.1 Panorama Brasileiro de geração de eletricidade por fontes.

O Brasil possui a maior bacia hidrográfica do mundo e tal característica reflete na produção de energia do país, onde a energia proveniente de hidrelétricas corresponde a maior parcela de geração de energia elétrica. As Figuras 3 e 4 apresentam gráficos elaboradas pelo IEA² e mostram a diferença de produção entre o Brasil e o Mundo no período de 1990 a 2018.

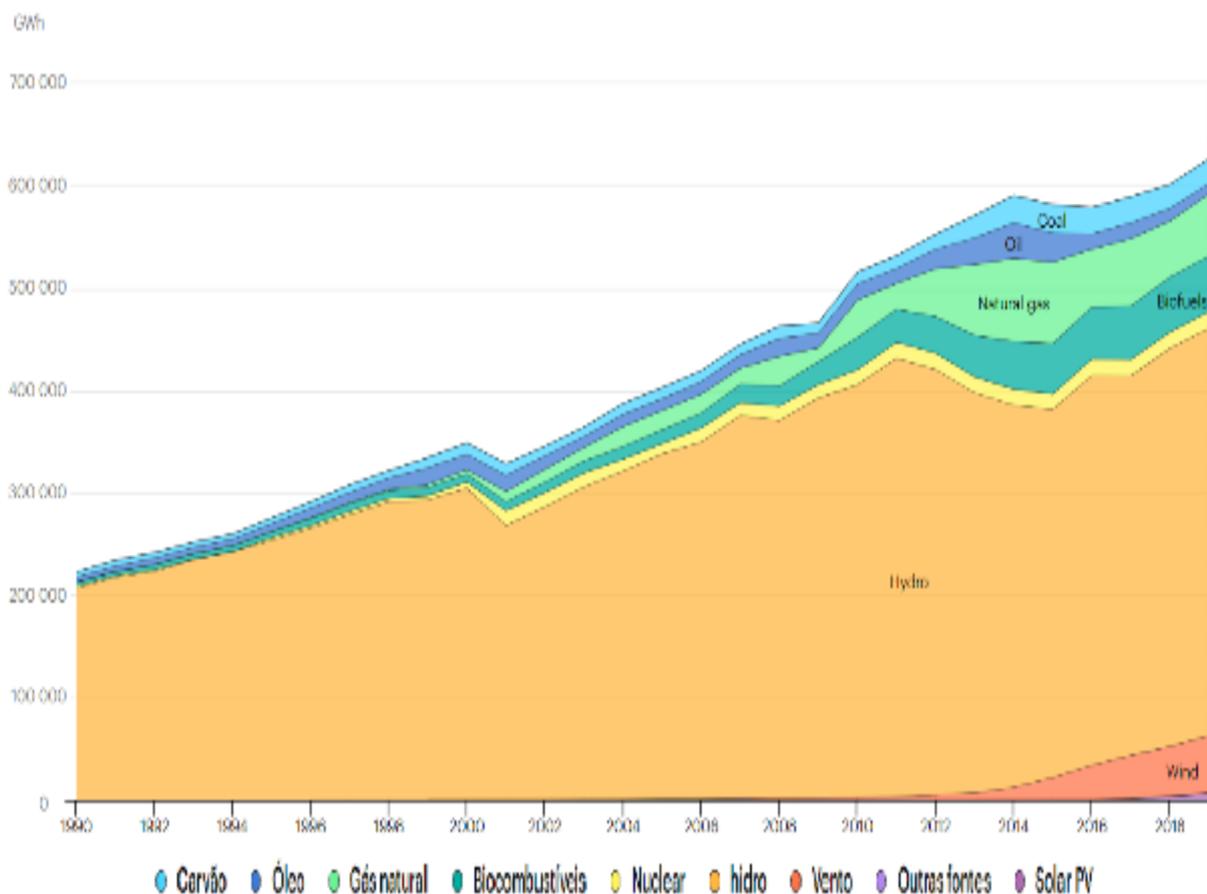
Figura 3 - Geração de eletricidade por fonte, Mundo 1990-2018



Fonte: IEA,2019

² International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

Figura 4 - Geração de eletricidade por fonte, Brasil 1990-2019



Fonte: IEA,2019

Analisando os gráficos das Figuras 3 e 4, fica evidente a condição no Brasil em termos de maior produção de energia por hidrelétrica.

Dados publicados na Resenha Energética Brasileira (MME, 2019) mostram que a oferta Interna de Energia (OIE) foi de 294 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), evidenciando aumento de 1,4% em relação a 2018. A única fonte a recuar foi a oferta de energia hidráulica, com decréscimo de -0,3%, conforme Tabela 1, abaixo apresentada.

Tabela 1- Oferta Interna de Energia

ESPECIFICAÇÃO	mil tep		19/18 %	Estrutura %	
	2018	2019		2018	2019
NÃO-RENOVÁVEL	157.972	158.395	0,3	54,5	53,9
<i>PETRÓLEO E DERIVADOS</i>	<i>99.627</i>	<i>101.051</i>	<i>1,4</i>	<i>34,4</i>	<i>34,4</i>
<i>GÁS NATURAL</i>	<i>35.905</i>	<i>35.909</i>	<i>0,0</i>	<i>12,4</i>	<i>12,2</i>
<i>CARVÃO MINERAL E DERIVADOS</i>	<i>16.418</i>	<i>15.480</i>	<i>-5,7</i>	<i>5,7</i>	<i>5,3</i>
<i>URÂNIO (U308) E DERIVADOS</i>	<i>4.174</i>	<i>4.174</i>	<i>0,0</i>	<i>1,4</i>	<i>1,4</i>
<i>OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS (a)</i>	<i>1.848</i>	<i>1.780</i>	<i>-3,7</i>	<i>0,6</i>	<i>0,6</i>
RENOVÁVEL	131.898	135.642	2,8	45,5	46,1
<i>HIDRÁULICA E ELETRICIDADE</i>	<i>36.460</i>	<i>36.364</i>	<i>-0,3</i>	<i>12,6</i>	<i>12,4</i>
<i>LENHA E CARVÃO VEGETAL</i>	<i>25.511</i>	<i>25.725</i>	<i>0,8</i>	<i>8,8</i>	<i>8,7</i>
<i>DERIVADOS DA CANA-DE-AÇÚCAR</i>	<i>50.090</i>	<i>52.841</i>	<i>5,5</i>	<i>17,3</i>	<i>18,0</i>
<i>OUTRAS RENOVÁVEIS (b)</i>	<i>19.837</i>	<i>20.712</i>	<i>4,4</i>	<i>6,8</i>	<i>7,0</i>
TOTAL	289.870	294.036	1,4	100,0	100,0
<i>dos quais fósseis</i>	<i>153.798</i>	<i>154.221</i>	<i>0,3</i>	<i>53,1</i>	<i>52,4</i>

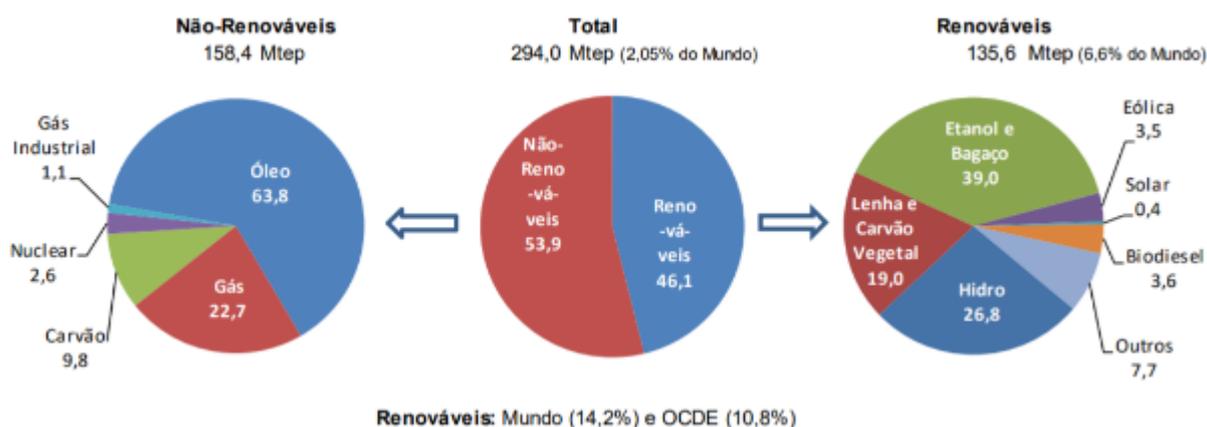
(a) Gás de alto-forno, de aciaria e de enxofre; (b) lixo, biodiesel, eólica, solar, casca de arroz, biogás, resíduos de madeira, gás de carvão vegetal e capim elefante.

Fonte: MME: Ministério de Minas e Energia, 2019.

Na Figura 5 são demonstrados dados da Resenha (MME, 2019) fazendo uma análise comparativa dos dados entre o Brasil e o OCDE³ que participa com apenas 10,8% das fontes renováveis na sua matriz energética, contra 46,1% da matriz brasileira.

³ Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (Organisation de Coopération et de Développement Économiques) Composta por 36 países: Alemanha, Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, Chile, Coreia do Sul, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estados Unidos, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Israel, Itália, Japão, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, México, Noruega, Nova Zelândia, Polônia, Portugal, Reino Unido, República Eslovaca, República Tcheca, Suíça, Suécia e Turquia.

Figura 5 - Oferta Interna de Energia no Brasil 2019 (%)



Fonte: MME,2019

A Tabela 2 (MME, 2019) evidencia o grande aumento na energia solar, que praticamente dobrou no período entre 2018 e 2019, se equiparando à geração por óleo (diesel e óleo combustível).

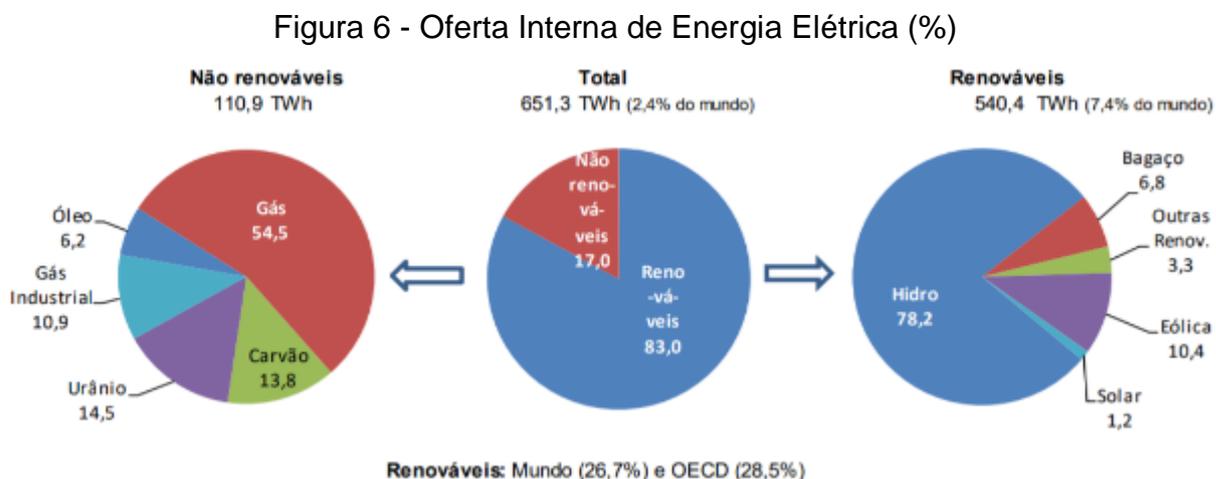
Tabela 2- Oferta Interna de Energia Elétrica

ESPECIFICAÇÃO	GWh		19/18 %	Estrutura (%)	
	2018	2019		2018	2019
HIDRÁULICA	388.971	397.877	2,3	61,1	61,1
BAGAÇO DE CANA	35.435	36.827	3,9	5,6	5,7
EÓLICA	48.475	55.986	15,5	7,6	8,6
SOLAR	3.461	6.655	92,2	0,54	1,02
OUTRAS RENOVÁVEIS (a)	18.947	18.094	-4,5	3,0	2,8
ÓLEO	9.293	6.926	-25,5	1,5	1,1
GÁS NATURAL	54.622	60.448	10,7	8,6	9,3
CARVÃO	14.204	15.327	7,9	2,2	2,4
NUCLEAR	15.674	16.129	2,9	2,5	2,5
OUTRAS NÃO RENOVÁVEIS (b)	12.314	12.060	-2,1	1,9	1,9
IMPORTAÇÃO	34.979	24.957	-28,7	5,5	3,8
TOTAL (c)	636.375	651.285	2,3	100,0	100,0
Dos quais renováveis	530.269	540.395	1,9	83,3	83,0

(a) Lixívia, biogás, casca de arroz, capim elefante, resíduos de madeira e gás de c. vegetal; (b) Gás de alto forno, gás de aciaria, gás de coqueria, gás de refinaria, gás de enxofre e alcatrão; (c) Inclui autoprodutor cativo, que não usa a rede básica.

Fonte: MME: Ministério de Minas e Energia, 2019.

A Figura 6 ilustra a matriz da OIEE. O gráfico central mostra as vantagens comparativas dos 83% de fontes renováveis na matriz brasileira, contra o indicador de apenas 26,7% na média mundial, e de 28,5% no bloco OCDE. (MME, 2019)



Fonte: MME,2019

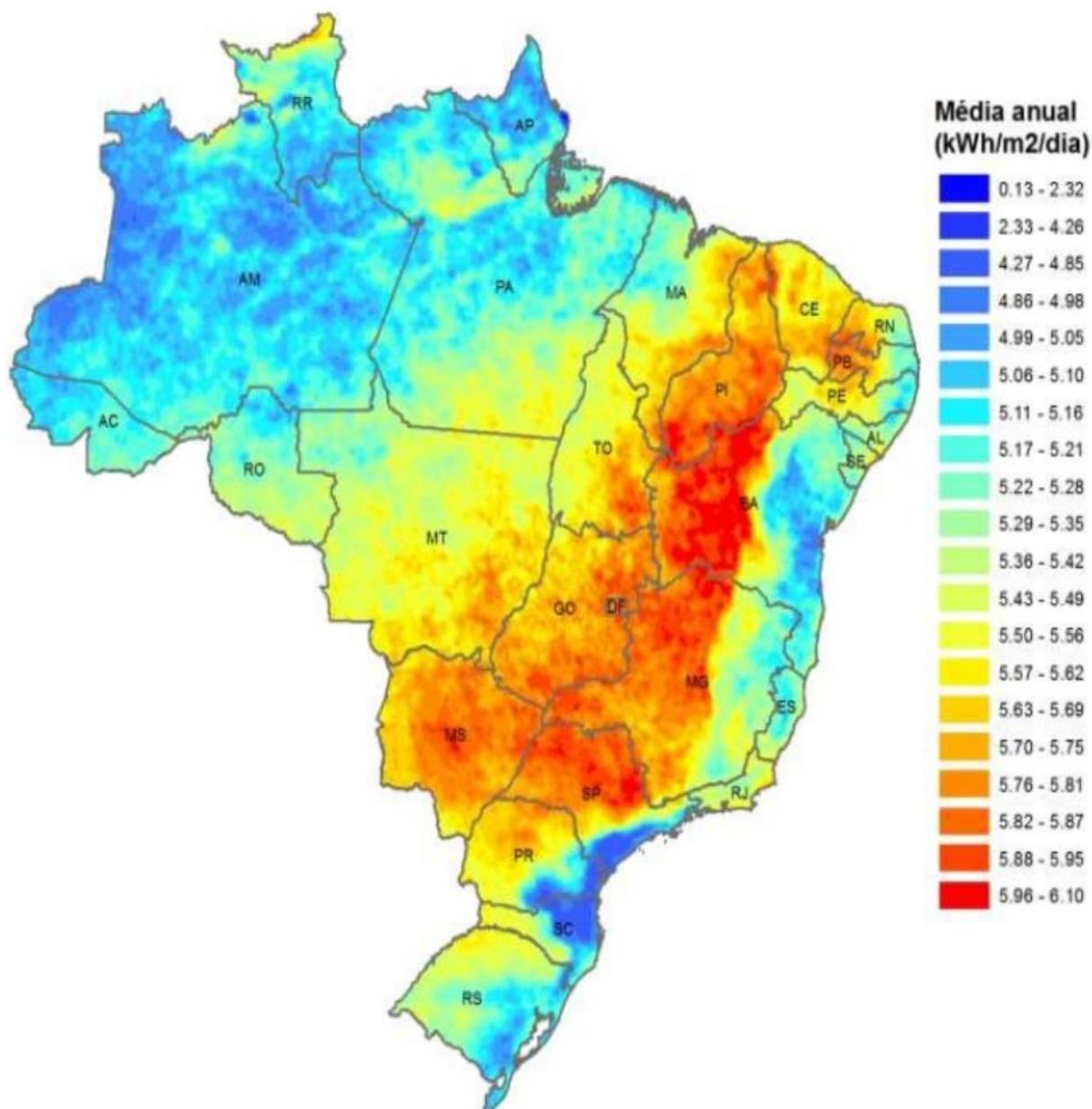
Com esta síntese dos últimos dados energéticos brasileiros, o Brasil demonstra continuar o seu caminho em direção as fontes renovais, apresentando ano a ano, melhores desempenhos em todas elas ou na maior parte, exemplificado pela energia solar (Tabela 2), com um aumento de aproximadamente 93% em relação ao ano anterior.

3.2 Radiação solar da região

Montes Claros está localizada no norte de Minas Gerais e possui alto índice de insolação, tendo a maior parte dos dias do ano com temperaturas bem altas, chegando a alcançar uma sensação térmica de 40°C nos meses mais quentes. Estudo realizado pela (ABINEE, 2012), aborda o mapa de irradiação solar (Figura 7) elaborado pelo projeto SWERA⁴, onde mostra a cidade de Montes Claros em uma região com maiores índices de irradiação solar incidente sobre a superfície, chegando a uma média anual entre 5,96 e 6,10kwh/m² por dia.

⁴ Solar and Wind Energy Resource Assessment – projeto desenvolvido pelo INPE em parceria com o LABSOLAR/UFSC que visava fazer o levantamento a respeito dos recursos de energia solar no território brasileiro.

Figura 7 - Mapa de Irradiação



Fonte: ABINEE, 2012.

Relatório elaborado pela (FEAM, 2014) faz uma avaliação do potencial de geração de energia por meio de fontes renováveis no estado de Minas Gerais. O relatório faz parte do Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais e mostra que a radiação média do estado (Figura 8) varia entre 5,5 e 6,5kWh/m² (Kilowatts/metro quadrado/dia).

transportando-os pelo material até serem captados por um campo elétrico gerando então, a eletricidade (CRESESB, 2004).

As principais tecnologias fotovoltaicas são as células fotovoltaicas de silício cristalino (c-Si) e as células de filmes finos (CAMILA RAMOS [ETAL.], 2018). A tecnologia mais usada no mundo são as células fabricadas em silício, geralmente as mais eficientes para o uso comercial em massa. Divide-se em dois grupos principais: células fotovoltaicas de silício monocristalinas e multicristalinas. As células monocristalinas contém uma estrutura de cristal homogênea e o seu processo produtivo é mais caro, comparado com as células multicristalinas, porém as monocristalinas possuem maior eficiência de conversão de energia. As células multicristalinas possuem estruturas de cristal não homogêneas e utilizam menos energia em seu processo produtivo, sendo portanto mais baratas.

As células de filme fino são divididas em três principais grupos: amorfas (a-Si e μ -Si), telureto de cádmio (CdTe) e cobre, índio e gálio seleneto (CIGS/CIS). A principal característica das células fotovoltaicas de filme fino é utilizar camadas de materiais semicondutores extremamente finas, que dão origem ao seu nome. Como vantagem, elas podem ser utilizadas em estruturas rígidas ou flexíveis, o que possibilita diversas aplicações. O filme fino se mostra (até hoje) menos eficiente na conversão de luz do sol para eletricidade, tornando os módulos fotovoltaicos cristalinos mais vantajosos por utilizarem menos espaço em relação aos módulos de filme fino e produzir a mesma quantidade de energia.

No ano de 2018, as células mono e multicristalinas disponíveis no mercado possuíam uma eficiência de conversão média global entre 11,0% e 25,6% (Tabela 3). Algumas tecnologias de filme fino possuíam metade dessa eficiência, atingindo eficiência máxima de 21,0% porém a tecnologia tem avançado rapidamente, o que pode levar a resultados mais promissores para os próximos anos.

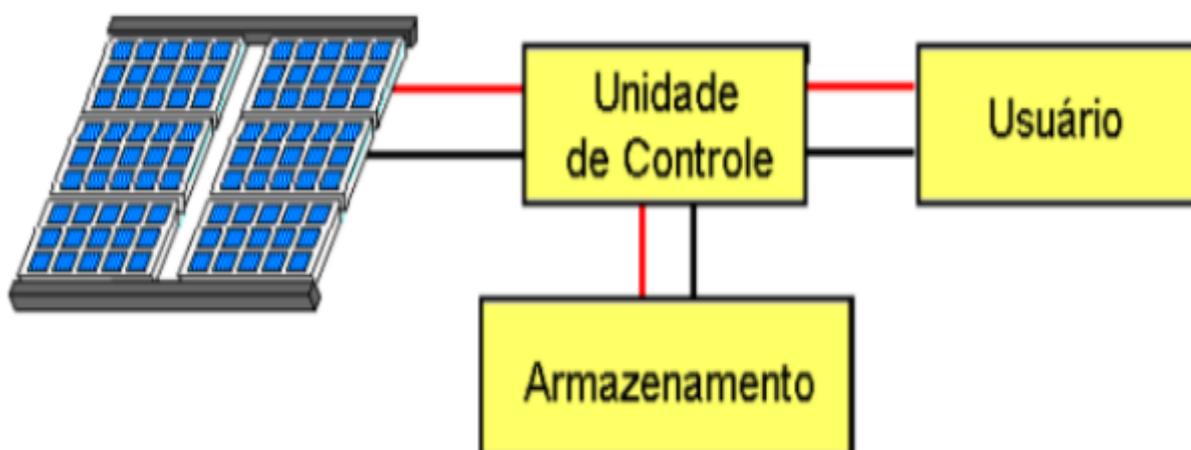
Tabela 3- Comparação da eficiência de mercado das diferentes tecnologia fotovoltaicas

Tecnologia	Eficiência da célula	Eficiência do módulo	Participação de mercado**
Silício cristalino			92,5%
Monocristalino	13 a 25,6%*	21,0%	24,5%
Multicristalino	11 a 20,8%*	12 a 17,0%	68,0%
Filme fino			7,5%
Silício Amorfo (a-Si/ μ -Si)	4 a 20,4%*	8,1%***	0,5%
Cádmio Telúrio (Cd-Te)	10 a 21,0%*	9 a 16%**	5%
Cobre Índio Gálio (di) Seleno (CIGS e CIS)	10 a 20,5%*	16 a 22%*	2,0%

Fonte: Camila Ramos, Brasília: Sebrae, 2018.

Um sistema fotovoltaico pode ser classificado em três categorias: sistemas isolados, híbridos ou sistemas conectados à rede. Todos os sistemas compõem uma configuração básica, contendo uma unidade de controle de potência e uma unidade de armazenamento, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Configuração básica de um sistema fotovoltaico

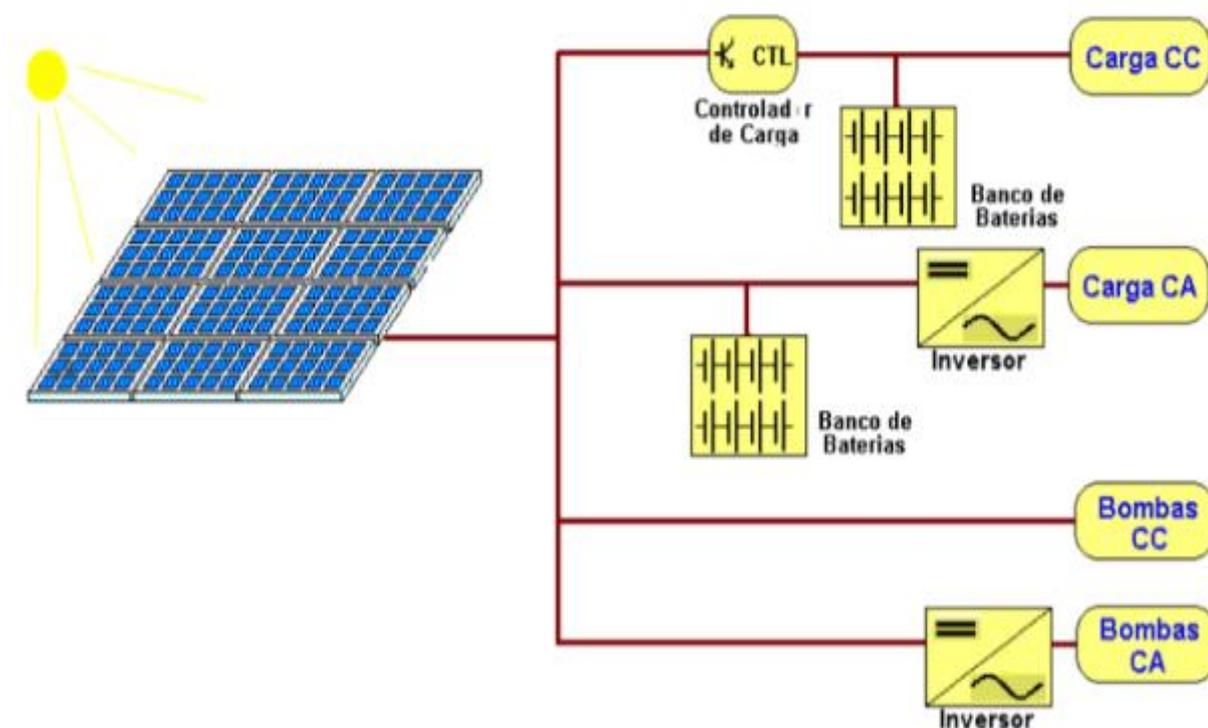


Fonte: CRESESB,2004.

O painéis fotovoltaicos produzem energia em tensão contínua e necessitam da unidade de controle para transformar esta energia em corrente alternada, para que possam ser utilizada nos equipamentos eletroeletrônicos.

O sistemas isolados, possuem alguma forma de armazenamento de energia, que normalmente é feito através de baterias (Figura 11). Esta modalidade de sistema se mostra interessante quanto ao fato de gerar energia para a residência, independento do abastecimento da concessionária de energia elétrica. Porém a vida útil da bateria é menor que a vida útil das placas e gera além de custos com a troca, lixo contaminante (baterias). O inversor solar tem a função de estabelecer a ligação entre o gerador fotovoltaico e a rede ou a carga (no caso de sistemas com baterias). O principal papel do inversor solar consiste em converter o sinal elétrico CC⁵ do arranjo fotovoltaico em um sinal elétrico CA⁶, e ajustá-lo para a frequência e o nível de tensão da rede a que está ligado.

Figura 11 - Sistema fotovoltaico isolado



Fonte: CRESESB,2004.

⁵ Carga Contínua

⁶ Carga Alternada

Segundo (CRESESB, 2004), os sistemas híbridos são aqueles que, desconectado da rede convencional, apresenta diversas fontes de geração de energia como por exemplo: turbinas eólicas, geração diesel, módulos fotovoltaicos entre outras. Faz-se necessário um controle de todas as fontes para que haja máxima eficiência na entrega da energia produzida.

Os sistemas híbridos (Figura 12) são aplicadas para sistemas de médio a grande porte e possuem capacidade para atender um número maior de usuários. Portanto, não seria o melhor sistema para residências, uma vez que necessita de uma estrutura maior e conseqüentemente mais cara, além de necessitar de mais espaço para a sua instalação.

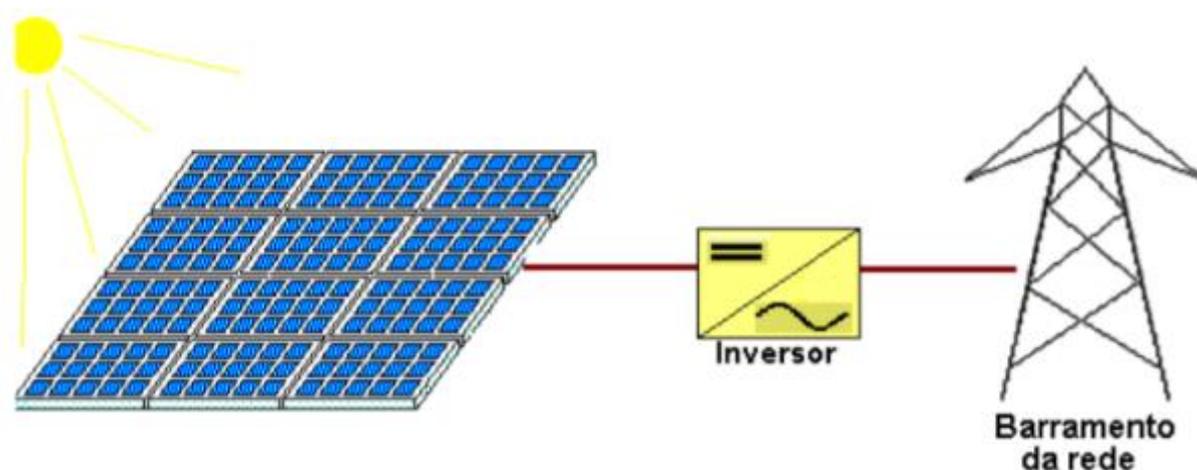
Figura 12 - Sistema fotovoltaico híbrido



Fonte: CRESESB,2004.

Por sua vez, os sistemas conectados à rede, também conhecidos como *on grid* (Figura 13) podem ser compostos por um grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia. Toda a energia produzida é enviada para a rede da concessionária de energia.

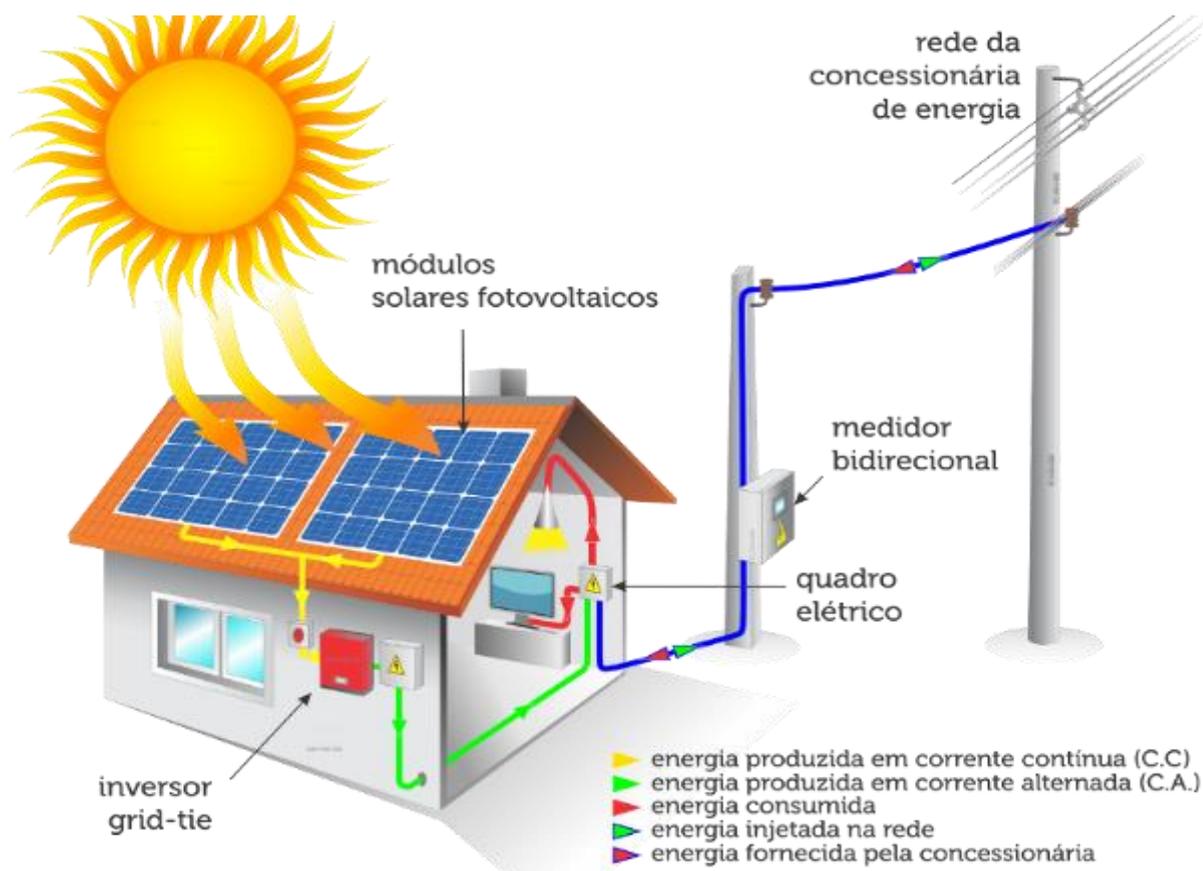
Figura 13 - Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: CRESESB,2004.

O sistema fotovoltaico ligado à rede, gera energia durante todo o período exposto ao sol, e a energia não utilizada pela residência é depositada na rede da concessionária, conforme demonstra a Figura 14.

Figura 14 - Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Sebrae.

O usuário recebe crédito pelo excesso de energia produzida e pode usá-lo em dias e horários que não gera energia o suficiente para o consumo, como o período da noite e em dias chuvosos, por exemplo.

A Resolução Normativa 482/2012 (ANEEL, 2012) regulamenta o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a energia injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é armazenada, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica, quando a geração fotovoltaica é menor que o consumo da unidade.

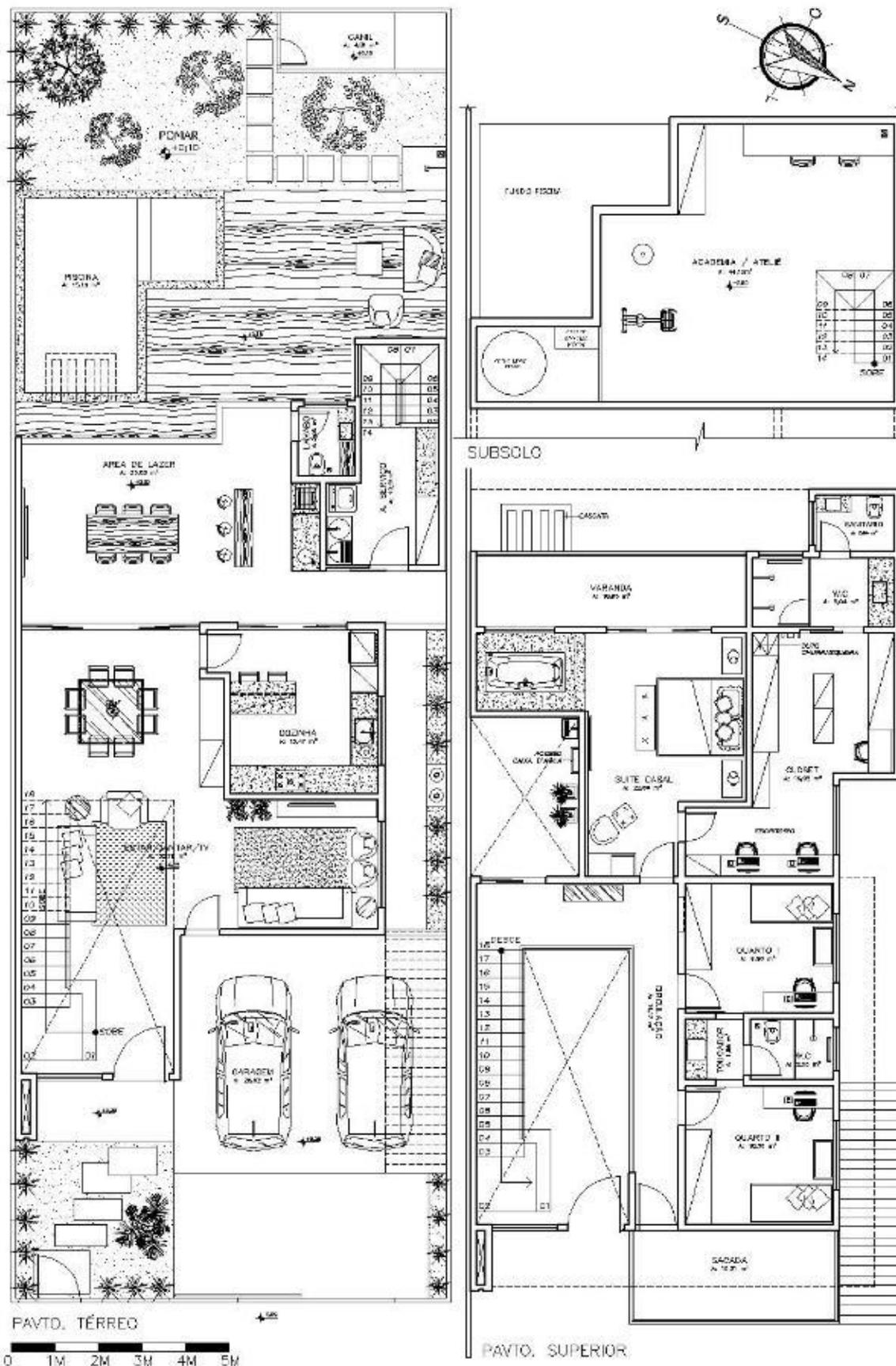
O artigo 7º (ANEEL, 2012) estabelece que, para cada unidade consumidora participante no sistema de compensação de energia, uma vez que a compensação de energia termine no mesmo ciclo de faturamento, os créditos acumulados permanecem na unidade consumidora para o próximo ciclo de faturamento. Se o excedente de energia não for utilizado na própria unidade consumidora, pode ser compensado com a utilização de outras unidades de consumo. Caso a unidade consumidora não utilize os créditos de energia no mês seguinte, o mesmo usuário tem 60 meses a partir da data de faturamento. Quando expiram, são reintegrados em favor de tarifas mais baixas, após as quais o consumidor não tem direito a qualquer indenização.

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso compreende cálculos de consumo para avaliar a viabilidade de instalação de um sistema fotovoltaico, utilizando como dados de entrada o projeto elétrico elaborado pelo Engenheiro Civil Helder Mota (Crea-MG 212.429) para uma residência em execução, localizada no bairro Morada da Serra em Montes Claros/MG, cujo projeto arquitetônico é de autoria própria, (Marleide Gonçalves Santiago - CAU MG: A116342-6).

O projeto é composto por um subsolo e 2 pavimentos com aproximadamente 310,00m² de área construída conforme layout apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Layout



Fonte: Do autor

O subsolo apresenta estrutura simples para ateliê e equipamentos mecânicos de ginastica além de abrigar uma caixa d'água de reuso, proveniente da banheira e máquina de lavar para ser reutilizada nas descargas dos três vasos sanitários da residência. Pavimento térreo com salas de estar/jantar/tv integradas, cozinha, área de serviço, varanda gourmet, lavabo, piscina, garagem e canil. Pavimento superior composto por três quartos, 2 banheiros, sanitário do casal, banheira de hidromassagem e varandas. Foram previstas torneiras com aquecimento elétrico na cozinha, banheiros e lavabo. Ar condicionado nos três quartos e uma unidade geradora para as salas integradas.

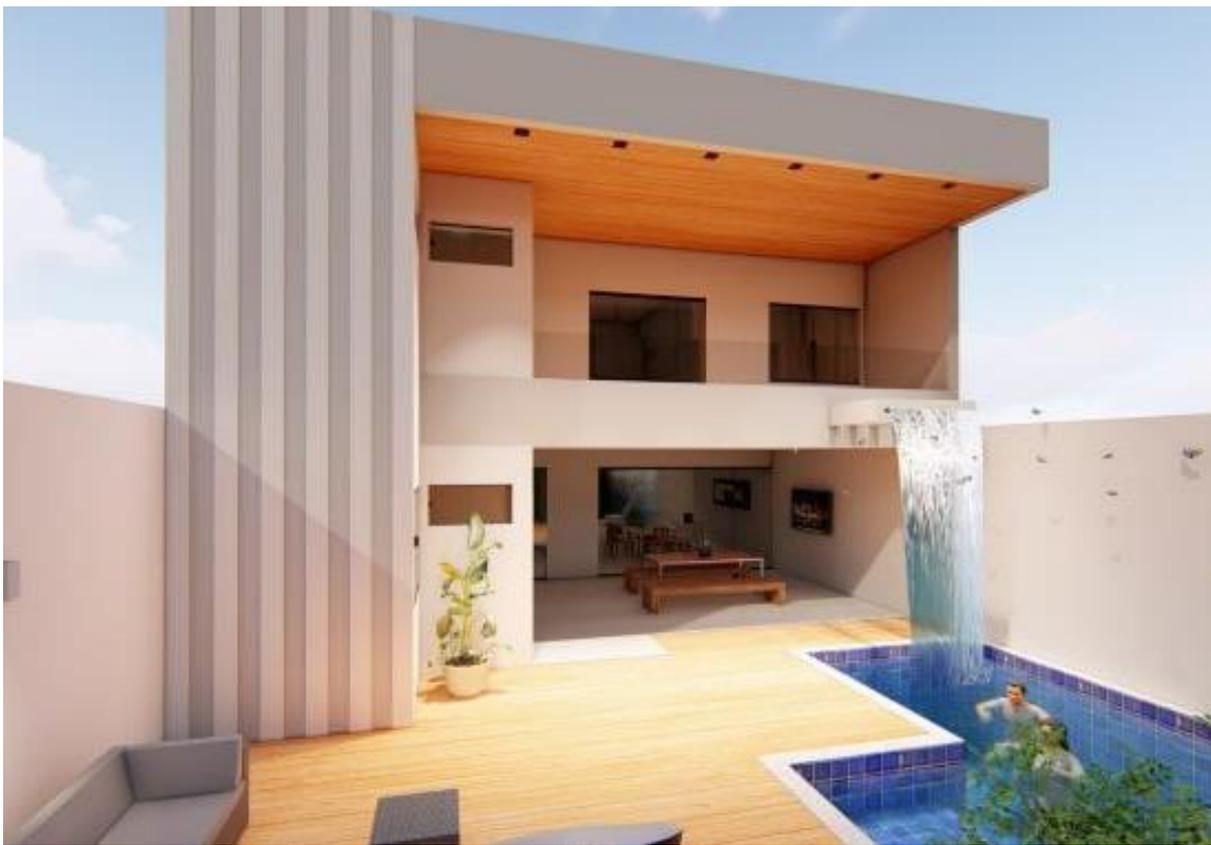
As fachadas foram trabalhadas com cores claras, revestimentos atérmicos e vidros refletivos (Figuras 16,17 e 18), a fim de contribuir para o conforto térmico da edificação. Além disso, a edificação foi projetada para receber telhado embutido a fim de facilitar a captação de água da chuva.

Figura 16 - Fachada frontal



Fonte: Do autor

Figura 17 - Fachada posterior



Fonte: Do autor

Figura 18 - Fachada frontal / Muro



Fonte: Do autor

Uma arquitetura moderna, pensada para o contexto climático da cidade propõe ventilação cruzada, mezanino e salas com pé direito duplo (Figura 19).

Figura 19 - Sala com pé direito duplo

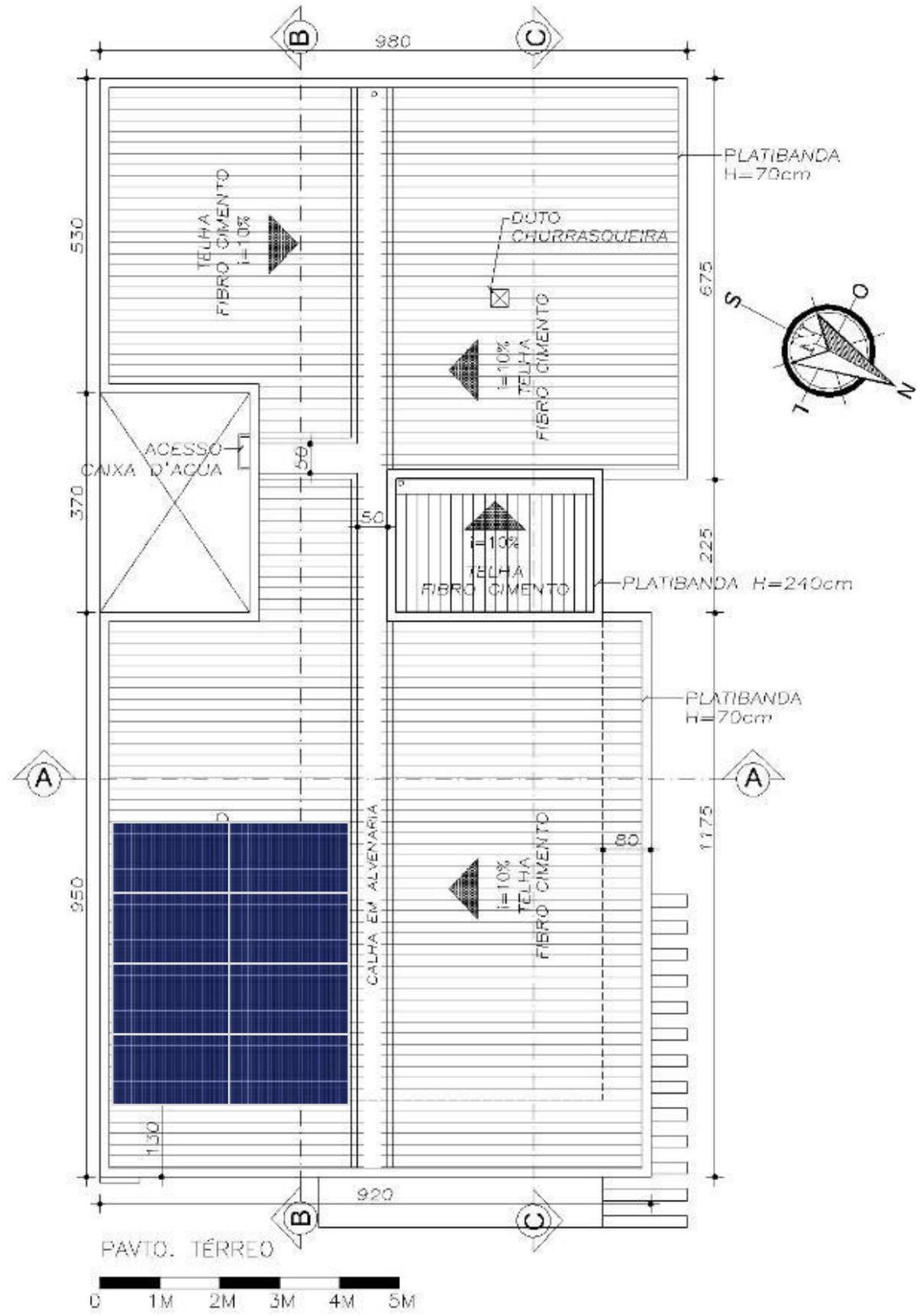


Fonte: Do autor

Para melhor aproveitamento dos painéis fotovoltaicos, o trabalho aborda a planta de cobertura com indicação de área e orientação solar para as placas, indicadas na Figura 20.

O telhado da edificação está localizado na cota máxima permitida pelo zoneamento (MA1-ZR1), portanto as placas fotovoltaicas não receberão sobras provenientes de edificações futuras, o que poderia interferir na produção de energia.

Figura 20 - Projeto de cobertura



Fonte: Do autor

Todas as cargas foram calculadas em projeto e disponibilizadas pelo Engenheiro Civil Helder Mota Sousa (Figura 21), indicando fornecimento trifásico, com disjuntor de 100A⁷.

Figura 21 - Dimensionamento Projeto Elétrico

CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO			
EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL COMPOSTA POR SUBSOLO, PAVIMENTO TÉRREO E SUPERIOR. TOTAL DE UNIDADES CONSUMIDORAS = 1 UN			
CARGA INSTALADA RESIDÊNCIA			
	Pot. unitária (W)	Pot. total (W)	Pot. total (kW)
04 LÂMPADAS LED	5	20	0,02
04 LÂMPADAS LED	7	28	0,03
40 LÂMPADAS LED	10	400	0,40
39 LÂMPADAS LED	14	546	0,55
15 FITA DE LED (1m)	15	225	0,22
70 TOMADAS DE USO GERAL	100	7.000	7,00
01 TOMADA DE USO GERAL	400	400	0,40
01 TOMADAS DE USO GERAL	600	600	0,60
02 AR CONDICIONADOS (9.000 BTU)	815	1.630	1,63
02 AR CONDICIONADOS (12.000 BTU)	1.085	2.170	2,17
03 CHUVEIROS ELÉTRICOS	4.400	13.200	13,20
05 AQUECEDORES DE ÁGUA ELÉTRICOS	4.400	22.000	22,00
01 MOTOR BOMBA	245	245	0,25
02 MOTOR BOMBA	370	740	0,74
01 MOTOR BOMBA	740	740	0,74
			CI = 49,95 kW - FORNECIMENTO TRIFÁSICO
CÁLCULO DE DEMANDA TOTAL			
DEMANDA ILUMINAÇÃO E TOMADA = 9.219 W / 0,92 = 10.020 VA x (FD = 0,52) = 5.210 VA = 5,21 kVA			
DEMANDA CHUVEIRO = 13.200 W / 1 = 13.200 VA x (FD = 0,84) = 11.088 VA = 11,09 kVA			
DEMANDA AQUECEDOR DE ÁGUA = 22.000 W / 1 = 22.000 VA x (FD = 0,70) = 15.400 VA = 15,40 kVA			DEMANDA TOTAL = 5,21 + 11,09 + 15,40 + 3,14 + 2,83
DEMANDA AR CONDICIONADO = 3.800 W / 0,92 = 4.130 VA x (FD = 0,76) = 3.139 VA = 3,14 kVA			= 37,67 kVA
DEMANDA MOTOR = (1 x (1 cv = 1,04 kVA)) + (2 x (1/2 cv = 0,64 kVA)) + (1 x (1/3 cv = 0,51 kVA)) = 2,83 kVA			
DIMENSIONAMENTO ENTRADA SERVIÇO			
PROTEÇÃO: DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO TRIPOLAR DE 100A CONDUTORES RAMAL DE ENTRADA: #4x35mm ² - ISOLAMENTO 1,0 KV - PVC 70°C. ELETRODUTO: Ø40mm - PVC CONDUTOR DE PROTEÇÃO: 16mm ²			

Fonte: disponibilizadas por Hélder Mota Sousa

⁷ Ampere é a unidade de medida da corrente elétrica no Sistema Internacional de Unidades.

5 RESULTADOS E ANÁLISE

A geração de energia de um sistema Fotovoltaico depende das características dos módulos, do posicionamento dos painéis, determinando o ângulo de inclinação adequado, da eficiência dos inversores e do nível anual da irradiação no local (kWh/m²), além de informações quanto a quantidade de horas de utilização das cargas.

Com base na rotina da família que residirá na edificação e o seu consumo atual, foram calculadas as horas de consumo para cada aparelho mencionado no dimensionamento da Figura 21. Não foram consideradas perdas no consumo, o que pode levar a um dimensionamento superior ao efetivo.

A Tabela 4 apresenta o consumo médio diário para a residência em questão.

Tabela 4- Dimensionamento - Média diária de consumo

Descrição das cargas	Quantidade	Potência (W)	Tempo (h)	Wh/dia
LÂMPADA LED	4	5	8	160
LÂMPADA LED	4	7	8	224
LÂMPADA LED	40	10	8	3.200
LÂMPADA LED	39	14	8	4.368
FITA DE LED (1m)	15	15	12	2.700
TOMADA DE USO GERAL	7	100	24	16.800
TOMADA DE USO GERAL	63	100	8	50.400
TOMADA DE USO GERAL	1	400	4	1.600
TOMADA DE USO GERAL	1	600	4	2.400
AR CONDICIONADO (9.000 BTU)	2	815	12	19.560
AR CONDICIONADO (12.000 BTU)	1	1085	12	13.020
AR CONDICIONADO (12.000 BTU)	1	1085	12	13.020
CHUVEIRO ELÉTRICO	3	4400	2	26.400
AQUECEDOR DE ÁGUA ELÉTRICO	3	4400	0,5	6.600
AQUECEDOR DE ÁGUA ELÉTRICO	2	4400	1	8.800
MOTOR BOMBA	1	245	6	1.470
MOTOR BOMBA	2	370	2	1.480
MOTOR BOMBA	1	740	3	2.220
Total Wh/dia				174.422
Total KWh/dia				17,45

Fonte: Do autor

Dados relevantes:

Valor da tarifa vigente conforme Res Aneel N°2,757, de 18/08/2020 – Bandeira Verde aproximadamente R\$0,65 por kwh sem impostos inclusos. Categoria B1 – Residencial Normal

ICMS= 30%

PASEP=0,71%

COFINS= 3,29%

O valor do Kwh tributado chega a R\$1,10 para a bandeira verde, R\$1,12 para a bandeira amarela, R\$1,20 para a bandeira vermelha 2. Conforme dados da Tabela 5 e impostos citados acima.

Consumo médio mensal: 17,45 kwh x 30 dias = **523 Kwh mensal**

De acordo com a (CEMIG), na bandeira verde, que representa condições favoráveis de geração de energia, a tarifa não sofre nenhum acréscimo. Com a bandeira amarela, que representa a geração em condições menos favoráveis, a tarifa sofrerá acréscimo de R\$ 1,34 a cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido. (Valor informado sem cálculo de impostos). Bandeira vermelha – Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 4,16 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido. Bandeira vermelha – Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre acréscimo de R\$ 6,24 para cada 100 quilowatt-hora (kWh) consumido.

Tabela 5- Tabela de valor por kwh sem impostos

BI- RESIDENCIAL NORMAL	BANDEIRA VERDE - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA AMARELA - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 1 - CONSUMO R\$/KWH	BANDEIRA VERMELHA 2 - CONSUMO R\$/KWH
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,64463	0,65803	0,68623	0,70703

Fonte: CEMIG, Agosto 2020

Para o uso de energia elétrica do sistema convencional, proveniente da rede da CEMIG, a residência teria consumo médio mensal de aproximadamente R\$573,00 em bandeira verde, R\$591,00 em bandeira amarela, R\$630,00 em bandeira vermelha

1 e R\$659,00 em bandeira vermelha 2, conforme cálculos apresentados na Tabela 6 incluindo custos de impostos e acréscimo de bandeiras.

Tabela 6- Cálculos de consumo em R\$

KWH	VALOR KWH	BANDEIRA	ICMS	PASEP	COFINS	KWH C/ IMPOSTOS	ACRES. BAND.	VALOR TOTAL
523	0,6446	VERDE	R\$ 0,193	R\$ 0,046	R\$ 0,212	R\$ 1,096	R\$ -	R\$ 573,11
523	0,658	AMARELA	R\$ 0,197	R\$ 0,047	R\$ 0,216	R\$ 1,119	R\$ 1,34	R\$ 591,73
523	0,6862	VERMELHA 1	R\$ 0,206	R\$ 0,049	R\$ 0,226	R\$ 1,167	R\$ 4,16	R\$ 630,90
523	0,707	VERMELHA 2	R\$ 0,212	R\$ 0,050	R\$ 0,233	R\$ 1,202	R\$ 6,24	R\$ 659,79

Fonte: Do autor

Estes valores correspondem apenas ao valor do Kwh consumido. Além do consumo, a conta será acrescida dos custos de taxa para custeio do serviço de iluminação pública (TCIP). O cálculo da TCIP é proporcional ao consumo de energia elétrica e cada município tem lei específica com os valores para esta taxa de iluminação pública. Em Montes Claros, vigora a LEI Nº 4.860, de 29 de Dezembro de 2015, com valores determinados na Tabela 7.

Tabela 7- Tarifa Iluminação Pública Montes Claros.

<i>Consumo Mensal – Kwh</i>	<i>Percentuais da Tarifa de IP</i>
<i>0 a 50</i>	<i>Isento</i>
<i>51 a 100</i>	<i>2,50 %</i>
<i>101 a 200</i>	<i>7,00 %</i>
<i>201 a 300</i>	<i>10,00 %</i>
<i>Acima de 300</i>	<i>12,00 %</i>

Fonte: LEI Nº 4.860, DE 29 de Dezembro de 2015. Montes Claros/MG

Considerando o consumo estimado para a residência, 523kWh/mês, o valor da TCIP é de 12% sobre o valor da conta, variando entre R\$68,77 e R\$79,18 para os valores mencionados na Tabela 6, de acordo com as bandeiras vigentes. Portanto, a conta mensal seria de aproximadamente R\$738,97 na bandeira vermelha 2 (consumo + Taxa de iluminação).

Tabela 8 - Valor do Consumo + TCIP

KWH	VALOR KWH	BANDEIRA	ICMS	PASEP	COFINS	KWH C/ IMPOSTOS	ACRES. BAND.	VALOR CONSUMO	VALOR TCIP 12%	VALOR TOTAL
523	0,6446	VERDE	R\$ 0,193	R\$ 0,046	R\$ 0,212	R\$ 1,096	R\$ -	R\$ 573,11	R\$ 68,77	R\$ 641,89
523	0,658	AMARELA	R\$ 0,197	R\$ 0,047	R\$ 0,216	R\$ 1,119	R\$ 1,34	R\$ 591,73	R\$ 71,01	R\$ 662,74
523	0,6862	VERMELHA 1	R\$ 0,206	R\$ 0,049	R\$ 0,226	R\$ 1,167	R\$ 4,16	R\$ 630,90	R\$ 75,71	R\$ 706,61
523	0,707	VERMELHA 2	R\$ 0,212	R\$ 0,050	R\$ 0,233	R\$ 1,202	R\$ 6,24	R\$ 659,79	R\$ 79,18	R\$ 738,97

Fonte: Do autor

Vale ressaltar que a conta de energia elétrica não será zerada após a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica, ainda que a produção seja superior ao consumo. A concessionária de energia cobra o valor mínimo, mesmo sem uso, para custear a disponibilidade do serviços, conforme previsto no artigo nº 98 da resolução Normativa ANEEL nº 414. Esta taxa de disponibilidade é aplicada ao faturamento mensal do consumidor com valor em moeda corrente equivalente a:

- I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a 2 (dois) condutores;
- II – 50 kWh, se bifásico a 3 (três) condutores; ou
- III – 100 kWh, se trifásico

Considerando os valores (com impostos) relacionados na Tabela 6, a taxa de disponibilidade do serviço aplicada ao estudo de caso (trifásico), varia entre R\$109,58 e R\$151,39 entre as bandeiras verde e vermelha 2, apresentados abaixo, na Tabela 9.

Tabela 9- Consumo Taxa de Disponibilidade

KWH	VALOR KWH	BANDEIRA	ICMS	PASEP	COFINS	KWH C/ IMPOSTOS	ACRES. BAND.	VALOR CONSUMO
100	0,6446	VERDE	R\$ 0,193	R\$ 0,046	R\$ 0,212	R\$ 1,096	R\$ -	R\$ 109,58
100	0,658	AMARELA	R\$ 0,197	R\$ 0,047	R\$ 0,216	R\$ 1,119	R\$ 1,34	R\$ 118,56
100	0,6862	VERMELHA 1	R\$ 0,206	R\$ 0,049	R\$ 0,226	R\$ 1,167	R\$ 4,16	R\$ 137,45
100	0,707	VERMELHA 2	R\$ 0,212	R\$ 0,050	R\$ 0,233	R\$ 1,202	R\$ 6,24	R\$ 151,39

Fonte: Do autor

O valor da TCIP para este caso, apenas a taxa de disponibilidade, seria de 2,5%. Portanto, o valor final da conta de energia elétrica varia entre R\$112,32 e R\$155,17 de acordo com Tabela 10.

Tabela 10- Consumo Taxa de Disponibilidade + TCIP

KWH	VALOR KWH	BANDEIRA	ICMS	PASEP	COFINS	KWH C/ IMPOSTOS	ACRES. BAND.	VALOR CONSUMO	VALOR TCIP 2,5%	VALOR TOTAL
100	0,6446	VERDE	R\$ 0,193	R\$ 0,046	R\$ 0,212	R\$ 1,096	R\$ -	R\$ 109,58	R\$ 2,74	R\$ 112,32
100	0,658	AMARELA	R\$ 0,197	R\$ 0,047	R\$ 0,216	R\$ 1,119	R\$ 1,34	R\$ 118,56	R\$ 2,96	R\$ 121,52
100	0,6862	VERMELHA 1	R\$ 0,206	R\$ 0,049	R\$ 0,226	R\$ 1,167	R\$ 4,16	R\$ 137,45	R\$ 3,44	R\$ 140,89
100	0,707	VERMELHA 2	R\$ 0,212	R\$ 0,050	R\$ 0,233	R\$ 1,202	R\$ 6,24	R\$ 151,39	R\$ 3,78	R\$ 155,17

Fonte: Do autor

DIMENSIONAMENTO DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS

Para a instalação da usina, recomenda-se uma produção mensal média em torno de 660Kwh, uma vez que em alguns meses do ano com menor incidência solar e níveis de radiação (maio a julho), a produção será muito próxima ao valor de consumo médio mensal (523kwh).

Para atender a esta demanda, será necessário a utilização de 12 painéis de 405w com dimensões de 2024mmx1004mm cada placa, utilizando uma área de aproximadamente 39m² sob o sol, considerando a inclinação adequada para melhor aproveitamento do sistema. O telhado possui aproximadamente 160m², abriga tranquilamente o sistema.

Figura 22 - Cálculo de Demanda e Orçamento



Fonte: <https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>

Acesso em: 20/09/2020

O sistema foi orçado no Portal Solar (Figura 22) e na empresa Solares, em Montes Claros, apresentado no ANEXO A. Ambas apresentaram valores e características muito similares.

O valor para o sistema, incluindo Instalação, placas, conversores e homologação gira em torno de R\$28.000,00 (vinte e oito mil reais). Considerando o custo médio de abastecimento em torno de R\$687,55 o custo médio anual seria de aproximadamente R\$8.250,63. O valor de abastecimento com a instalação do sistema fotovoltaico reduziriam estes valores para R\$112,32 e R\$1.589,70 respectivamente, conforme cálculos apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Comparativo de consumo – Custo Benefício

BANDEIRA	VALOR CONSUMO CEMIG (523KW)	VALOR CONSUMO C/ SISTEMA FOTOVOLTAICO (100KW)
VERDE	R\$ 641,89	R\$ 112,32
AMARELA	R\$ 662,74	R\$ 121,52
VERMELHA 1	R\$ 706,61	R\$ 140,89
VERMELHA 2	R\$ 738,97	R\$ 155,17
MEDIA MENSAL:	R\$ 687,55	R\$ 132,48
MEDIA ANUAL:	R\$ 8.250,63	R\$ 1.589,70

Fonte: Do autor

TEMPO DE RETORNO DO INVESTIMENTO

Considerando todos os cálculos apresentados até o momento, o tempo de retorno do investimento seria de aproximadamente 4,3 anos (51 meses). Ao chegar no 4º mês do 5º ano, todo o sistema já terá sido pago. A partir daí, começa de fato a economia em custos mensais, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12- Tempo de Retorno do Sistema Fotovoltaico

VALOR DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	MEDIA ANUAL CUSTOS CEMIG	MEDIA ANUAL CUSTOS COM SISTEMA FOTOVOLTAICO	ECONOMIA ANUAL COM SISTEMA FOTOVOLTAICO	RETORNO DE INVESTIMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO
R\$ 28.000,00	R\$ 8.250,63	R\$ 1.589,70	R\$ 6.660,93	

1º ANO	R\$ 8.250,63	R\$ 1.589,70	R\$ 6.660,93	-R\$ 21.339,07
2º ANO	R\$ 16.501,26	R\$ 3.179,40	R\$ 13.321,86	-R\$ 14.678,14
3º ANO	R\$ 24.751,89	R\$ 4.769,10	R\$ 19.982,79	-R\$ 8.017,21
4º ANO	R\$ 33.002,52	R\$ 6.358,80	R\$ 26.643,72	-R\$ 1.356,28
5º ANO	R\$ 41.253,15	R\$ 7.948,50	R\$ 33.304,65	R\$ 5.304,65
6º ANO	R\$ 49.503,78	R\$ 9.538,20	R\$ 39.965,58	R\$ 11.965,58
7º ANO	R\$ 57.754,41	R\$ 11.127,90	R\$ 46.626,51	R\$ 18.626,51
8º ANO	R\$ 66.005,04	R\$ 12.717,60	R\$ 53.287,44	R\$ 25.287,44
9º ANO	R\$ 74.255,67	R\$ 14.307,30	R\$ 59.948,37	R\$ 31.948,37
10º ANO	R\$ 82.506,30	R\$ 15.897,00	R\$ 66.609,30	R\$ 38.609,30
11º ANO	R\$ 90.756,93	R\$ 17.486,70	R\$ 73.270,23	R\$ 45.270,23
12º ANO	R\$ 99.007,56	R\$ 19.076,40	R\$ 79.931,16	R\$ 51.931,16
13º ANO	R\$ 107.258,19	R\$ 20.666,10	R\$ 86.592,09	R\$ 58.592,09
14º ANO	R\$ 115.508,82	R\$ 22.255,80	R\$ 93.253,02	R\$ 65.253,02
15º ANO	R\$ 123.759,45	R\$ 23.845,50	R\$ 99.913,95	R\$ 71.913,95

Fonte: Do autor

O valor do retorno é crescente ano após ano, como mostra o gráfico 1. Importante salientar que este tempo de retorno se refere aos cálculos atuais, sem considerar reajustes nas tarifas CEMIG para os próximos anos, o que resultaria no retorno em menor tempo.

Gráfico 1- Tempo de Retorno do Investimento



Fonte: Do autor

6 CONCLUSÃO

Um sistema fotovoltaico conectado à rede tem uma vida útil de 30 a 40 anos, com garantia de 25 anos nos painéis fotovoltaicos, para produção mínima de 80% da potência nominal. Os inversores têm garantia de 5 a 10 anos e um vida útil esperada de 10 a 15 anos, podendo ser trocados.

O investimento financeiro para a implantação de um sistema fotovoltaico para a residência apresentada será de R\$28.000,00 (vinte e oito mil reais). O valor de retorno é crescente ano a ano (gráfico 1). Uma vez que o sistema tem garantia média de 25 anos para as placas, o investimento mostra-se viável, com grande vantagem econômica.

Sugestão para próximos estudos:

Este trabalho apresenta a viabilidade financeira na instalação do sistema fotovoltaico em uma residência, não traz informações sobre os impactos na produção e transporte dos materiais utilizados. Deixa como sugestão para próximos trabalhos, analisar o impacto gerado na produção e transporte das placas e inversores, do local de produção até a cidade de Montes Claros. De onde elas vem? Onde são fabricadas? Como é feito o transporte.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**, Sao Paulo, 2012.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELETRICA. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012.**

CAMILA RAMOS [ETAL.]. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasilia: SEBRAE, 2018.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Disponível em: <<https://novoportal.cemig.com.br/atendimento/bandeira-tarifaria/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SERGIO DE S. BRITO. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004.

ELKINGTON, J. **Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development**. 2. ed. California: [s.n.], v. 36, 1994.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Belo Horizonte. Volume I – **Contexto, energia eólica e solar**, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é geração distribuída**, 2011.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energetica Brasileira**. Brasília - DF, 2019.

PINHO, João Tavares (org); GALDINO, Marco Antônio (org). GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

ANEXO A

SEU PROJETO



12 Módulos Solares BYD (-) 405w ou similares



Potência de 4,9 KWp



Geração estimada de 660,00 KWh/mês



Consumo médio de 600,00 kWh/mês



Economia de R\$ 530,00 Por mês



Área para instalação de 40,00 M²

NÓS GARANTIMOS

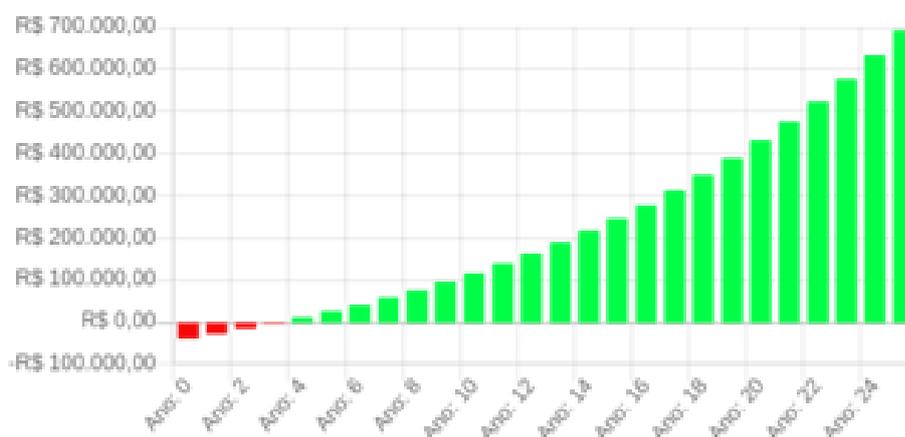
EQUIPAMENTO	GARANTIA
Módulos solares	25 anos*
Inversores	5 a 7 anos
Estrutura	20 anos
Instalação	1 ano

*Os módulos possuem 10 anos contra defeitos de fabricação e 25 anos contra perdas de rendimento.

SEU INVESTIMENTO

A vista - R\$ 27.483,44

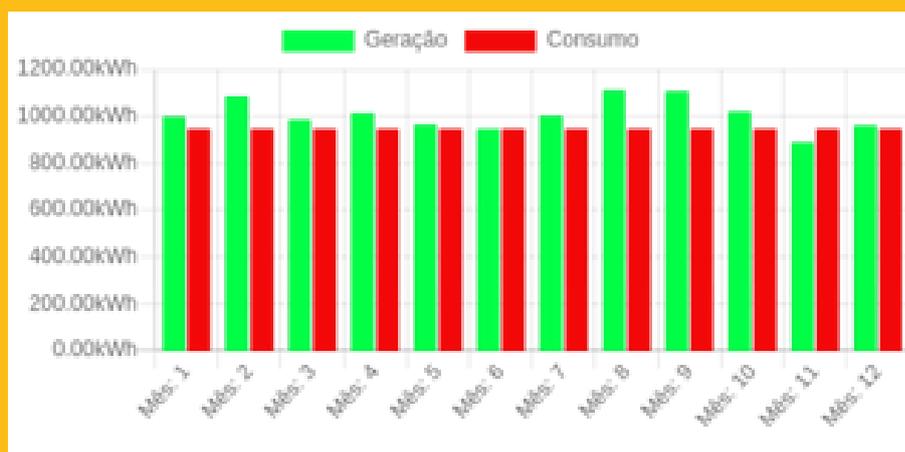
SEU RETORNO



Retorno de investimento em 3,30 anos

GERAÇÃO X CONSUMO

Energia Consumida X Gerada (KwH/mês)



431,74
Árvores Salvas



30,96
anos de um carro fora de
circulação



58,48
Toneladas de CO2
Não emitidos