

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

Mateus Emanuel Tagliaferro

Análise de retorno de investimento e viabilidade econômica em projetos de eficiência energética aplicados à Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro.

Uberaba-MG
2019

Mateus Emanuel Tagliaferro

Análise de retorno de investimento e viabilidade econômica em projetos de eficiência energética aplicados à Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro.

Trabalho de conclusão apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade Federal do Triângulo Mineiro como requisito para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

Uberaba-MG
2019

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

T134a Tagliaferro, Mateus Emanuel
Análise de retorno de investimento e viabilidade econômica em projetos de eficiência energética aplicados à reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Mateus Emanuel Tagliaferro. -- 2019.
88 f. : il., fig., graf., tab.

Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) --
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2019
Orientador: Prof. Dr. David Calhau Jorge

1. Energia elétrica. 2. Redes elétricas. 3. Sistemas de energia fotovoltaica. 4. Investimentos. 5. Avaliação de riscos. 6. Institutos federais de educação, ciência e tecnologia. I. Jorge, David Calhau. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.

CDU 621.31

MATEUS EMANUEL TAGLIAFERRO

ANÁLISE DE RETORNO DE INVESTIMENTO E VIABILIDADE
ECONÔMICA EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADOS
À REITORIA DO INSTITUTO FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO

Trabalho de conclusão apresentado ao
Programa de Mestrado Profissional em
Inovação Tecnológica da Universidade Federal
do Triângulo Mineiro, como requisito para
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 15 de fevereiro de 2019

Banca Examinadora:



Prof. Dr. David Calhau Jorge
Orientador – UFTM



Prof. Dr. Fabrício Augusto Matheus Moura
Membro Titular – UFTM



Prof. Dr. José Ricardo Gonçalves Manzan
Membro titular – IFTM

DEDICATÓRIA

À Deus, por permitir esta conquista e por me sustentar até aqui.

Aos meus pais, Ernesto e Sueli, que por diversas vezes renunciaram suas prioridades para investir em minha educação.

À minha namorada, Thaís, por compartilhar o sonho desta realização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao orientador, prof. Dr. David Calhau Jorge, pela dedicação na condução deste trabalho.

À Coordenadora de Engenharia e Arquitetura do IFTM, Larissa Soriani Zanini Ribeiro Soares, pelo incentivo e apoio que foram fundamentais para a conclusão desta pesquisa.

Ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro por promover a qualificação de seus colaboradores.

Aos responsáveis pelo Programa de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica da UFTM, pela oportunidade concedida.

RESUMO

O desenvolvimento deste estudo permite ao gestor público compreender os fatores que devem ser observados na implantação de uma usina fotovoltaica, bem como verificar os seus resultados, permitindo uma análise crítica para contratos futuros.

Um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, quando comparado às demais fontes alternativas de energia, possui baixa complexidade de instalação e operação. Ademais, por ser instalado próximo ao local de consumo de energia elétrica, permite adiar os investimentos em sistemas de transmissão de energia elétrica. Além disso, podem reduzir as perdas técnicas no transporte de energia elétrica.

O projeto piloto de implantação de um sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica na Reitoria do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) permitiu verificar a economia de energia elétrica ao longo dos meses e analisar o retorno do investimento, comparando o custo do capital investido.

Para ser atrativa, a proposta de investimento deverá, pelo menos, retornar o valor referente às aplicações correntes e de pouco risco.

Palavras-chave: geração de energia elétrica, fotovoltaico, *payback*, VPL, TIR, risco de investimento.

ABSTRACT

The development of this study allows the public manager to understand the factors that must be observed in the implantation of a photovoltaic power, as well as to verify its results, allowing a critical analysis for future contracts.

A grid-connected photovoltaic power system, when compared to other alternative sources of energy, have low complexity of installation and operation. In addition, because it is installed near the place of electric power consumption, they allow to postpone investments in electric power transmission systems. In addition, they might reduce technical losses in the grid.

The pilot project for the implementation of a photovoltaic electric power generation system at the Rectory of the Federal Institute of Education, Science and Technology of the Triângulo Mineiro (IFTM) will allow the verification of electric energy savings over the months and will allow the analysis of the return on investment, comparing the cost of capital invested.

To be attractive, the investment proposal should at least return the value referring to current and low risk applications.

Keywords: electric power generation, photovoltaic, payback, NPV, IRR, investment risk.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Orçamento Total do IFTM	12
Figura 2 – Componentes direta e difusa da radiação solar na superfície terrestre	16
Figura 3 –Piranômetro Hukseflux SR20	17
Figura 4 –Pireliômetro Hukseflux DR01	17
Figura 5 – Perfil da irradiância solar ao longo do dia	18
Figura 6 – Mapa da insolação diária média anual em Minas Gerais	20
Figura 7 – Sistema de coordenadas horizontais	21
Figura 8 – Trajetória do movimento do Sol ao longo do ano	23
Figura 9 – Modo de utilização de um controlador de carga	24
Figura 10 (a) – Inversor de Frequência 15 kW	26
Figura 10 (b) – Módulos painéis fotovoltaicos	26
Figura 11 – Ilhamento	28
Figura 12 – Fluxograma para seleção da unidade	35
Figura 13 – Fluxograma para viabilização de acesso	39
Figura 14 – Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro	40
Figura 15 – Vista superior da Reitoria	41
Figura 16 – Configuração do sistema fotovoltaico	42
Figura 17 – Vista aérea da Reitoria	43
Figura 18 – Fotos da instalação dos painéis sobre os blocos	44
Figura 19 – Pannel fotovoltaico policristalino	46
Figura 20 – Fotos da montagem dos inversores de frequência	48
Figura 21 – Produção mensal de energia elétrica - Reitoria – Ano 2018	53
Figura 22 – Produção diária de energia elétrica - Reitoria – Ago/2018	54
Figura 23 – Produção diária de energia elétrica - Reitoria – Set/2018	54
Figura 24 – Produção diária de energia elétrica – Reitoria - Out/2018	55
Figura 25 – Produção diária de energia elétrica – Reitoria – Nov/2018	55
Figura 26 – Produção diária de energia elétrica– Reitoria – Dez/2018	56
Figura 27 – Potência elétrica produzida pela Reitoria em 10/Nov/2018	57
Figura 28 – Potência elétrica produzida pela Reitoria em 29/Jan/2019	57
Figura 29 – Comparação da energia elétrica consumida entre os anos de 2017 e 2018.....	58
Figura 30 - Comparação energia registrada no medidor bidirecional no ano de 2018	59
Figura 31 – Comparação dos valores totais das faturas de energia elétrica em 2017 e 2018	60

Figura 32 – Valores totais corrigidos - faturas de energia elétrica em 2017 e 2018	61
Figura 33 – Comparação da rentabilidade mensal (Ago/2018 a Jan/2019)	63
Figura 34 – Série do rendimento mensal caderneta de poupança (2003 a 2018)	63
Figura 35 – Garantia de desempenho linear	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites dos requisitos do sistema fotovoltaico.....	29
Tabela 2 – Matriz de requisitos para instalação da usina fotovoltaica	36
Tabela 3 - Requisitos mínimos exigidos no anteprojeto	37
Tabela 4 – Características dos painéis fotovoltaicos	45
Tabela 5 – Características dos inversores de frequência	47
Tabela 6 – Histórico do consumo de energia elétrica - IFTM Reitoria – Ago/2018	49
Tabela 7 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2018	51
Tabela 8 – Cálculo da rentabilidade da usina fotovoltaica	62
Tabela 9 – Rentabilidade no período das principais aplicações financeiras em %	62
Tabela 10 – Rentabilidade das principais aplicações financeiras em %	68
Tabela 11 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2018	73
Tabela 12 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Set/2018	74
Tabela 13 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Out/2018	75
Tabela 14 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Nov2018	76
Tabela 15 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Dez/2018	77
Tabela 16 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2017	78
Tabela 17 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Set/2017	79
Tabela 18 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Out/2017	80
Tabela 19 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Nov/2017	81
Tabela 20 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Dez/2017.....	82
Tabela 21 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria-Ago/2017–corrigidos...	83
Tabela 22 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria-Set/2017–corrigidos...	84
Tabela 23 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria-Out/2017–corrigidos....	85
Tabela 24 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria-Nov/2017–corrigidos...	86
Tabela 25 – Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria-Dez/2017–corrigidos...	87
Tabela 26 – Fluxo de caixa anual esperado.....	88

LISTA DE SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BT – Baixa Tensão

CDB – Certificado de Depósito Bancário

CDI – Certificado de Depósito Interbancário

CEFET - Centros Federais de Educação Tecnológica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GD – Geração Distribuída

HFP – Horário Fora de Ponta

HP – Horário de Ponta

IFTM – Instituto Federal do Triângulo Mineiro

MEC – Ministério da Educação

MPPT - *Maximum Power Point Tracking*

MT – Média Tensão

ND – Norma de Distribuição

PWM - *Pulse Width Modulation*

PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia

SETEC - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede

TIR – Taxa Interna de Retorno

TMA – Taxa Mínima de Atratividade

UFTM – Universidade Federal do Triângulo Mineiro

VPL – Valor Presente Líquido

VTCD – Variações de Tensão de Curta Duração

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. JUSTIFICATIVA	13
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GERAL.....	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 A ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	16
4.2 CONCEITOS BÁSICOS.....	18
4.3 ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	21
4.4 APLICAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	23
4.5 NORMAS APLICÁVEIS	27
4.6 REQUISITOS PARA A CONEXÃO AOS SFCR	28
4.7 COMPARAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS.....	30
5. METODOLOGIA DE PESQUISA	32
5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA (ETAPA 1).....	33
5.2 CONTRATAÇÃO (ETAPA 2).....	37
5.3 PROCEDIMENTOS PARA VIABILIZAÇÃO DE ACESSO (ETAPA 3)	38
5.4 INSTALAÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA NA REITORIA (ETAPA 4).....	40
6. RESULTADOS	53
6.1 DADOS DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA REITORIA.....	53
6.2 DADOS OBTIDOS DAS FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	58
6.3 CÁLCULO DA RENTABILIDADE MENSAL DA USINA FOTOVOLTAICA.....	62
6.4 ANÁLISE DE RETORNO DE INVESTIMENTO DA USINA FOTOVOLTAICA	64
7. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE A	73

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento do consumo de energia elétrica e reconhecimento das vantagens da implantação de sistemas de geração distribuídas frente aos vultosos investimentos necessários em geração, transmissão e distribuição, o sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica destaca-se como grande aposta do setor.

Observa-se que “entre as maiores dificuldades encontradas para a inserção da geração distribuída no Brasil estão os preços, ainda elevados, de instalação das novas tecnologias recentemente desenvolvidas”. (ZILLES; MACÊDO; GALHARDO; OLIVEIRA, 2012, p.54)

A escassez dos recursos financeiros disponíveis diante das necessidades ilimitadas faz com que cada vez mais se procure otimizar sua utilização. (CASAROTTO; KOPITTKE, 2010).

A análise prévia de investimentos permite maior racionalização na utilização dos recursos de capital. E para solucionar um problema de análise de investimentos dentro da complexidade do mundo atual, é necessário o conhecimento de técnicas estudadas em engenharia econômica. (CASAROTTO; KOPITTKE, 2010).

Os sistemas fotovoltaicos, comparados com outras tecnologias de geração, são de instalação relativamente rápida e simples, o que praticamente elimina os riscos de grandes atrasos nos cronogramas das obras de instalação. Permitem, portanto, o início da operação apenas alguns meses depois da compra do sistema, algo que poderá diminuir substancialmente os custos de capital reunidos para o empreendimento. Instalados próximo ao local de consumo, ajudam a postergar os investimentos no aumento da capacidade das linhas de distribuição e mitigando perdas técnicas no transporte da eletricidade, representando, assim, um investimento eficaz do ponto de vista financeiro. (ZILLES; MACÊDO; GALHARDO; OLIVEIRA, 2012)

Uma maneira conveniente de medir o valor da riqueza criada por um investimento seria descontar os fluxos de caixa projetados a serem gerados por esse investimento. (CHING; MARQUES; PRADO, 2011).

Para a análise do retorno de investimentos, diversas técnicas podem ser utilizadas para verificar a geração de valor, dentre elas podemos destacar o *payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

2 JUSTIFICATIVA

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) foi criado mediante integração dos antigos Centros Federais de Educação Tecnológica (CEFET) e define-se como uma "instituição de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicâmpus" (BRASIL, 2008).

O IFTM possui natureza autárquica, detentora de autonomia administrativa, patrimonial, financeira, didático-pedagógica e disciplinar. Assim como os demais Institutos Federais de Educação Tecnológica, disponibiliza a oferta da educação nos diversos níveis de ensino e modalidade de cursos, permitindo o ingresso do estudante desde o Ensino Médio até o nível superior e de pós-graduação lato-sensu e stricto-sensu, como mestrado. (Plano de Desenvolvimento Institucional 2014-2018).

A fim de induzir a cultura do desenvolvimento de Energias Renováveis e Eficiência Energética na Rede Federal de Educação, o Ministério da Educação (MEC), por meio da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), implementou o Programa para Desenvolvimento em energias renováveis e eficiência energética na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica – EnergIF.

Lançado em 2017, o programa EnergIF tem como uma das suas principais ações apoiar novas formas de aquisição de energia elétrica na Rede Federal.

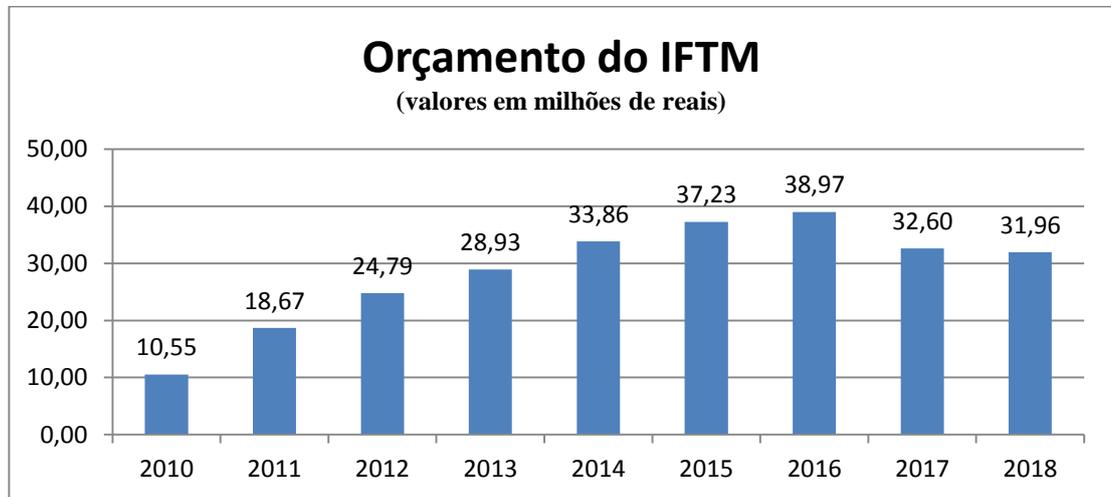
“O Programa torna possível a aplicação de medidas de melhoria no desempenho energético da Rede Federal, a fim de reduzir as despesas de custeio com energia elétrica”. (www.energif.org). Dentre as ações do programa, podemos destacar a gestão de energia, que objetiva estimular, avaliar e difundir a implementação de iniciativas de eficiência energética.

A eficiência energética pode ser definida como a otimização do uso de energia necessária para fornecer a mesma quantidade do valor energético, ou seja, obter melhores resultados por meio de tecnologias, processos e atitudes, sem abrir mão do conforto e com redução dos custos (ELETROBRÁS, 2010).

Neste contexto, novos projetos de reforma e expansão dos Institutos Federais devem considerar o aproveitamento e utilização da energia solar para a redução de despesas, visto que a redução de custeio representa um dos grandes desafios impostos, frente às condições macroeconômicas atuais do país.

A partir do ano de 2016 é possível notar uma redução significativa de recursos financeiros destinados ao IFTM, conforme podemos observar na Figura 1 – Orçamento Total do IFTM.

Figura 1 – Orçamento Total do IFTM



Fonte: Manual do Orçamento IFTM, 2018

“O IFTM terá a sua disposição no ano de 2018 o valor total de R\$ 31.958.541,00. O Orçamento Total do IFTM é a soma dos Orçamentos disponíveis para os Campi e Reitoria”. (Manual do Orçamento IFTM, 2018, p.7).

Aliado a estes fatores, somam-se os esforços das instituições públicas, em especial as instituições de ensino, produção e desenvolvimento de pesquisas em promover a temática da sustentabilidade.

Apesar do progresso na forma de lidar com o problema energético e ambiental, ainda é preciso avançar muito neste sentido. É necessário instituir novos modelos de desenvolvimento sustentável no mundo, em que se estabeleçam alternativas de utilização dos recursos e de novas formas de gestão e de tecnologias, orientadas por uma racionalidade socioambiental e financeira, a fim de aumentar o interesse das instituições em investir em energias renováveis.

Este estudo está baseado na ideia que a implantação de um sistema de geração de energia elétrica através de células fotovoltaicas não consiste na simples instalação dos equipamentos para aproveitamento da energia solar. É fundamental que se realize uma análise considerando o custo do capital investido e o retorno financeiro proporcionado pela economia de energia elétrica.

É diante deste cenário que se desejou desenvolver o projeto, ou seja, permitir que o resultado deste estudo sirva de embasamento na tomada de decisão em investimentos de geração de energia solar fotovoltaica, a fim de garantir a geração de valor econômico.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL:

Esta pesquisa tem como objetivo realizar a análise de retorno de investimento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica na Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro, verificando sua viabilidade econômica e concentrando conhecimentos a respeito das tecnologias empregadas nos projetos de sistemas fotovoltaicos.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma investigação detalhada a respeito das tecnologias envolvidas, discorrendo a respeito dos aspectos técnicos mais relevantes de um sistema de geração de energia solar fotovoltaico.
- Registrar e apresentar os quesitos para a implantação do projeto;
- Avaliar o retorno de investimento da implantação de um sistema de geração fotovoltaico de 70 kW pico instalado na Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro;
- Verificar os resultados obtidos através de diferentes métodos de fluxos de caixas descontados;
- Determinar a taxa mínima de atratividade (TMA) e comparar com as principais taxas de juros obtidas no mercado;

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

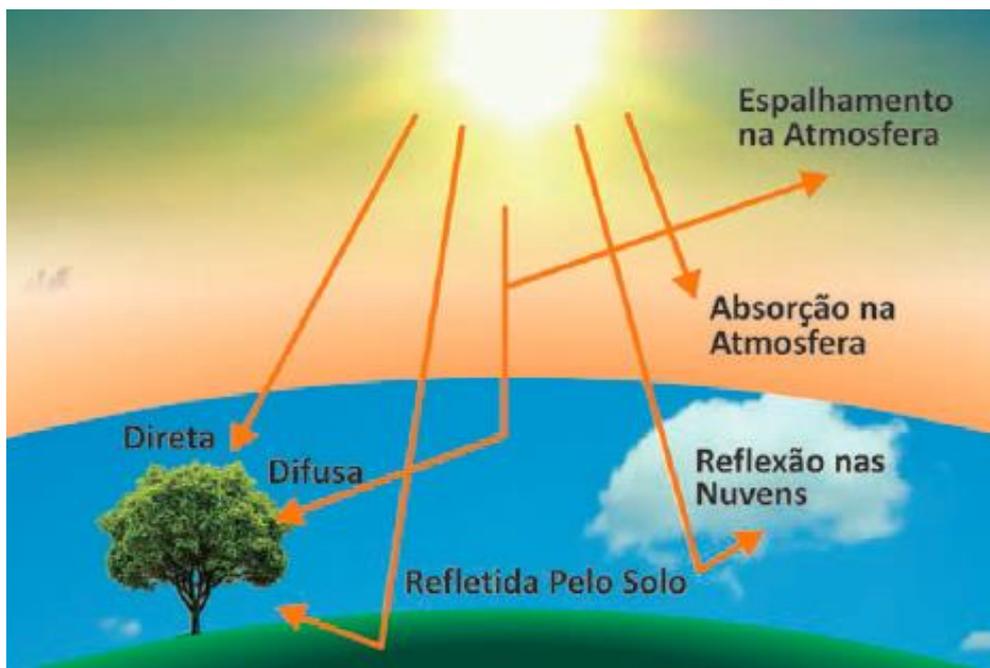
4.1 A ENERGIA FOTOVOLTAICA

A transferência da energia solar para o planeta Terra ocorre na forma de radiação solar eletromagnética e antes de chegar ao solo sofre diversas interferências.

Assim, a radiação global que atinge a superfície do solo é composta pela radiação direta, que corresponde aos raios solares que chegam diretamente do Sol em linha reta e pela radiação difusa, proveniente dos raios solares que sofrem difração e reflexão nas nuvens, na atmosfera, no solo e em demais objetos (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

A Figura 2 ilustra as componentes da radiação solar que chegam diretamente à superfície terrestre e a componente difusa que sofre o processo de espalhamento, absorção e reflexão.

Figura 2 – Componentes direta e difusa da radiação solar na superfície terrestre



Fonte: Atlas solarimétrico de Minas Gerais – CEMIG, 2012

Portanto, a radiação global que chega na superfície terrestre pode ser expressa por:

$$\text{Radiação global} = \text{Radiação direta} + \text{Radiação difusa} \quad (1)$$

A radiação global pode ser medida através de um instrumento chamado piranômetro, conforme podemos ver na figura 3. Este instrumento gera um pequeno sinal de tensão proporcional ao fluxo de radiação solar, expresso em W/m^2 .

Figura 3 – Piranômetro Hukseflux SR20



Fonte: www.huksefluxbrasil.com.br

A radiação direta é medida através de um instrumento que possui um tubo com uma estreita abertura, permitindo que apenas a luz direta possa atingir o sensor, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Pireliômetro Hukseflux DR01



Fonte: www.huksefluxbrasil.com.br

4.2 CONCEITOS BÁSICOS

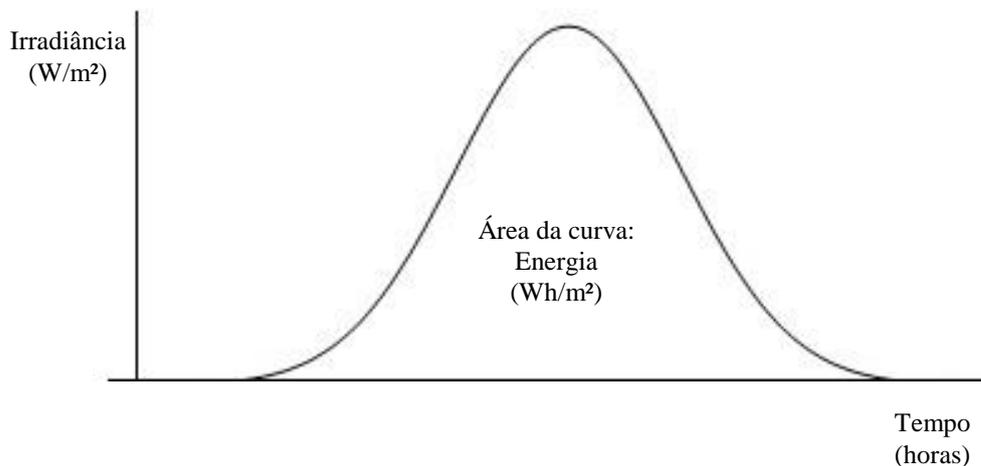
A irradiância, também chamada de irradiação, é uma grandeza utilizada para quantificar a radiação solar, expressa em W/m^2 . Trata-se, portanto, de uma unidade de potência por área. Os instrumentos mostrados na Figura 3 e na Figura 4 fornecem medidas de irradiância.

Na superfície terrestre, a irradiância solar é tipicamente em torno de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Este valor é adotado como padrão na indústria fotovoltaica para a especificação e avaliação da eficiência dos módulos fotovoltaicos de diversos fabricantes (GAZOLI; VILLALVA, 2013).

Já a insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área em um determinado intervalo de tempo e é expressa em Wh/m^2 .

A figura 5 ilustra a diferença entre os conceitos de irradiância e insolação.

Figura 5 – Perfil da irradiância solar ao longo do dia



Fonte: Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, 2013

Através do piranômetro, observamos a variação instantânea da irradiância I_r (W/m^2) ao longo do dia, sendo dado pela expressão (2):

$$I_r = f(t) \quad (2)$$

Por se tratar de uma unidade de potência por unidade de área num intervalo de tempo, temos que a insolação I_n (Wh/m^2) é dada pela integral da curva conforme expressão (3).

$$I_n = \int_{t_0}^{t_1} f(t) dt \quad (3)$$

Ou seja, a insolação é a energia total registrada ao longo do dia por metro quadrado ($\text{Wh/m}^2/\text{dia}$) considerando a integralização da radiação instantânea dos pontos da curva da figura 5.

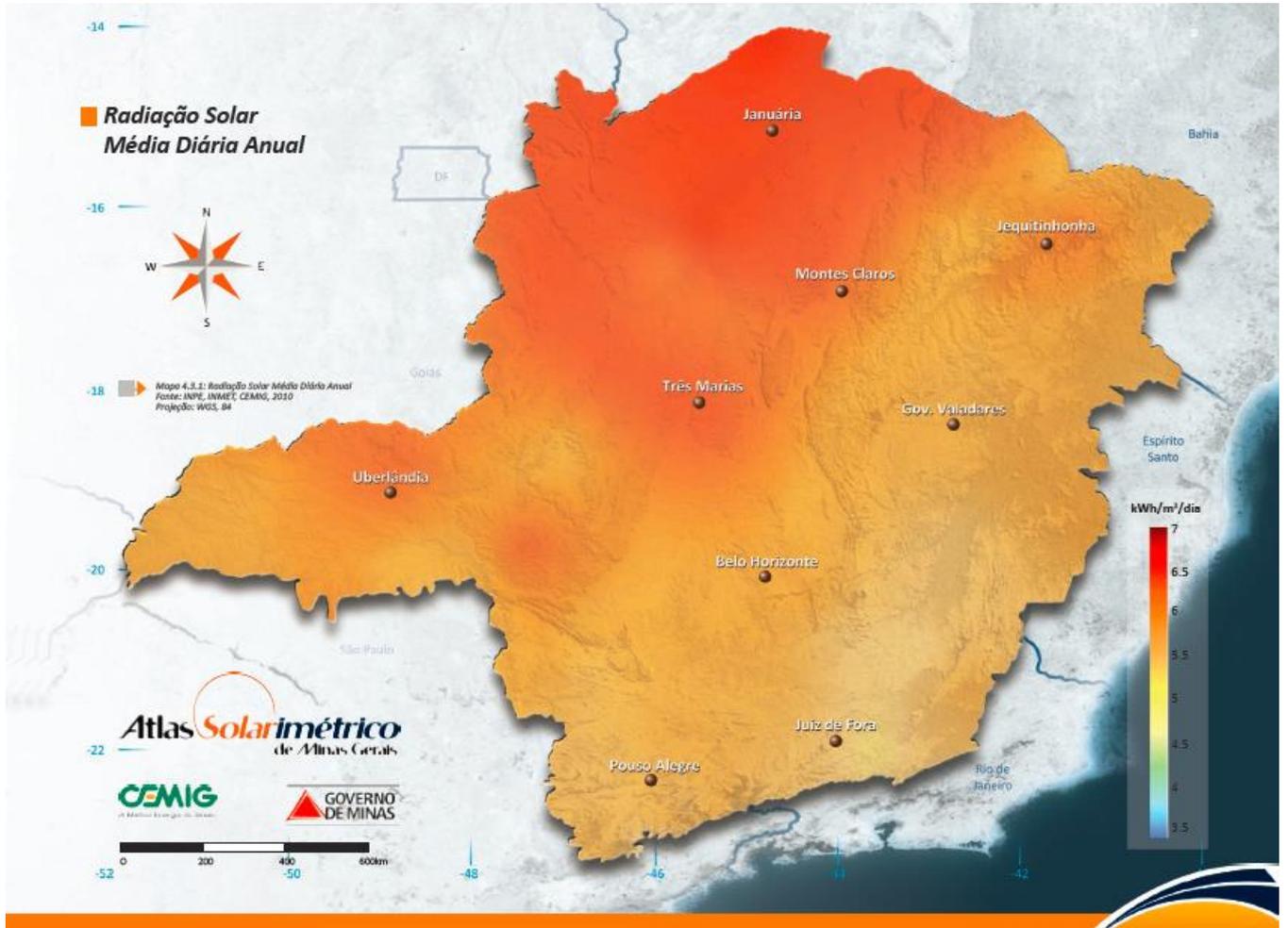
O mapa de insolação fornece os valores diários expressos em $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$.

O estudo dos recursos solares é de grande importância para difusão do uso da energia solar para fins energéticos. A precisão dos dados para o conhecimento espacial ou temporal permite reduzir os riscos e elevar a qualidade dos sistemas solares de geração de energia, garantindo confiabilidade e redução nos custos da energia gerada.

De acordo com o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - CEMIG (2012), para sistemas fotovoltaicos planos (sem concentração), o requisito para a radiação solar deve ser maior do que $2.000 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, ou seja, $5,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ (valor médio diário anual). Tais valores são pouco acima do que usualmente se utiliza para a elaboração de estudos de viabilidade de instalação de centrais fotovoltaicas em escala mundial.

O estado de Minas Gerais dispõe de vastas regiões que preenchem os critérios mencionados acima. No que concerne à insolação, observando a figura 6, verifica-se que a metade do Estado, mais precisamente, que todo o lado ocidental, possui radiação solar global diária média anual entre $5,5$ e $6,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$.

Figura 6 – Mapa da insolação diária média anual em Minas Gerais



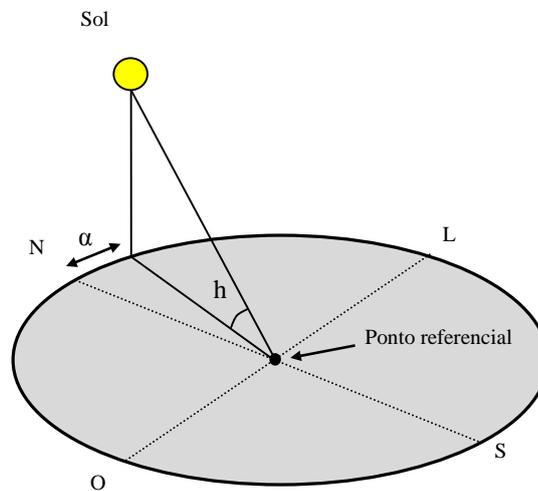
Fonte: INPE, INMET, CEMIG, 2010

4.3 ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A instalação adequada dos painéis fotovoltaicos deve considerar o posicionamento e a trajetória do sol ao longo do dia e ao longo do ano.

Através do sistema de coordenadas horizontais é possível identificar a localização de um corpo celeste a partir de um ponto referencial, expresso por de meio dois ângulos: a altura ou elevação (h) e o azimute (α), conforme Figura 7 – Sistema de coordenadas horizontais.

Figura 7 – Sistema de coordenadas horizontais

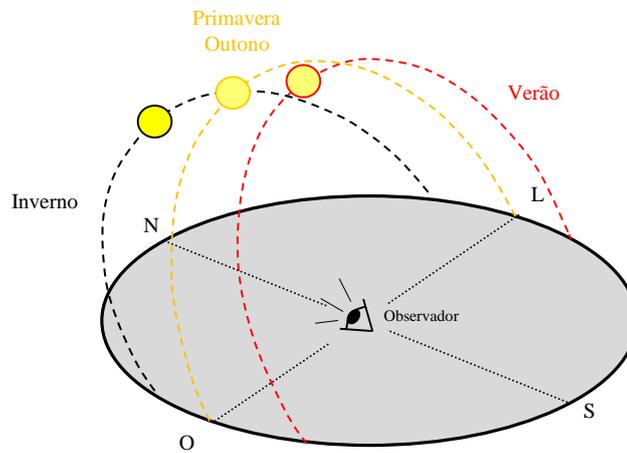


Fonte: Adaptado de Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, 2013

O melhor aproveitamento da energia solar ocorre quando os raios solares incidem perpendicularmente ao plano do painel fotovoltaico. Esta condição é atendida quando as placas solares estão orientadas com um ângulo azimutal (α) igual a zero, ou seja, alinhadas com o norte geográfico (no hemisfério sul) e quando o painel possui uma inclinação ótima, de modo que a altura solar (h) permita que incidência dos raios sejam ortogonais aos painéis.

Um observador localizado no hemisfério sul, ao olhar em direção ao norte geográfico enxerga o Sol descrevendo uma trajetória circular no céu. Durante o inverno a altura solar é menor, próxima à linha do horizonte. Portanto, o observador enxerga o Sol mais baixo. Durante o verão, a altura solar é maior, portanto os raios solares incidem quase perpendicularmente ao plano horizontal, conforme podemos observar na Figura 8 – Trajetória do movimento do Sol ao longo do ano.

Figura 8 – Trajetória do movimento do Sol ao longo do ano



Fonte: Adaptado de Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, 2013

A maior parte dos sistemas fotovoltaicos possui ângulo de inclinação fixo. É possível, portanto, determinar um ângulo de inclinação ideal que possibilite uma boa produção média de energia ao longo do ano. Uma recomendação prática e simples é a instalação dos painéis com ângulo de inclinação equivalente à latitude da região de instalação do sistema fotovoltaico.

4.4 APLICAÇÕES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A configuração de um sistema de geração de energia fotovoltaica está diretamente ligada às características da aplicação a que se destina.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois grandes grupos:

- Sistemas fotovoltaicos autônomos ou isolados (off-grid)
- Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (on-grid)

Cada configuração possui componentes e equipamentos específicos para cada aplicação, conforme descrito a seguir.

4.4.1 Sistemas fotovoltaicos autônomos ou isolados (off-grid)

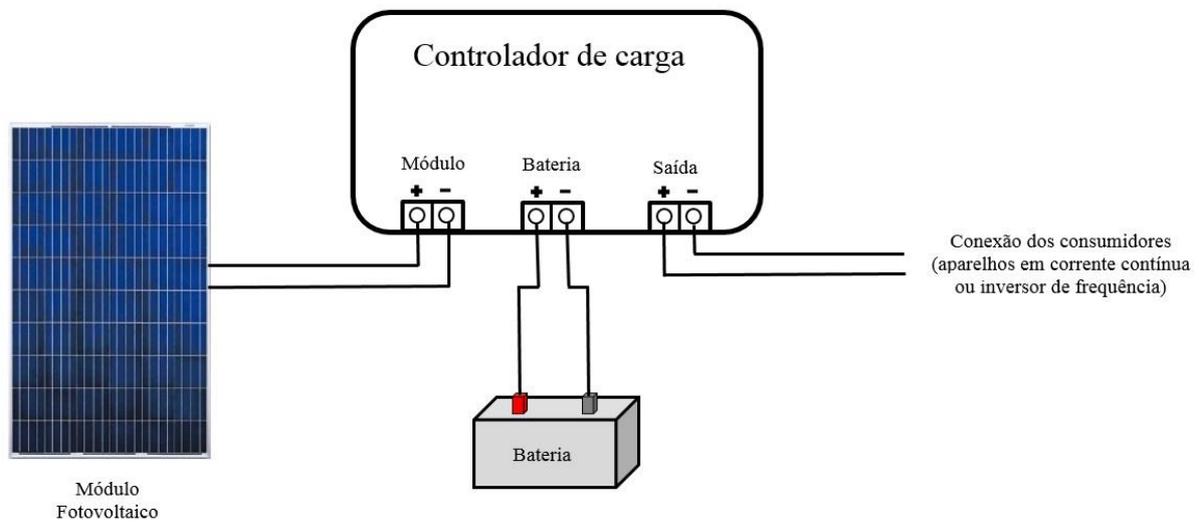
Os sistemas fotovoltaicos autônomos são utilizados para atender cargas que não estão conectadas à rede do sistema de distribuição de energia elétrica. A escolha por este tipo de configuração pode proporcionar redução dos custos de energização de uma determinada carga consumidora em locais isolados, onde a implantação de uma rede de distribuição de energia elétrica pode ser muito onerosa ou até inviável, como regiões remotas ou de difícil acesso.

Este sistema também é bastante difundido em sistemas embarcados e serviços específicos, como torres de telecomunicações, estações meteorológicas, aplicações aeroespaciais, iluminação pública, radares, sistemas de bombeamento de água, entre outros.

“Um sistema fotovoltaico autônomo é geralmente composto de um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e, conforme a aplicação, um inversor de frequência para alimentação de cargas em corrente alternada,

O controlador de carga é o dispositivo que faz a correta conexão entre o painel fotovoltaico e a bateria, evitando que a bateria seja sobrecarregada ou descarregada” (GAZOLI; VILLALVA, 2013), conforme podemos observar na Figura 9.

Figura 9 – Modo de utilização de um controlador de carga



Fonte: Adaptado de Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações, 2013

Os controladores de carga podem ser convencionais, eletrônicos com PWM (*Pulse Width Modulation*) ou ainda eletrônicos com PWM e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Os controladores PMW são equipamentos mais sofisticados que os convencionais. São microprocessados e por isso oferecem recursos otimizados, maximizando a vida útil da bateria. Os controladores eletrônicos com PWM e MPPT possuem ainda o recurso de maximizar o aproveitamento da radiação solar do painel fotovoltaico, operando sempre em seu ponto de máxima potência, qualquer que seja a condição de radiação solar sobre o módulo.

4.4.2 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (on-grid)

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR) operam em paralelismo com a rede de distribuição de energia elétrica (*on-grid*), ou seja, são instalados em locais onde já existe suprimento de energia em corrente alternada fornecida pela concessionária de energia elétrica. Os SFCR podem operar através do sistema de geração microgeração ou minigeração distribuída.

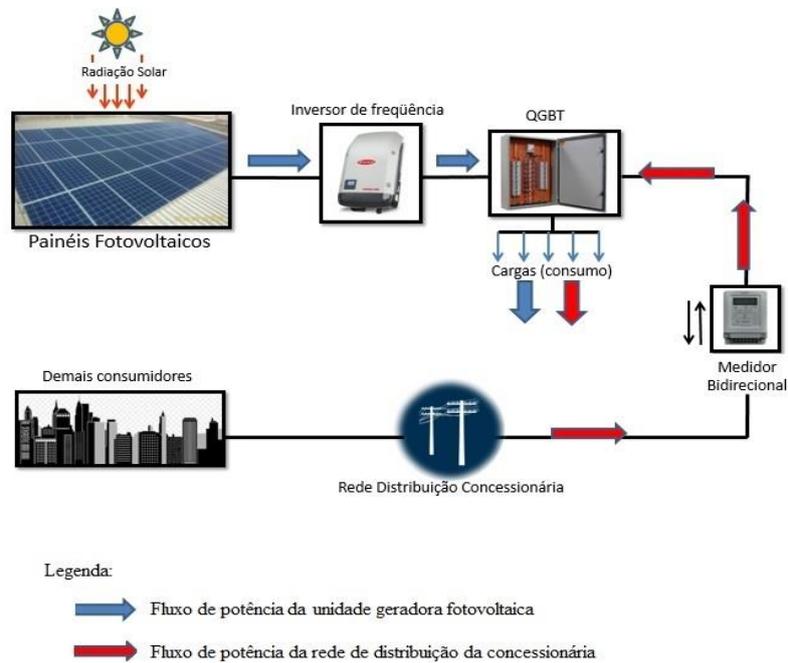
A geração distribuída (GD) pode ser definida como sendo um sistema composto por centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS (Manual de Distribuição CEMIG, 2018).

A ANEEL, através da Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e introduziu o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo que uma unidade consumidora, por meio da implantação de um SFCR, receba créditos da distribuidora local pelo excedente de energia que produziu com base em fontes renováveis. O crédito gerado pelo excedente de energia elétrica produzido pode ser usado para compensar débitos na conta de consumo de energia.

A Figura 10 (a) ilustra a condição em que a produção de energia pelo microgerador fotovoltaico não é suficiente para atender a totalidade da carga consumida pela unidade consumidora. A parcela de energia demandada pela unidade consumidora é suprida pela rede de distribuição da concessionária de energia, que está ligada em paralelo ao gerador fotovoltaico.

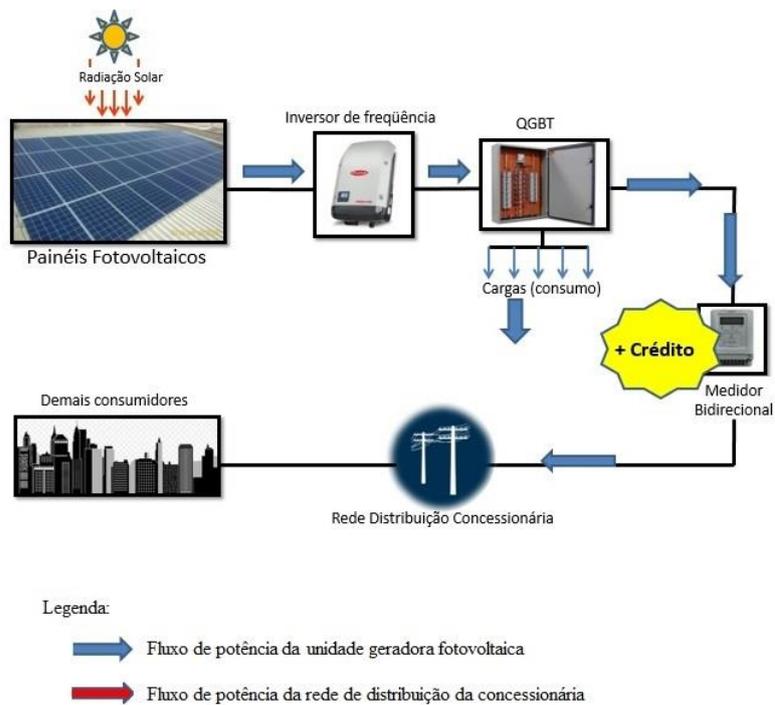
Considerando que tanto o consumo de energia de uma unidade consumidora, quanto a produção de energia elétrica pelo microgerador fotovoltaico podem variar ao longo do dia, em determinando momento a energia elétrica produzida poderá ser maior do que a carga consumida, gerando um excedente de energia que será injetado na rede de distribuição energia elétrica, produzindo o crédito a ser utilizado através do sistema de compensação de energia elétrica, conforme ilustrado na Figura 10 (b).

Figura 10 (a) – Energia elétrica fotovoltaica produzida é menor que o consumo



Fonte: Do autor, 2018

Figura 10 (b) – Energia elétrica fotovoltaica produzida é maior que o consumo



Fonte: Do autor, 2018

4.5 NORMAS APLICÁVEIS

A resolução ANEEL 482/2012 determina que o acesso de microgeração e minigeração distribuída devem utilizar como referência o módulo 3 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais. A literatura frequentemente faz referência às recomendações das seguintes normas e procedimentos:

- ABNT NBR 16149:2013 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ABNT NBR 16274:201 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho.
- ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.
- IEEE 1547-2018 - *Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*
- IEEE 929-2000 - *Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*
- IEC 61727:2004 - *Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface*
- IEC 62116:2014 - *Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of islanding prevention measures*
- VDE 0126-1-1 - *Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid*
- PORTARIA INMETRO nº 357, de 01 de agosto de 2014.

4.6 REQUISITOS PARA A CONEXÃO AOS SFCR

Os inversores de frequência dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR) diferem dos inversores dimensionados para os sistemas autônomos pois são equipados com recursos adicionais, visto que trabalham em paralelismo com a rede e funcionam como fonte de corrente, ou seja, não possuem capacidade para fornecer tensão constante para o sistema.

As referências normativas fazem recomendações quanto aos aspectos de qualidade de energia elétrica, proteção contra ilhamento, dentre outros.

4.6.1 Proteção contra ilhamento

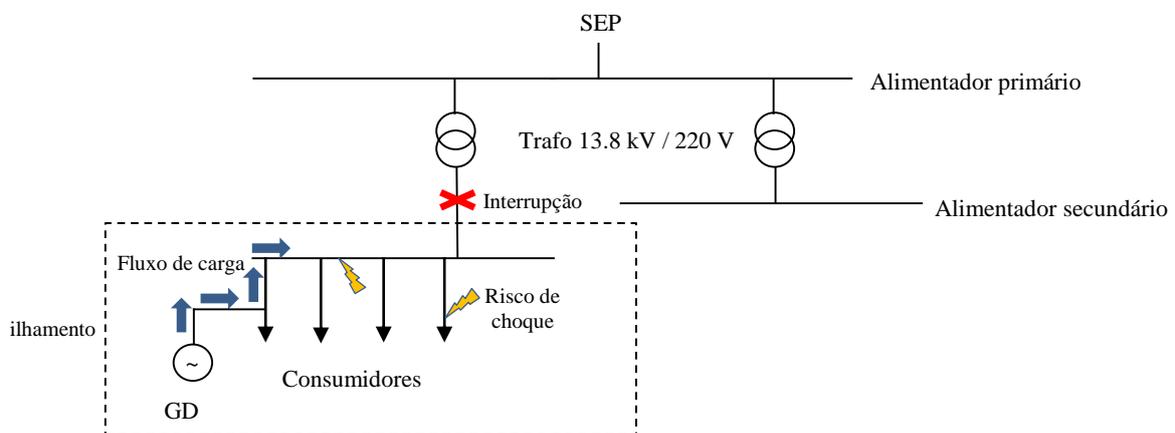
O sistema de anti-ilhamento é requisito mínimo exigido no módulo 3 do PRODIST para conexão de microgeração e minigeração distribuída, qualquer que seja potência instalada.

A operação em ilha, ou ilhamento, ocorre quando o sistema de geração distribuída, mesmo quando desconectado do sistema elétrico de potência, permanece conectada à uma parte restrita do sistema de distribuição elétrica, gerando riscos de acidentes às instalações e pessoas nos processos de interrupção programada ou emergencial da rede, conforme Figura 11.

A função anti-ilhamento é ativada quando o inversor de frequência detecta os requisitos anormais de operação de tensão ou frequência da rede elétrica, realizando a desconexão do inversor.

A norma ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, define as diretrizes para validar o desempenho de inversores para as medidas de prevenção de ilhamento.

Figura 11 – Ilhamento



A Tabela 1 resume os limites dos principais requisitos que o sistema fotovoltaico deve atender de acordo com as principais normas e procedimentos vigentes:

Tabela 1 - Limites dos requisitos do sistema fotovoltaico

Requisitos	Norma			
	IEC 61727	IEEE 1547	VDE 0126-1-1	PRODIST
Tensão de operação ¹	$85\% \leq V < 110\%$	$89\% \leq V < 110\%$	$86\% \leq V < 110\%$	-
Frequência de operação normal	$59 \leq \text{Hz} \leq 61$	$59,3 \leq \text{Hz} \leq 60,5$	-	$59,9 \leq \text{Hz} \leq 60,1$
DHT ²	5%	5%	-	5%
Injeção de corrente contínua	1%	0,5%	1 Ampère	-
Fator de Potência	0,9	0,92	-	0,92
Detecção de ilhamento (desconexão)	2 segundos	2 segundos	-	-

(1) Faixa de tensão em regime permanente admissível em %

(2) Limite de Distorção Harmônica Total em %

Fontes: Normas IEC 61727, IEEE 1547, VDE 0126-1-1 e PRODIST

4.7 COMPARAÇÃO DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS

A análise de retorno de investimentos é fundamental em situações onde nos deparamos com a escolha de alternativas que envolvem estudos econômicos. Não raro, a escolha é realizada sem que o custo do capital empregado seja considerado adequadamente. Somente um estudo econômico pode confirmar a viabilidade de projetos tecnicamente corretos. (CASAROTTO; KOPITTKKE, 2010).

Dentre os métodos utilizados para a análise de retorno de investimentos, podemos citar: o método de payback, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

4.7.1 O método *payback*

“O período de *payback* é o tempo necessário para que a empresa recupere o investimento inicial em um projeto, calculado a partir das entradas de caixa” (GITMAN, 2012, p. 366)

Ainda conforme Gitman (2009), o *payback* é considerado uma técnica pouco interessante, por não considerar o valor do dinheiro no tempo.

4.7.2 Valor Presente Líquido (VPL)

De acordo com Assaf (2009), o método do valor presente líquido para análise dos fluxos de caixa é obtido pela diferença entre o valor presente dos benefícios previstos de caixa, e o valor presente do fluxo de caixa inicial (valor de investimento), expressa da seguinte forma:

$$VPL = \left[\frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n} \right] - FC0 \quad (1)$$

Onde:

FCj: representa o valor de entrada de caixa previsto para cada intervalo de tempo;

FC0: fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), ou seja, o investimento inicial;

4.7.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

“A taxa interna de retorno é a taxa de juros (desconto) que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa”. (ASSAF, 2009, p.152)

Ainda segundo Assaf (2009), o fluxo de caixa no momento zero (fluxo de caixa inicial) é representado pelo valor do investimento, os demais fluxos de caixa indicam os valores das receitas ou prestações devidas.

Nessas condições, a identidade de cálculo da taxa interna de retorno é identificada da forma seguinte:

$$FC0 = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n} \quad (2)$$

Onde:

FC0 = valor do fluxo de caixa no momento zero (investimento)

FCj = fluxos previstos de entradas ou saídas de caixa em cada período de tempo;

i = taxa de desconto que iguala, em determinada data, as entradas com as saídas previstas de caixa, ou seja, representa a taxa interna de retorno.

4.7.4 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

“Ao se analisar uma proposta de investimento deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos”. (CASAROTTO; KOPITKE, 2010, p. 97)

Para que a proposta seja atrativa, o investimento deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. (CASAROTTO; KOPITKE, 2010).

Deve-se observar que os órgãos públicos no Brasil não seguem necessariamente este princípio, pois não aplicam investimentos de suas empresas em capital de risco.

5 METODOLOGIA DE PESQUISA

A pesquisa abordou uma investigação detalhada a respeito das tecnologias envolvidas, elencando os aspectos técnicos mais relevantes sobre o sistema de geração de energia solar fotovoltaico.

A pesquisa bibliográfica foi baseada em artigos publicados e veiculados em revistas científicas, livros, conteúdos científicos especializados, dentre outras referências de domínio público. Os procedimentos de pesquisa foram iniciados com a seleção, leitura e análise dos textos considerados mais relevantes do setor.

A partir da implantação do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, foram colhidos os resultados da geração de energia elétrica (kWh) ao longo dos meses e verificada a economia do consumo de energia elétrica da rede da concessionária de energia elétrica local. Através dos resultados obtidos, foram realizados os cálculos para análise de retorno do investimento, comparando o custo do capital investido com as diversas taxas de juros praticadas no mercado.

A fim de sistematizar a análise dos resultados, foram levantados os requisitos e parâmetros específicos para o estudo de caso de implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica.

O processo de implantação do sistema de geração de energia fotovoltaica foi dividido em 4 etapas:

- ETAPA 1 – Análise de viabilidade técnica;
- ETAPA 2 – Contratação;
- ETAPA 3 - Procedimentos para viabilização de acesso;
- ETAPA 4 – Instalação da usina fotovoltaica na Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro.

Por fim, a última etapa consiste em registrar os resultados da produção de energia elétrica da usina fotovoltaica e das faturas de energia elétrica da Reitoria a fim de determinar a análise de retorno de investimento.

5.1 ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA (ETAPA 1)

O IFTM é composto, atualmente, pelos Campi Ituiutaba, Paracatu, Patos de Minas Patrocínio, Uberaba Parque Tecnológico – Unidade I, Uberaba Parque Tecnológico – Unidade II, Campina Verde, Uberaba, Uberlândia, Uberlândia Centro e pela Reitoria.

Para a implantação do projeto piloto de uma Usina Fotovoltaica de 70 kW pico, levou-se em consideração diversos aspectos técnicos que envolvem desde características construtivas da edificação até aspectos normativos da rede de energia elétrica local, tais como:

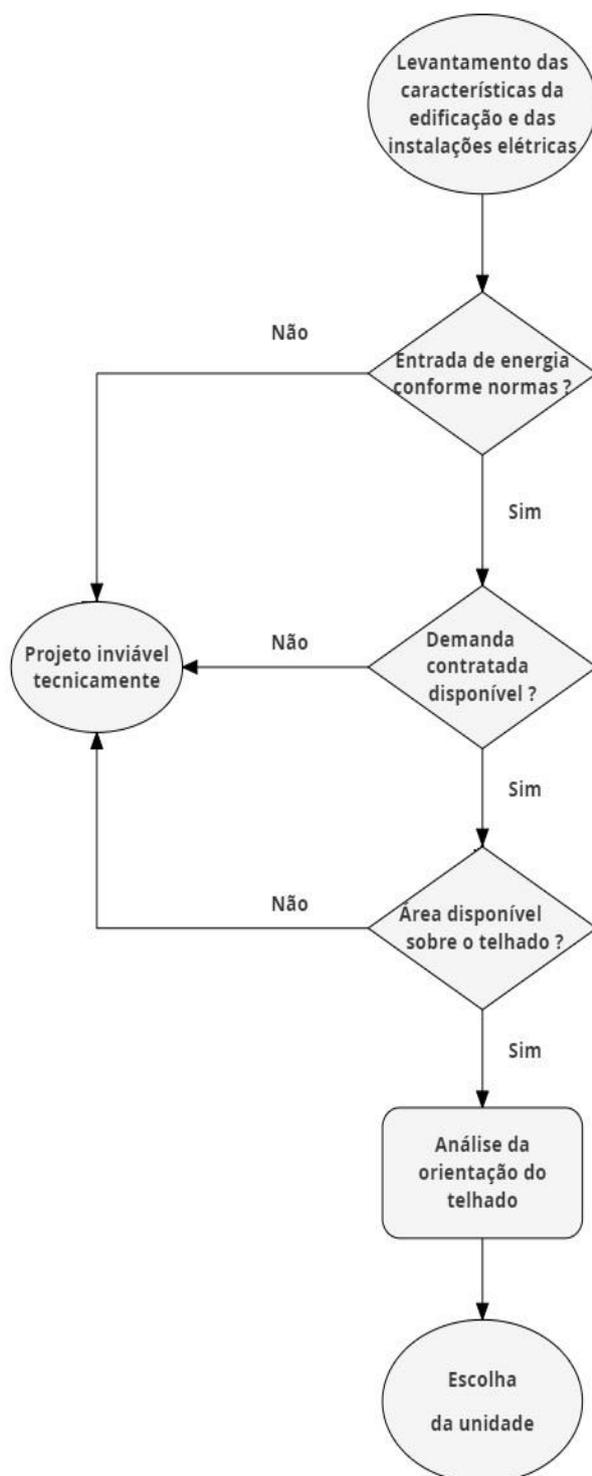
- a) A conexão da unidade da Geração Distribuída (GD) e a adesão ao sistema de compensação da energia gerada fica condicionada à adequação do padrão de entrada da unidade consumidora conforme estabelecido na Norma de Distribuição 5.30, caso a unidade consumidora seja atendida em BT - Baixa Tensão ou na Norma de Distribuição 5.31, caso a unidade consumidora seja atendida em MT - Média Tensão (Parecer de Acesso CEMIG, 2017).
- b) A potência instalada da microgeração e da minigeração distribuída fica limitada à potência disponibilizada para a unidade consumidora onde a central geradora será conectada, nos termos do inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, conforme reproduzido a seguir: “LX – potência disponibilizada: potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da unidade consumidora, segundo os critérios estabelecidos nesta Resolução e configurada com base nos seguintes parâmetros: unidade consumidora do grupo A: a **demanda contratada**, expressa em quilowatts (kW) (ND 5.31 - Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão, 2016, p. 67, grifo nosso).
- c) O terceiro critério para escolha da unidade de implantação da usina fotovoltaica é a verificação de área disponível para instalação de placas solares sobre o telhado. A utilização dos telhados para alocação das placas fotovoltaicas possui algumas vantagens em relação à instalação sobre o solo, tais como a economia do custo com a instalação de estrutura metálica e primordialmente, o custo do terreno. Além disso a instalação dos painéis fotovoltaicos sobre o solo pode reduzir a área edificável disponível do campus para os planos de expansão, uma vez que as edificações do

entorno podem causar sombreamento significativo ao longo do dia, o que inviabilizaria a produção de energia elétrica pela usina fotovoltaica.

- d) A orientação do telhado é de fundamental importância para garantir que os painéis sejam expostos à radiação solar durante o maior tempo possível, maximizando a captação da energia solar. O norte geográfico é orientação ideal para os painéis fotovoltaicos em sistemas localizados no hemisfério Sul.

A fim de selecionar a unidade que receberia a usina fotovoltaica, foi desenvolvido um fluxograma, conforme ilustrado na figura 12, para verificar se a edificação cumpre os requisitos elencados acima.

Figura 12 – Fluxograma para seleção da unidade



Fonte: Do autor, 2018

Após a elaboração do fluxograma para a escolha da unidade foi desenvolvida uma matriz de requisitos (tabela 2) para determinar a unidade que receberia a usina fotovoltaica.

Tabela 2-Matriz de requisitos para instalação da usina fotovoltaica

Unidade do IFTM	Características			
	Atende a ND 5.30 e 5.31 - CEMIG	Demanda contratada disponível (1)	Área disponível sobre o telhado	Orientação do telhado
1° Reitoria	Sim	Sim	Sim	Norte
2° Campus Paracatu	Sim	Sim	Sim	Norte-Nordeste
3° Campus Avançado Uberaba Parque Tecnológico I	Sim	Sim	Sim	Nordeste
4° Campus Patrocínio	Sim	Sim	Sim	Nordeste
5° Campus Uberlândia Centro	Sim	Sim	Sim	Nordeste-Noroeste
6° Campus Ituiutaba	Não	Sim	Sim	Norte
7° Campus Uberaba	Não	Sim	Sim	Norte
8° Campus Uberlândia	Não	Sim	Não	Leste-Oeste
9° Campus Campina Verde	Não	Não	Sim	Noroeste
10° Campus Avançado Uberaba Parque Tecnológico II	Não	Não	Sim	Norte e Leste
11° Campus Patos de Minas	Não	Não	Não	Sul

(1) Conforme contrato de demanda vigente

Fonte: Do autor

A Matriz de requisitos para instalação da usina fotovoltaica classifica as unidades que possuem as melhores condições para implantação do sistema.

As unidades que não atendem aos requisitos do item a) Atendimento à ND 5.30 e 5.31 – CEMIG ou item b) demanda contratada disponível, não estão elegíveis a receber a geração de energia fotovoltaica, uma vez que a concessionária de energia elétrica não permite a conexão de Geração Distribuída (GD) e adesão ao sistema de compensação de energia elétrica para unidades que não atendem aos requisitos normativos. Além disso, caso a potência instalada da GD ultrapasse a demanda contratada da unidade consumidora, é necessário que seja realizado o aumento do contrato de demanda, o que pode ocasionar em obras na rede de distribuição de responsabilidade do consumidor, nos termos do art. 40 da resolução ANEEL 414/2010, inviabilizando o retorno do investimento.

Portanto, considerando as características das edificações, a Reitoria foi a unidade que atendeu ao maior número de requisitos para a implantação da usina fotovoltaica.

5.2 CONTRATAÇÃO (ETAPA 2)

A contratação da implantação da usina fotovoltaica na Reitoria do IFTM ocorreu por meio da adesão à ata do RDC nº 01/2016 (Regime Diferenciado de Contratações Públicas) do IF Sul de Minas. O objeto do contrato nº 20/2017 incluiu a elaboração e aprovação dos projetos junto à concessionária distribuidora de energia elétrica, bem como o fornecimento de materiais e equipamentos, construção, montagem, comissionamento, realização de testes e pré-operação de um sistema de gerador fotovoltaico de 70 kW pico, em conformidade com as especificações definidas no anteprojeto.

O contrato inclui também a garantia de 25 anos do sistema e manutenção preventiva e corretiva, incluindo reposição de peças por 5 anos, contados a partir do recebimento definitivo da usina fotovoltaica. Os requisitos mínimos dos materiais e equipamentos exigidos no anteprojeto estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 - Requisitos mínimos exigidos no anteprojeto

Característica	Descrição
Painéis fotovoltaicos	
Material	Mono ou policristalino
Potência unitária	≥ 260 W pico
Garantia linear de desempenho	25 anos
Decaimento anual máximo	2,5 % após o 2º ano
Rendimento mínimo após o 25º ano	80%
Eficiência ¹	> 15,89 %
Temperatura de operação	(-40 a + 85° C)
Coefficiente de temperatura para potência máxima	(-0,41%/°C)
Certificações	INMETRO PROCEL "A"
Inversores de Frequência	
nº de fases	3
Potência nominal em CA	5 kW ≥ P ≥ 20 kW
THD máxima (corrente)	3%
Proteção anti-ilhamento	Sim
Nº de MPPT	≥ 2
Eficiência	≥ 95 %
Grau de proteção	IP 65

(1) *STC – Standard Test Conditions* (1000 W/m²; 25°C; AM 1.5).

Fonte: Anteprojeto

5.3 PROCEDIMENTOS PARA VIABILIZAÇÃO DE ACESSO (ETAPA 3)

Após a escolha da unidade que receberá o sistema de geração fotovoltaico e a contratação do objeto é necessário proceder com a viabilização de acesso à rede da distribuidora de energia elétrica local.

A solicitação de acesso é realizada através de requerimento formulado pelo acessante (consumidor) e entregue à acessada (distribuidora), atendendo aos aspectos dispostos na seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST.

A solicitação do parecer de acesso deve incluir, necessariamente, as seguintes informações:

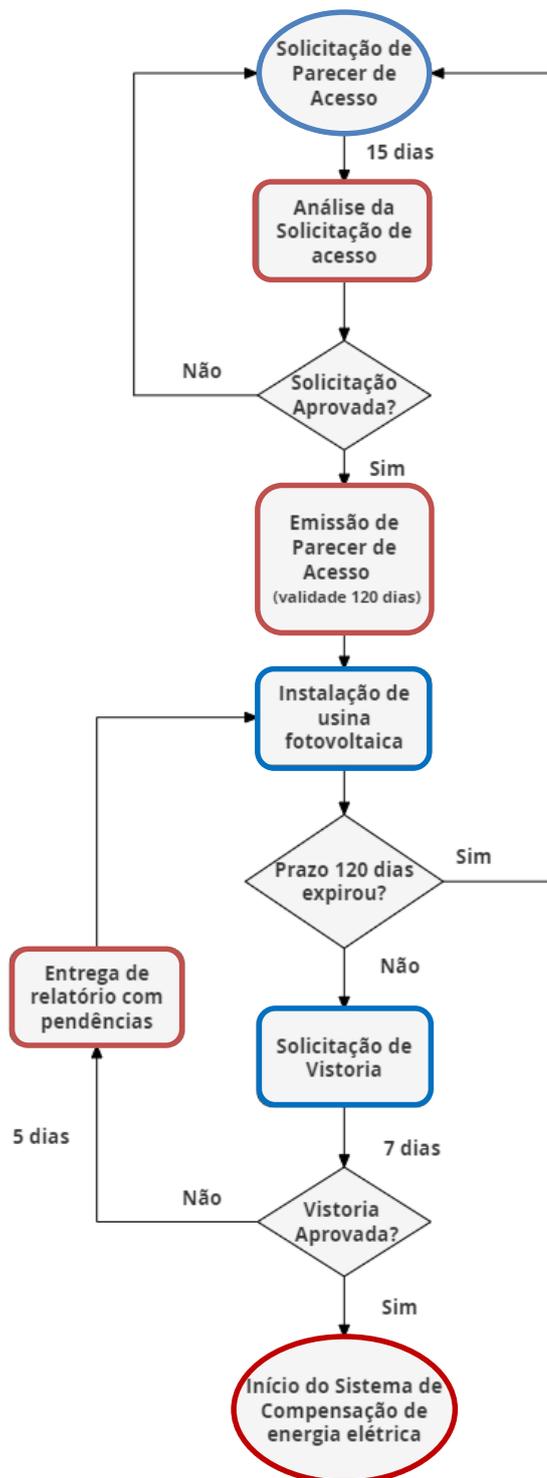
- Projeto elétrico e memorial descritivo das instalações de conexão;
- ART do Responsável Técnico pelo projeto e instalação do sistema de microgeração;
- Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção;
- Certificado de conformidade dos inversores ou número de registro da concessão do Inmetro dos inversores para a tensão nominal de conexão com a rede.

A distribuidora possui o prazo máximo de 15 dias para análise do parecer de acesso. Após a emissão do parecer de acesso, o consumidor possui um prazo de 120 dias para concluir a instalação do sistema de geração fotovoltaico e realizar a solicitação de vistoria.

Por fim, com a aprovação da vistoria, a concessionária de energia elétrica realiza a instalação do medidor bidirecional, iniciando o sistema de compensação de energia elétrica.

A Figura 13 ilustra as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor (destacados em azul) e pela distribuidora (destacados em vermelho).

Figura 13 – Fluxograma de viabilização de acesso



Fonte: Adaptado de Caderno Temático ANEEL – Micro e Minigeração Distribuída, 2016

5.4 INSTALAÇÃO DA USINA FOTOVOLTAICA NA REITORIA DO IFTM (ETAPA 4)

A Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (Figura 14) é responsável pela garantia da unidade institucional, planejamento, gestão de recursos e todos os interesses educacionais, econômicos e culturais da instituição. A estrutura administrativa é constituída pela assessoria de gabinete e órgãos de suporte à tomada de decisões: Pró-Reitorias de Desenvolvimento Institucional, de Ensino, Pesquisa e Pós-Graduação e Administração (Plano de Desenvolvimento Institucional, 2013).

Figura 14 – Reitoria do Instituto Federal do Triângulo Mineiro



Fonte: www.iftm.edu.br, 2018

5.4.1 Dados da edificação

A Reitoria está localizada na avenida Dr. Randolpho Borges Júnior, 2900, bairro Univerdecidade, Uberaba-MG, coordenadas 19°71'22,49" S, 47°96'38,42" O.

Instalada numa área 14.000 m² de terreno, possui 13 blocos administrativos com área construída de 3.534 m², conforme ilustrado na Figura 15 - Vista Superior da Reitoria.

Figura 15 – Vista Superior da Reitoria



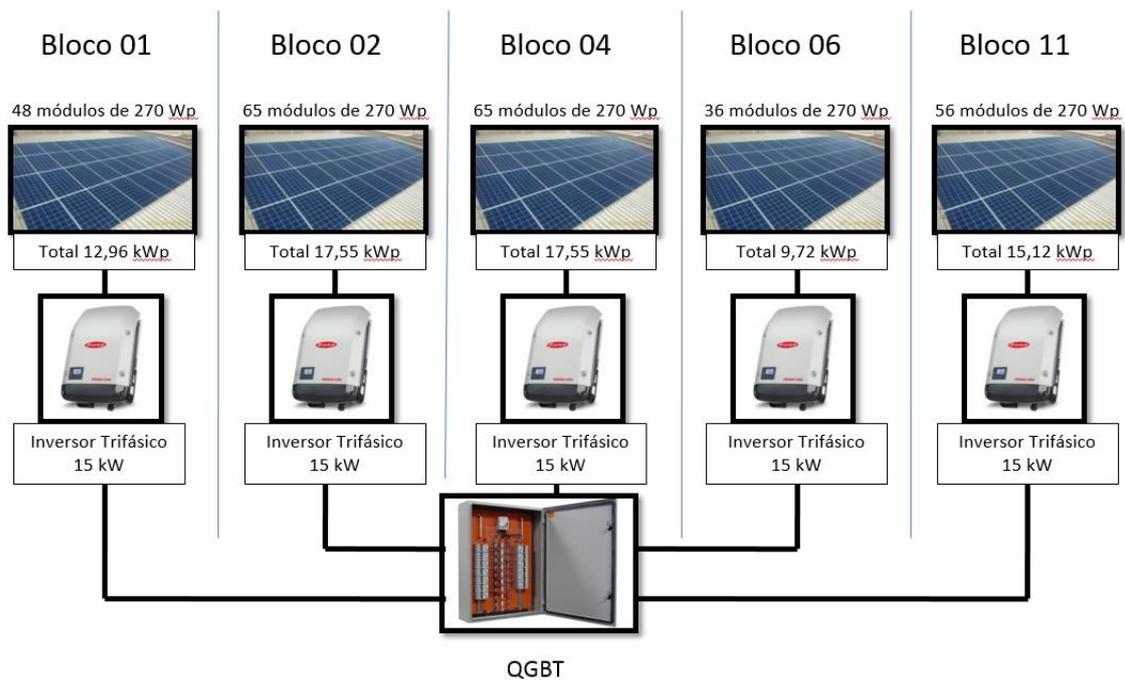
Fonte: maps.google.com.br, 2019

5.4.2 Configuração do sistema fotovoltaico

O projeto de implantação da usina fotovoltaica definiu a instalação de 270 painéis fotovoltaicos distribuídos sobre os telhados dos blocos 01, 02, 04, 06 e 11 da Reitoria, conforme Figura 16 – Configuração do sistema fotovoltaico.

A distribuição das placas leva em consideração a área disponível para instalação das placas solares sobre os telhados de cada bloco.

Figura 16 – Configuração do sistema fotovoltaico



Fonte: Do autor, 2018.

Os blocos que possuem orientação voltada ao norte e que possuem maior proximidade ao QGBT foram selecionados para instalação dos painéis fotovoltaicos, conforme figura 17 e figura 18, a fim de proporcionar maior aproveitamento da radiação solar.

Figura 17 – Vista aérea da Reitoria



Fonte: Reitoria, 2014

Figura 18 – Fotos da instalação dos painéis sobre os blocos



a) Bloco 01



b) Bloco 02



c) Bloco 04



d) Bloco 06



e) Bloco 11

Fonte: Do autor, 2018

5.4.3 Materiais e equipamentos utilizados

5.4.3.1 Painéis Fotovoltaicos

Para a composição das placas solares foram utilizados 270 painéis fotovoltaicos policristalinos de 270 W pico, marca *JINKO Solar*, modelo JKM270PP-60, com as características mostradas na Tabela 4 – Características dos painéis fotovoltaicos.

Tabela 4 - Características dos painéis fotovoltaicos.

Característica	Descrição
Marca	<i>JINKO Solar</i>
Modelo	JKM270PP-60
Potência máxima (kW)	270
Selo PROCEL	A
Eficiência (%)	16,5
Peso (kg)	19
Dimensões (mm)	1650x962x40
<i>STC - Standard Conditions Test</i>	1000 W/m ² AM 1,5 25°C

Fonte: Folha de dados *JINKO Solar*

A figura 19 ilustra os detalhes do painel fotovoltaico policristalino.

Figura 19 – Painel fotovoltaico policristalino



a) Vista frontal



b) Vista anterior



c) Certificação PROCEL "A"

5.4.3.2 Inversor de frequência

A fim de manter a confiabilidade do sistema acima de 75% em caso de falha de um dos inversores de frequência, a usina fotovoltaica implantada na reitoria foi dimensionada com 5 inversores trifásicos de 15 kW da marca Fronius, modelo Symo 15.0.3- 208, conforme Tabela 5 – Características dos inversores de frequência.

Tabela 5 - Características dos inversores de frequência

Característica	Descrição
Marca	<i>FRONIUS</i>
Modelo	Symo 15.0-3 208
Potência nominal (kW)	15
Faixa de tensão nominal AC (Volts)	183-229
Nº de fases	trifásico
Frequência (Hz)	60
Faixa de tensão MPPT DC (Volts)	340-850
Eficiência (%)	96,5
Proteção	Nema 4X
Peso (kg)	35,7
Dimensões (mm)	725x510x225

Fonte: Folha de dados *Fronius*

A figura 20 ilustra a montagem dos inversores de frequência e sua conexão ao QGBT. O *stringbox* (conjunto de dispositivos de proteção e manobra em C.C. formado por DPS, fusíveis e chave seccionadora) é acoplado ao inversor, conforme figura 17-a.

Figura 20 – Fotos da montagem dos inversores de frequência



a) Detalhe do Stringbox



b) Montagem do inversor



c) Inversores instalados



d) Conexão ao QGBT

5.4.4 Descrição geral do sistema fotovoltaico

Para o caso em estudo, a central geradora possuirá uma potência instalada de 70 kW pico, classificada como microgeração (≤ 75 kW). A geração de energia elétrica deverá ser suficiente para alimentar parte do consumo energético do local, utilizando recursos da energia solar fotovoltaica conectado à rede pública (sistema *ongrid*). A energia excedente injetada na rede pública, ou seja, a diferença entre a energia produzida e a energia consumida, deverá ser compensada para abater o consumo medido dos meses seguintes. A energia ativa injetada que não tenha sido compensada na própria unidade consumidora poderá também ser utilizada para compensar o consumo de outras unidades cadastradas.

Conforme os dados de histórico de consumo elétrico da Reitoria (tabela 6), estimou-se que o sistema atenderia em média, 40 % do consumo.

Tabela 6 - Histórico do consumo de energia elétrica - IFTM Reitoria – Ago/2018

Mês/Ano	Demanda (kW)		Energia (kWh)	
	HP ¹	HFP ²	HP	HFP
ago/17	34	80	1120	13720
set/17	32	77	1120	15120
out/17	36	98	1120	17220
nov/17	21	81	980	15400
dez/18	21	78	980	15680
jan/18	20	91	980	16800
fev/18	25	83	980	14560
mar/18	42	102	1260	20300
abr/18	29	77	1260	14980
mai/18	25	67	1120	13440
jun/18	25	63	1120	13440
jul/18	25	53	980	12880

(1) Horário de Ponta: Período de três horas consecutivas compreendido entre o intervalo de 17h às 22h

(2) Horário Fora de Ponta: Período complementar ao HP

Fonte: Fatura de energia elétrica CEMIG - Ago/2018

5.4.5 Modalidades Tarifárias

Para o cálculo do retorno do investimento é importante considerar que o sistema de compensação de energia elétrica é aplicado apenas à parcela de energia ativa (kWh) da fatura de energia elétrica.

Os montantes referentes à demanda ativa (kW) são definidos em contrato e não são compensados pela usina fotovoltaica.

Portanto, a escolha da modalidade tarifária possui influência direta no valor final da fatura de energia elétrica.

Define-se estrutura tarifária como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. No Brasil, as tarifas do Grupo A são constituídas em duas modalidades de fornecimento, relacionadas a seguir: estrutura tarifária horo-sazonal verde e estrutura tarifária horo-sazonal Azul (www.mme.gov.br).

A estrutura horo-sazonal convencional encontra-se atualmente extinta.

A estrutura tarifária horo-sazonal azul é aplicada às unidades consumidoras do grupo A caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com as horas de utilização do dia (Cemig, 2018).

O atual contrato de fornecimento de energia elétrica firmado entre a Reitoria e a concessionária local estabelece a modalidade tarifária verde A4 (nível de tensão entre 2,5 kV e 25 kV), que é aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica (kWh), de acordo com as horas de utilização do dia (horário de ponta HP e horário fora de ponta HFP), assim como uma tarifa única de demanda de potência (kW), conforme podemos observar na tabela 7 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2018.

Tabela 7 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	46	16,11111111	745,70
Demanda Ativa kW HFPs/ ICMS	64	15,19791667	972,65
Energia Ativa kWh HFP/Único	8120	0,41424444	3363,64
Energia Ativa kWh HP	1260	1,77036667	2230,63
Energia Injetada FP/Único	3220	0,41424444	-1333,86
Contrib. Custeio Iluminação Pública			188,84
Imposto Retido - IRPJ			-71,74
Imposto Retido - PIS/PASEP			-38,85
Imposto Retido - COFINS			-179,35
Imposto Retido - CLSS			-59,78
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			342,20
Valor a pagar			5817,88

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Ago/2018

Para determinação das condições de contorno que influenciarão os cálculos de retorno de investimento, seguem as seguintes considerações sobre o sistema:

- A arquitetura do sistema instalado será *ongrid*, ou seja, conectado à rede da concessionária de energia elétrica local. Não serão utilizados acumuladores de energia através de banco de baterias. Desta forma a tecnologia empregada através de inversores de frequência somente entrará em operação caso esteja conectado à rede de energia elétrica da concessionária local (*ongrid*).
- O retorno do investimento será considerado apenas sobre a produção de energia elétrica (kWh). Os valores referentes à demanda contratada destacados em vermelho na tabela 7, não sofrerão redução na fatura de energia elétrica.

- A produção de energia elétrica excedente **injetada** na rede de distribuição da concessionária em determinado posto tarifário (horário de ponta – HP ou horário fora de ponta – HFP) deverá ser utilizada para compensar a energia consumida nesse mesmo posto tarifário, conforme destacado em azul na tabela 7.
- Será considerado no custo de implantação, o fornecimento de materiais e equipamentos, construção, montagem e colocação em operação, realização de testes e o pré-operação, elaboração de projetos e condução dos processos administrativos e técnicos junto a concessionária local de energia, manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos, 25 anos de garantia linear de desempenho, com decaimento de rendimento anual máximo de 2,5% (após 2º ano) e rendimento mínimo de 80% ao final do 25º ano.

6 RESULTADOS

6.1 DADOS DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA REITORIA

A Usina Fotovoltaica iniciou sua operação e produção de energia elétrica na Reitoria do IFTM após aprovação da vistoria técnica realizada pela CEMIG em 30/07/2018.

6.1.1 Produção mensal de energia elétrica - Reitoria – Ano 2018

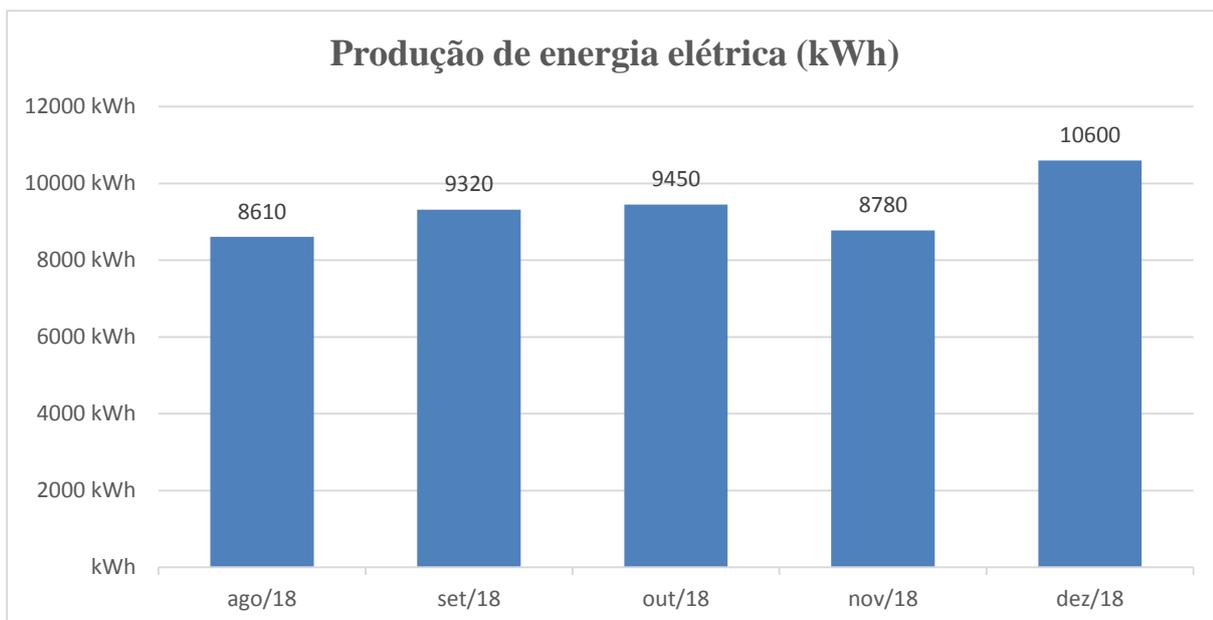
A produção mensal de energia elétrica da usina fotovoltaica foi compilada conforme podemos observar no gráfico extraído do sistema de monitoramento fotovoltaico, figura 21 – Produção mensal de energia elétrica - Reitoria – Ano 2018.

A figura 21 mostra a produção de energia elétrica a partir do mês de agosto de 2018, o qual será considerado, para este estudo, o marco inicial da produção de energia elétrica.

A produção de energia elétrica acumulada no ano de 2018 foi de 46760 kWh, enquanto a produção média mensal foi de 9352 kWh.

Para se ter uma ideia de grandeza, a produção média mensal (kWh) da usina fotovoltaica é capaz de suprir o consumo mensal de 75 residências¹.

Figura 21 – Produção mensal de energia elétrica - Reitoria – Ano 2018



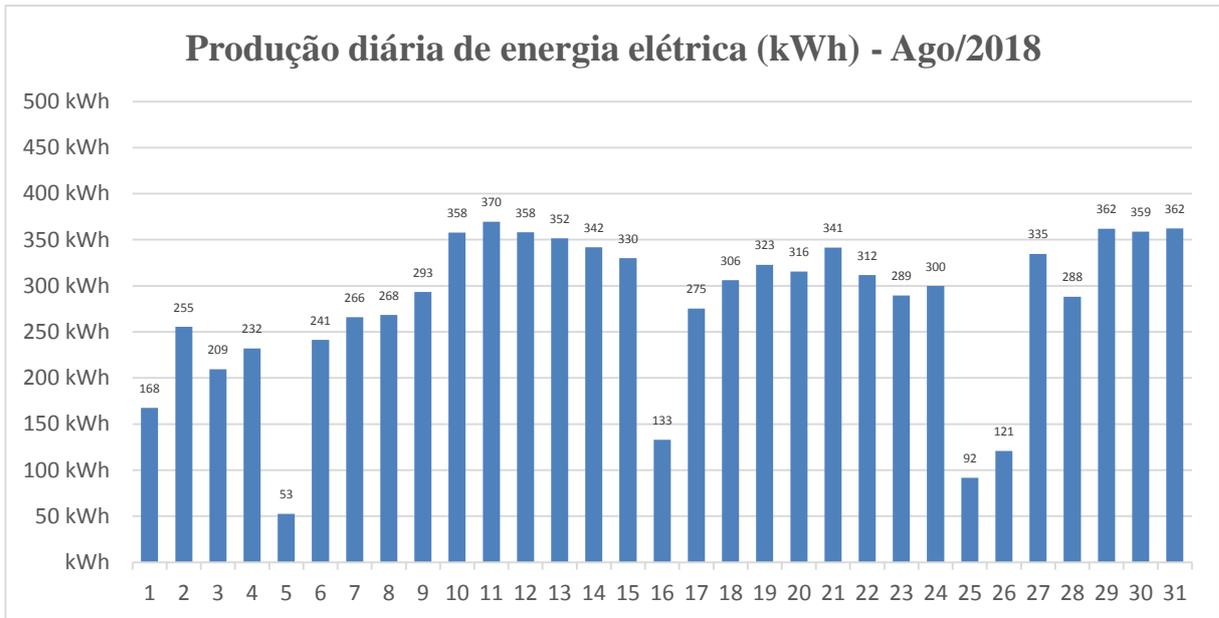
Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

¹ Considerando o consumo médio residencial de 123,6 kWh/mês em Minas Gerais no ano de 2017.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética - EPE

6.1.2 Produção diária de energia elétrica da Reitoria

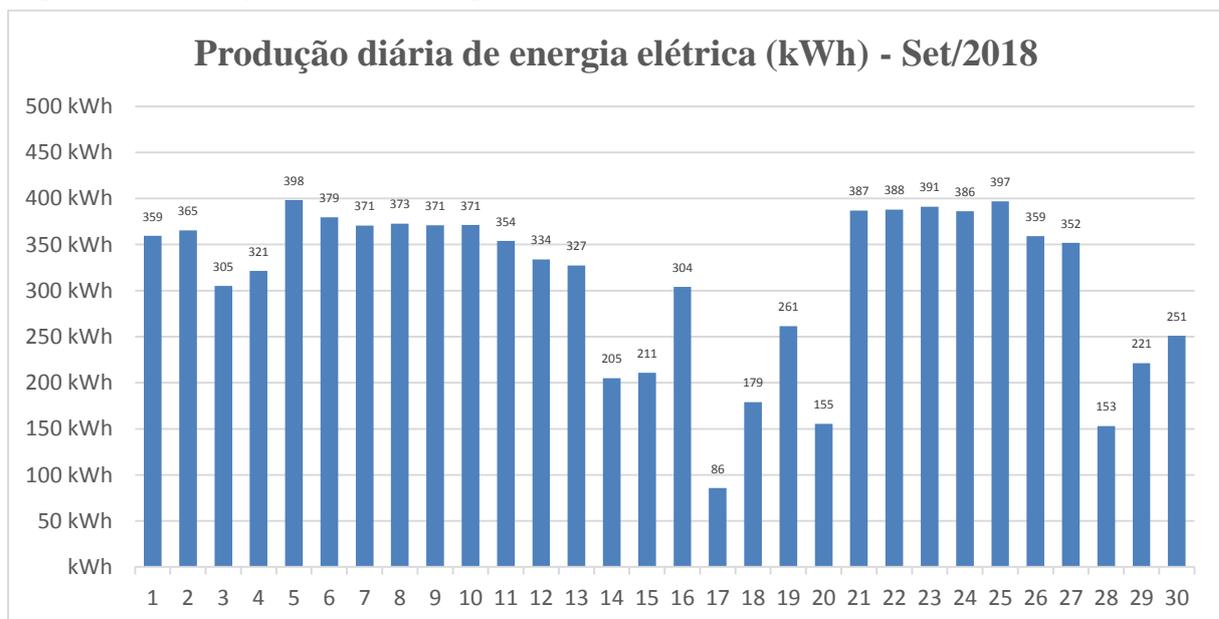
As figuras 22 a 26 mostram a produção diária da usina fotovoltaica para os meses de agosto de 2018 a dezembro de 2018.

Figura 22 - Produção diária de energia elétrica - Reitoria – Ago/2018



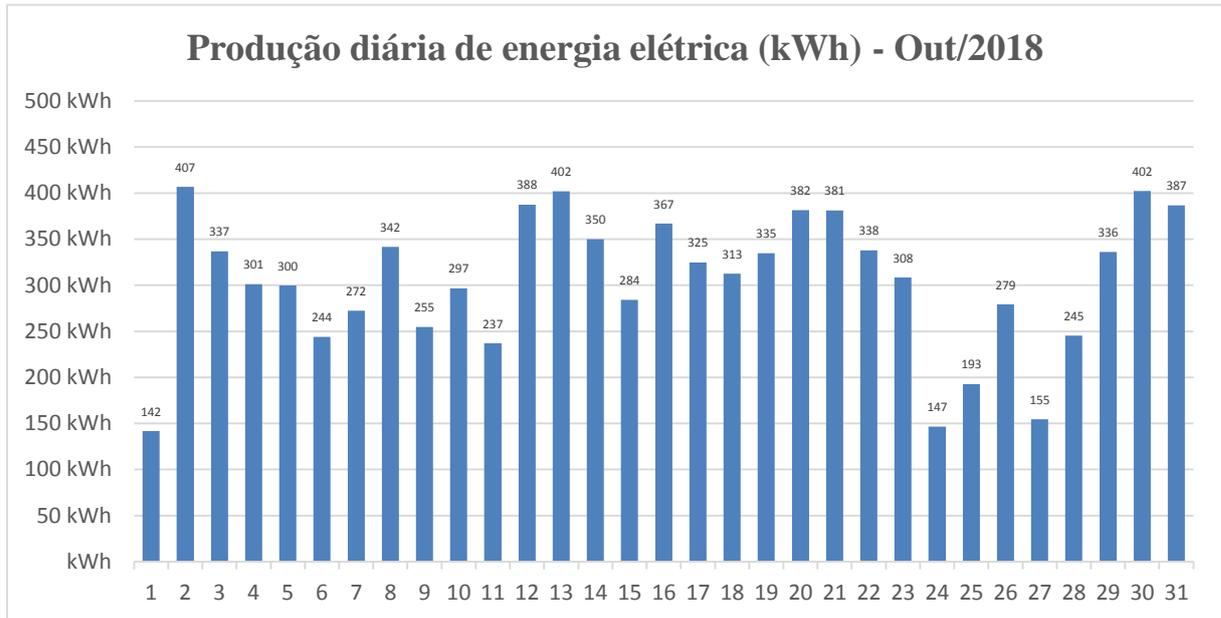
Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

Figura 23 - Produção diária de energia elétrica – Reitoria – Set/2018



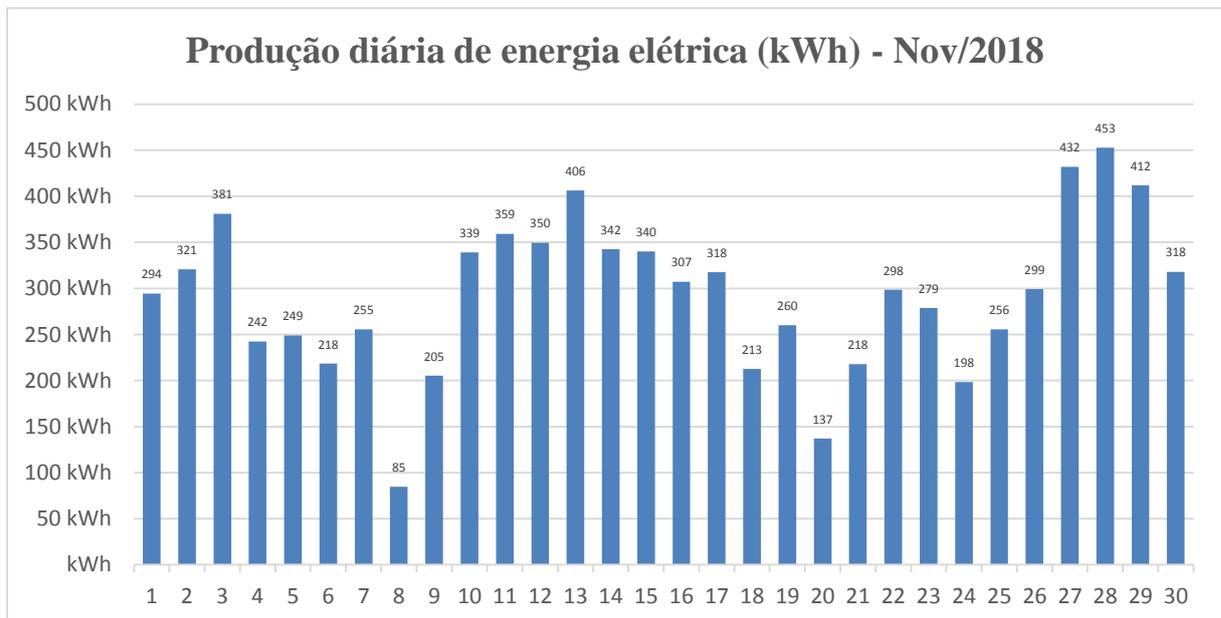
Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

Figura 24 - Produção diária de energia elétrica – Reitoria - Out/2018



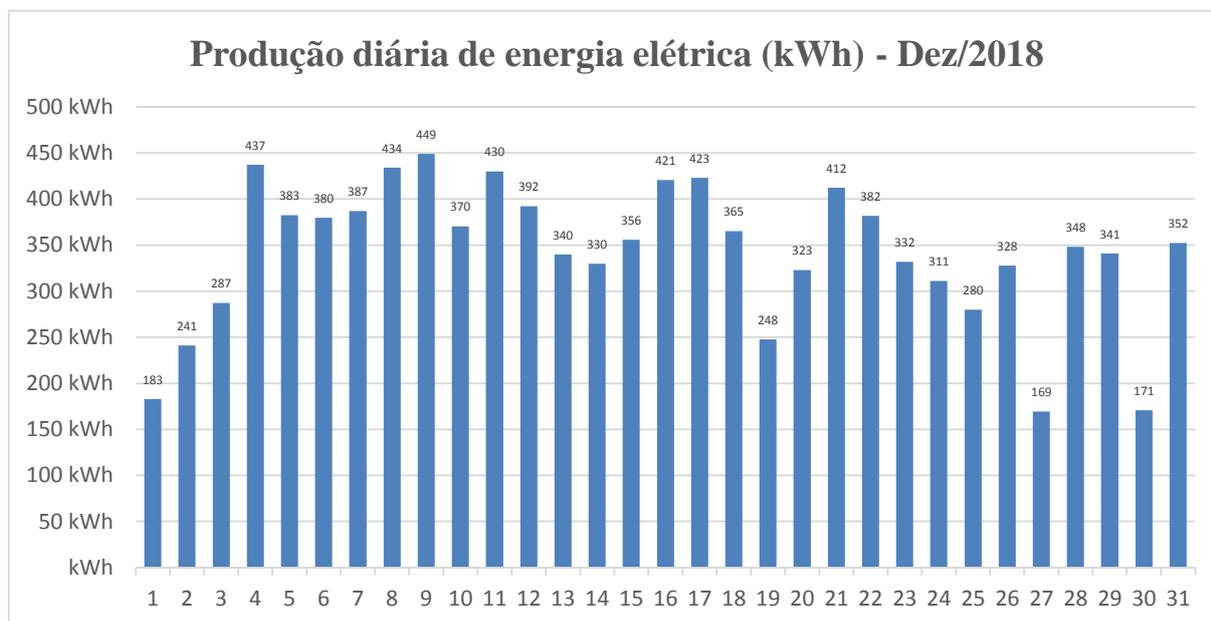
Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

Figura 25 - Produção diária de energia elétrica – Reitoria – Nov/2018



Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

Figura 26 - Produção diária de energia elétrica – Reitoria – Dez/2018

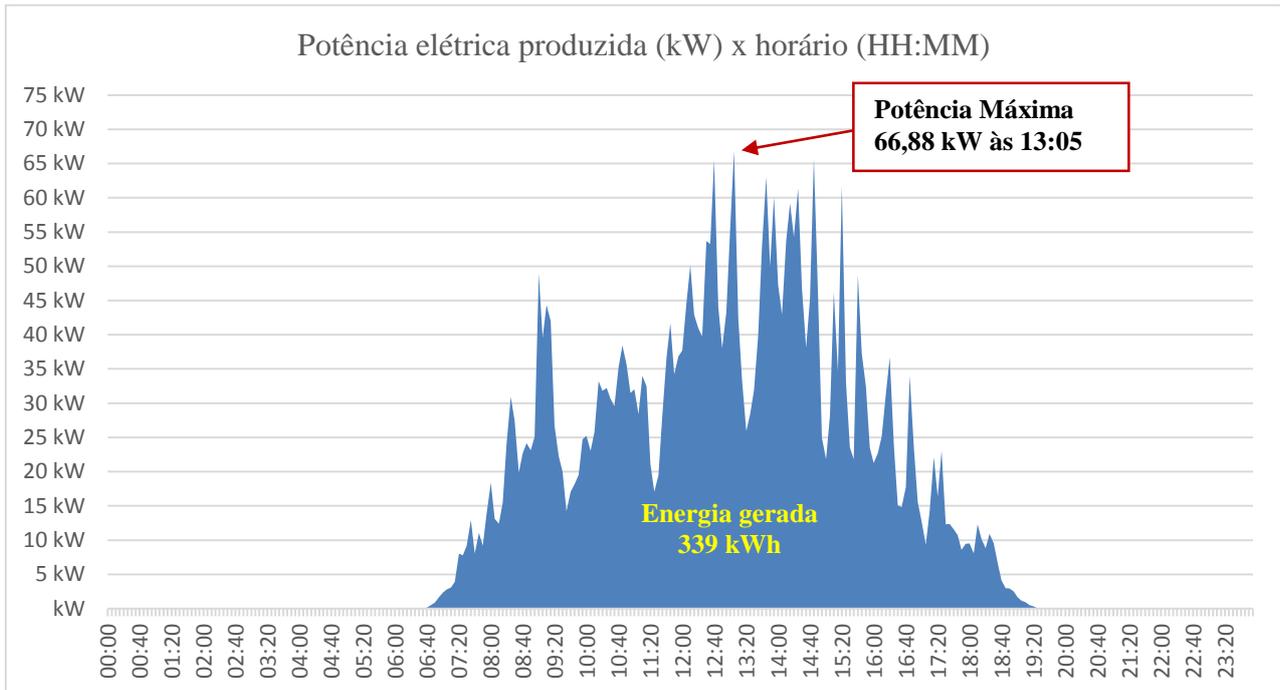


Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

6.1.3 Perfil diário de produção da usina fotovoltaica da Reitoria

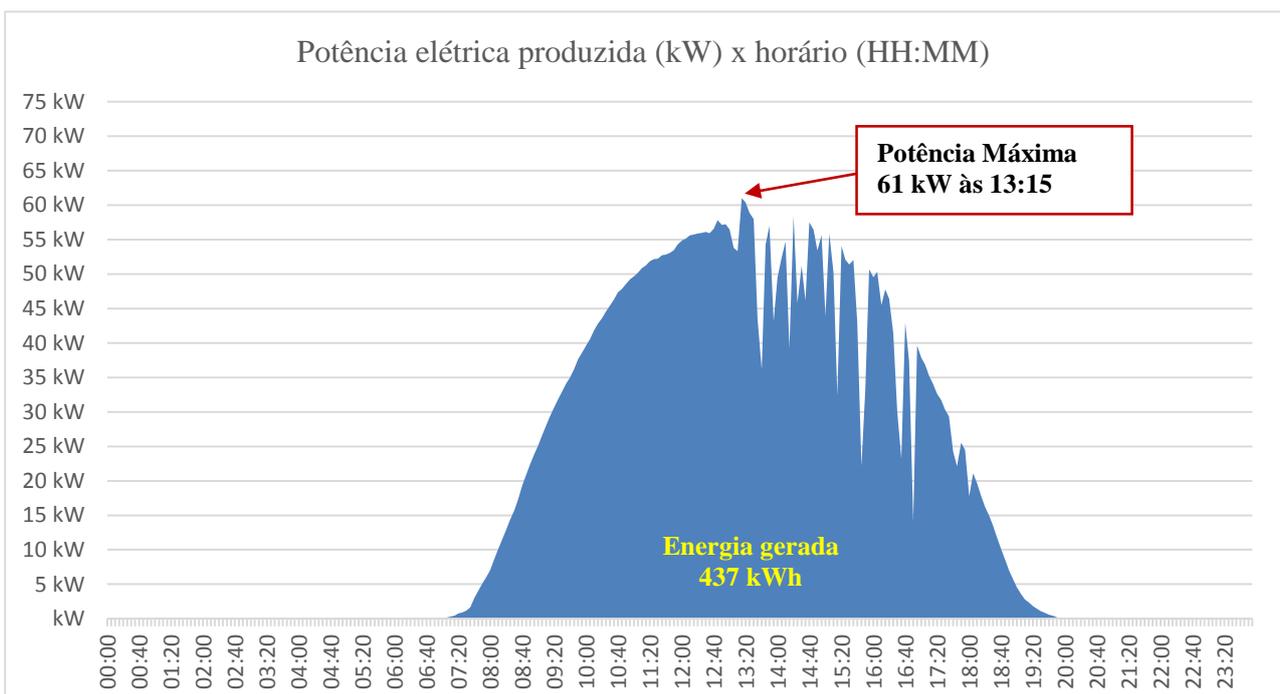
A presença de nuvens ao longo do dia reduz a irradiação solar incidente nos painéis solares e conseqüentemente, a produção de energia elétrica, conforme podemos observar na figura 27. Já na figura 28, a intermitência de nuvens é observada a partir a partir das 13 h.

Figura 27 – Potência elétrica produzida pela Reitoria em 10/Nov/2018



Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2018

Figura 28 – Potência elétrica produzida pela Reitoria em 29/Jan/2019



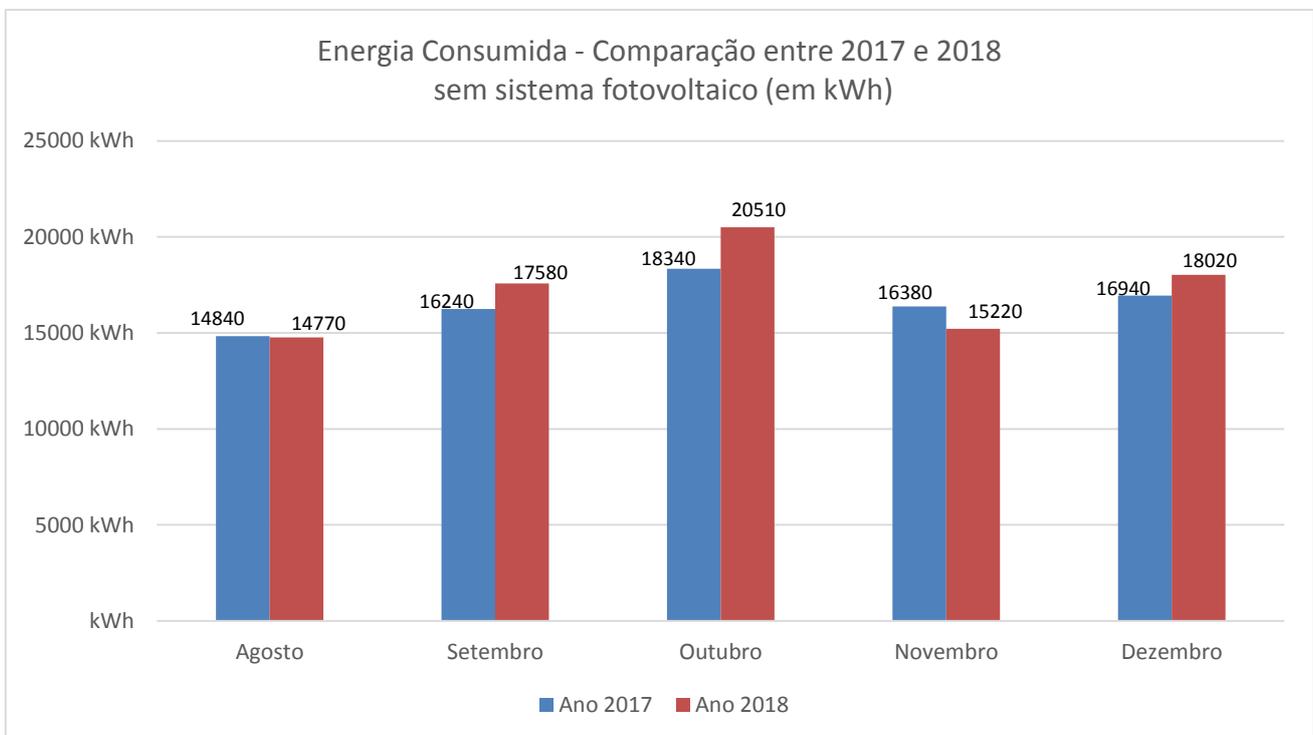
Fonte: sistema de monitoramento – Reitoria, 2019

6.2 DADOS OBTIDOS DAS FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA

A figura 29 mostra a comparação da energia elétrica total consumida pela Reitoria entre os anos de 2017 e 2018, no período de agosto a dezembro, sem considerar a contribuição do sistema fotovoltaico. É possível observar uma semelhança no perfil de consumo dos anos de 2017 e 2018, com uma variação mínima de 0,47% (agosto) e uma variação máxima de 11,8 % (outubro).

A população fixa da Reitoria registrada em 2017 foi de 148 servidores públicos, enquanto no final de 2018 foi de 150 servidores.

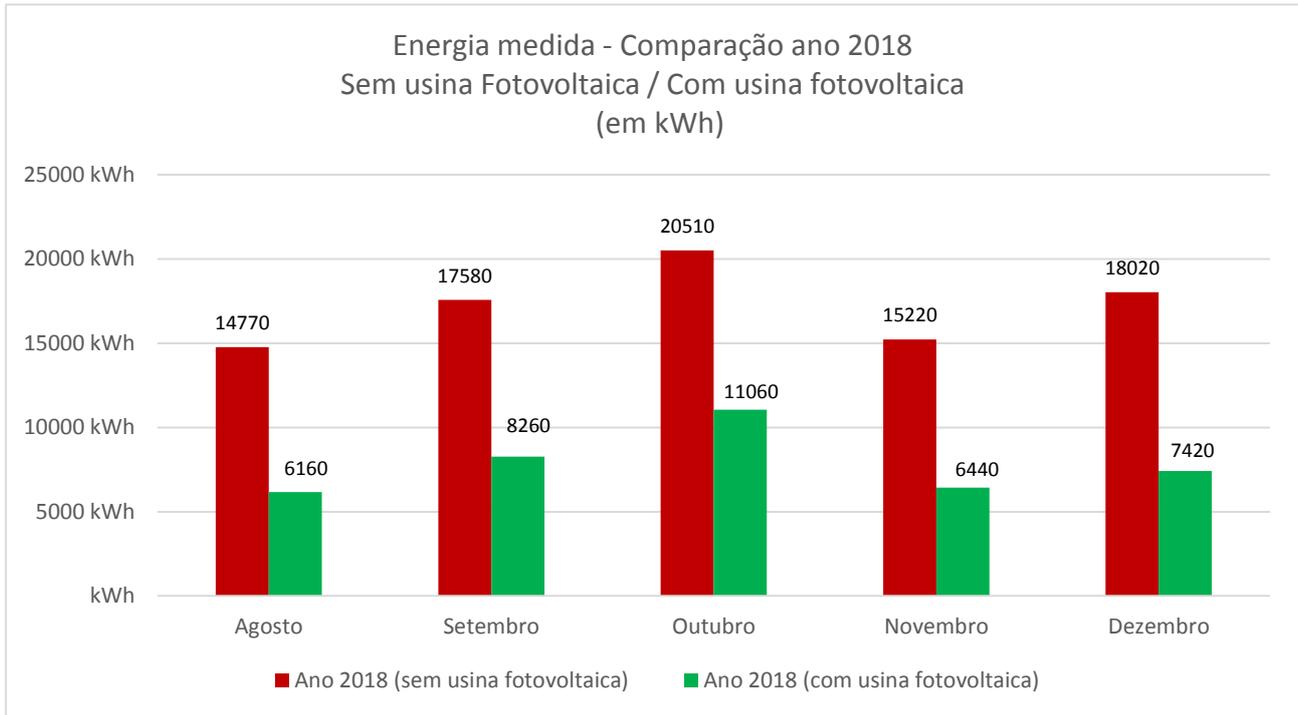
Figura 29 – Comparação da energia elétrica consumida entre os anos de 2017 e 2018



Fonte: Fatura de energia elétrica da Reitoria e dados do monitoramento fotovoltaico.

A figura 30 revela a economia de energia elétrica (em kWh) registrada no medidor bidirecional da concessionária de energia elétrica no ano de 2018. Através dos dados da fatura de energia elétrica e do sistema de monitoramento fotovoltaico, foi possível levantar a energia elétrica registrada no medidor bidirecional sem considerar a contribuição do sistema fotovoltaico (barras em vermelho) em comparação com a energia elétrica registrada no medidor bidirecional considerando a contribuição do sistema fotovoltaico (barras em verde).

Figura 30 – Comparação energia registrada no medidor bidirecional no ano de 2018



Fonte: Fatura de energia elétrica da Reitoria e dados do monitoramento fotovoltaico.

A somatória da energia elétrica registrada no medidor bidirecional em 2018, sem considerar a contribuição do sistema fotovoltaico, foi de 86100 kWh no ano de 2018.

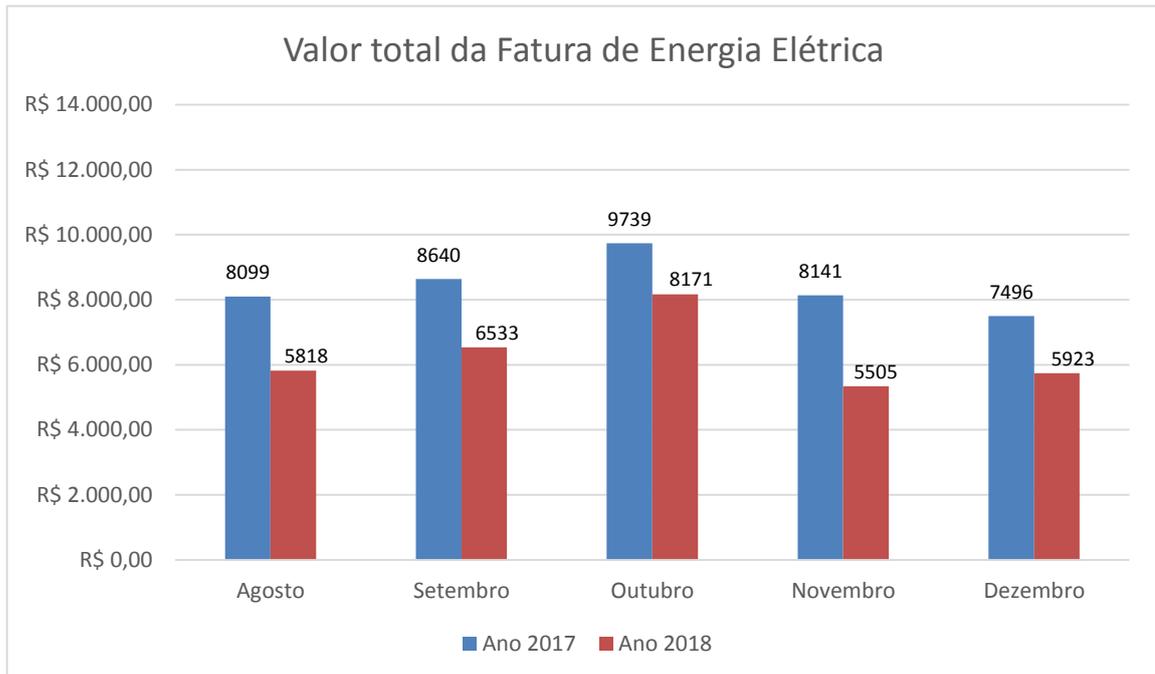
Por outro lado, a somatória da energia elétrica registrada no medidor bidirecional em 2018, considerando a contribuição do sistema fotovoltaico foi de 39340 kWh.

Logo, a economia total de energia elétrica registrada no medidor bidirecional foi da ordem de 54,3 % em 2018.

A figura 31 - Comparação do valor total da fatura de energia elétrica em 2017 e 2018 revela a diferença entre os valores totais das faturas de energia elétrica (em reais) entre os meses de agosto a dezembro para o ano de 2017 e 2018.

Os dados obtidos foram extraídos das tabelas 11 a 20 - Apêndice A – Faturas de energia elétrica - Reitoria.

Figura 31 – Comparação dos valores totais das faturas de energia elétrica em 2017 e 2018



Fonte: Fatura de energia elétrica da Reitoria

A Revisão Tarifária Periódica aprovada pela ANEEL em 22/05/2018, concedeu a majoração de 35,56% da tarifa cobrada pela CEMIG Distribuição S.A aos consumidores cativos de média tensão do grupo A (www.aneel.gov.br, 2018).

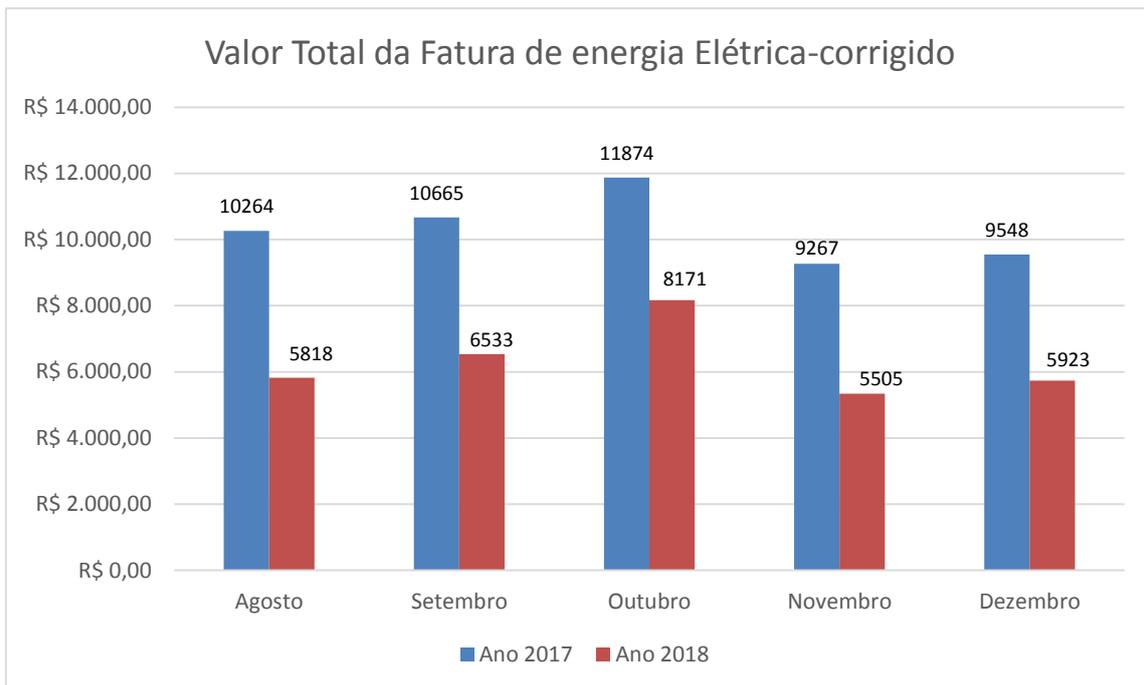
Portanto, torna-se necessário corrigir os valores da Figura 31, considerando as tarifas vigentes pós majoração, a fim de obtermos uma base de comparação adequada.

Para tanto, além da correção realizada nas tarifas de demanda e consumo das faturas de 2017, foram corrigidos os valores de encargos e cobranças.

A figura 32 - Valores totais corrigidos - faturas de energia elétrica em 2017 e 2018 mostra a diferença dos valores totais das faturas de energia elétrica (em reais) entre os meses de agosto e dezembro, considerando a aplicação das tarifas vigentes em 2018 às faturas do ano de 2017.

Os dados obtidos foram extraídos das tabelas 21 a 25 - Apêndice A – Faturas de energia elétrica - Reitoria.

Figura 32 –Valores totais corrigidos - faturas de energia elétrica em 2017 e 2018



Fonte: Fatura de energia elétrica da Reitoria

6.3 CÁLCULO DA RENTABILIDADE MENSAL DA USINA FOTOVOLTAICA

A partir dos dados extraídos da produção mensal de energia elétrica, foi realizado o cálculo da rentabilidade mensal do sistema de geração fotovoltaico – Tabela 8, levando-se em consideração o custo do kWh para cada mês de referência no Horário Fora de Ponta (HFP) e o custo total de aquisição e implantação da usina fotovoltaica.

Tabela 8 - Cálculo da rentabilidade mensal do sistema de geração fotovoltaico

Descrição	Mês					Média mensal
	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18	
Energia elétrica produzida (kWh)	8610	9320	9450	8780	10600	9352
Valor da tarifa HFP (R\$/kWh)	0,4142	0,4074	0,4206	0,3868	0,3724	-
Valor total economia (R\$)	3566,26	3796,97	3974,67	3396,10	3947,44	3736,29
Rentabilidade mensal (%) 1	0,81	0,86	0,90	0,77	0,89	0,85

(1) calculado a partir do custo total de aquisição e implantação da usina fotovoltaica

$$\text{Rentabilidade mensal} = \frac{\text{Energia elétrica produzida} \times \text{Valor da tarifa HFP}}{\text{Custo total de implantação da usina fotovoltaica}}$$

Fonte: Fatura de energia elétrica e sistema de monitoramento *Fronius*

Conforme podemos observar na figura 33 – Comparação da rentabilidade mensal (Ago/2018 a Dez/2018), o sistema fotovoltaico supera a rentabilidade mensal dos principais indexadores de renda fixa (tabela 9) do mercado brasileiro.

Tabela 9 - Rentabilidade das principais aplicações financeiras em %

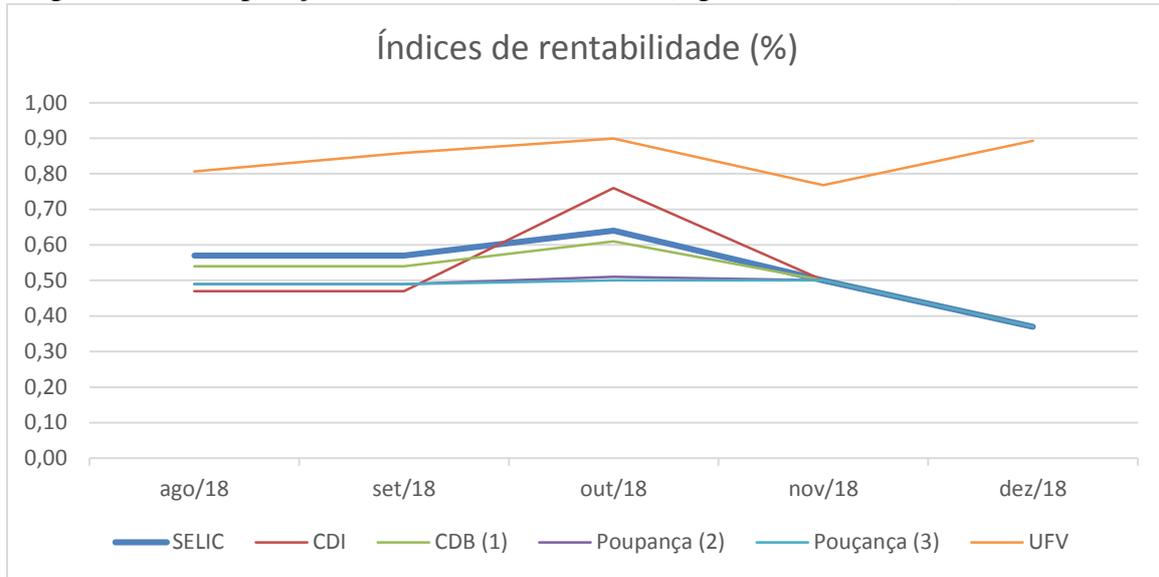
Renda Fixa	Mês				
	ago/18	set/18	out/18	nov/18	dez/18
SELIC	0,57	0,47	0,54	0,49	0,49
CDI	0,57	0,47	0,54	0,49	0,49
CDB (1)	0,64	0,76	0,61	0,51	0,50
Poupança (2)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Poupança (3)	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37

(1) rendimento bruto do 1º dia útil do mês (2) rentabilidade do 1º dia do mês - depósitos até 03/05/12.

(3) rentabilidade do 1º dia do mês - depósitos a partir de 04/05/12; Lei nº 12.703/2012.

Fontes: Banco Central, B3, FGV e IBGE

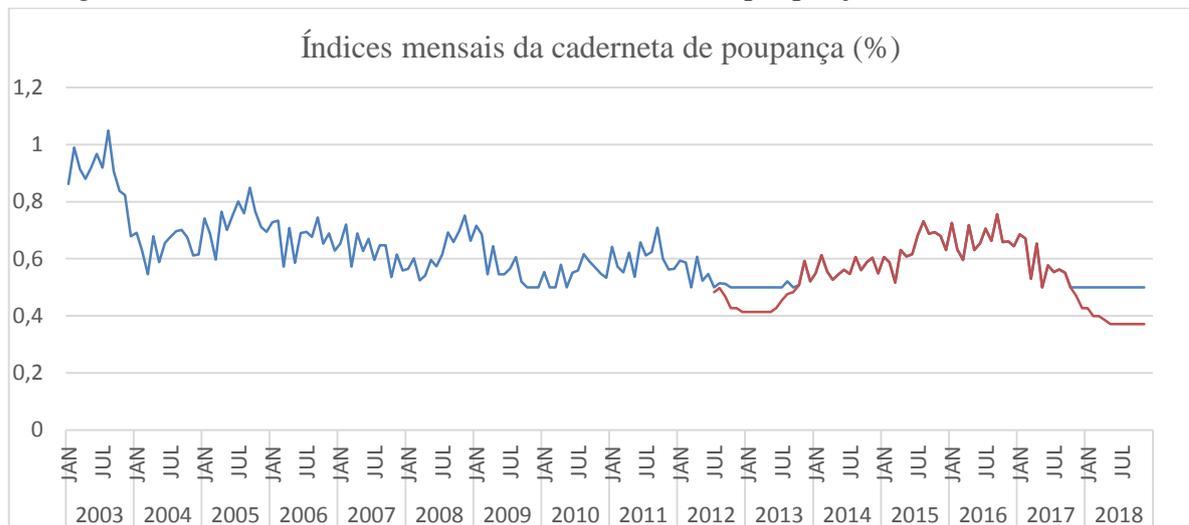
Figura 33 – Comparação da rentabilidade mensal (Ago/2018 a Dez/2019)



Fonte: Do autor, Banco Central, B3, FGV e IBGE

Comparando média mensal do rendimento da usina fotovoltaica (0,85%) com o rendimento dos últimos 15 anos da caderneta de poupança, podemos verificar que o rendimento do sistema de geração fotovoltaico supera os índices de 2004 a 2018, conforme figura 34 – Série do rendimento mensal da caderneta de poupança (2003 a 2018).

Figura 34 – Série do rendimento mensal caderneta de poupança (2003 a 2018)



— rentabilidade do 1º dia do mês - depósitos até 03/05/12.

— rentabilidade do 1º dia do mês - depósitos a partir de 04/05/12; Lei nº 12.703/2012.

Fonte: www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm

6.4 ANÁLISE DE RETORNO DE INVESTIMENTO DA USINA FOTOVOLTAICA

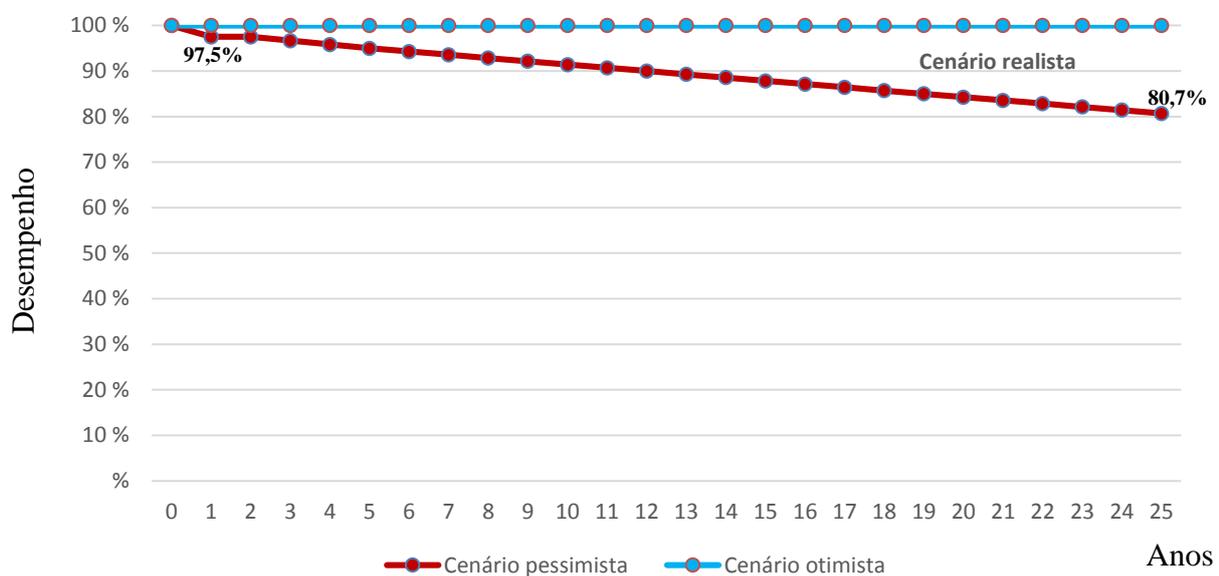
A Análise de Retorno de Investimento deve permitir a projeção de 3 cenários distintos: otimista, pessimista e realista.

O cenário otimista (ideal) considera que o desempenho dos painéis fotovoltaicos será constante ao longo de 25 anos.

Entretanto a perda de eficiência dos painéis fotovoltaicos ao longo dos anos deve ser considerada, o que poderá acarretar numa redução da produção de energia elétrica (kWh) e, conseqüentemente, na redução do fluxo de caixa esperado, conforme gráfico da figura 35 - Garantia de desempenho linear. Assim, o cenário pessimista será dado pelo desempenho mínimo¹ garantido pelo fabricante dos painéis.

Logo, o cenário realista está compreendido entre a faixa de valores do cenário otimista e do cenário pessimista e somente poderá ser determinado mediante as medições realizadas ao longo dos anos.

Figura 35 – Garantia de desempenho linear



Fonte: Adaptado da folha de dados do fabricante

¹ Garantia linear de desempenho de 25 anos pelo fabricante, com decaimento de rendimento anual máximo de 2,5% (após 2º ano) e rendimento mínimo de 80% ao final do 25º ano.

6.4.1 Determinação da Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade é utilizada para conhecer qual o retorno mínimo esperado de um investimento.

Em diversas organizações, a TMA é dada pelo custo do capital próprio ou capital de terceiros. Isto significa que, para o projeto ser considerado viável, é necessário que a rentabilidade tenha, no mínimo, valor superior ao custo do financiamento.

Para os projetos de investimentos realizados pela administração pública, podemos considerar a taxa básica de juros anual (SELIC) e a TLP (Taxa de Longo Prazo) como referenciais.

“Define-se Taxa Selic como a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais”. (www.bcb.gov.br)

“A Taxa de Longo Prazo (TLP), desde 1º de janeiro de 2018, é o principal custo financeiro dos financiamentos do BNDES”. (www.bndes.gov.br)

Para os cálculos do retorno do investimento será considerado a TMA = 6,98% a.a e a SELIC = 6,5 % a.a (média anual projetada entre meses de agosto/2018 a dezembro/2018).

Os valores do *payback*, da TIR e do VPL foram calculados através dos resultados da tabela 26 – Fluxo de caixa anual esperado, constante no apêndice A.

6.4.2 Payback

Considerando o retorno médio anual de R\$ 44.835,48 no **cenário otimista**, e considerando o custo total de implantação do sistema de geração fotovoltaico de R\$ 442.034,29, temos:

$$\text{Paybak simples} = \frac{\text{Investimento}}{\text{Retorno médio}} \quad \text{Payback simples} = \frac{\text{R\$ } 442.039,29}{\text{R\$ } 44.835,48}$$

$$\text{Payback simples} = 9 \text{ anos e } 10 \text{ meses}$$

No cenário **pesimista**, o primeiro fluxo de caixa positivo é de R\$ 43.714,14, sendo decrescente ao longo dos anos, resultando num *payback simples* de 10 anos e 5 meses.

6.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para o cálculo da TIR será considerado o período de 25 anos para o retorno dos fluxos de caixa projetados anuais, através da equação:

$$FC0 = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n}$$

Onde:

FC0 = valor do fluxo de caixa no momento zero (investimento)

FCj = fluxos previstos de entradas ou saídas de caixa em cada período de tempo;

i = taxa de desconto que iguala, em determinada data, as entradas com as saídas previstas de caixa, ou seja, representa a taxa interna de retorno.

Considerando a rentabilidade média anual de R\$ 44.835,48 no **cenário otimista** e o custo total de implantação da usina fotovoltaica de R\$ 442.034,29, temos:

$$FC0 = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n}$$

$$R\$ 442.034,29 = \left[\frac{R\$ 44.835,48}{(1+i)^1} + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+i)^2} + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+i)^3} + \dots + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+i)^{25}} \right]$$

$$i = \text{TIR} = 8,95\% \text{ (a.a)}$$

Para o **cenário pessimista**, os fluxos de caixa positivos (FC1, FC2, FC3 ... FCn) são decrescentes a partir do 2º ano, resultando numa TIR inferior, conforme demonstrado abaixo:

$$FC0 = \frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FCn}{(1+i)^n}$$

$$R\$ 442.034,29 = \left[\frac{R\$ 43.714,14}{(1+i)^1} + \frac{R\$ 43.714,14}{(1+i)^2} + \frac{R\$ 43.342,46}{(1+i)^3} + \dots + \frac{R\$ 36.182,26}{(1+i)^{25}} \right]$$

$$i = \text{TIR} = 7,95\% \text{ (a.a)}$$

6.4.4 Valor Presente Líquido (VPL)

Para o cálculo do VPL será considerado o período de 25 anos para o retorno dos fluxos de caixa projetados anuais, através da equação:

$$VPL = \left[\frac{FC1}{(1+i)^1} + \frac{FC2}{(1+i)^2} + \frac{FC3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{FC25}{(1+i)^{25}} \right] - FC0$$

Onde:

FCj: representa o valor de entrada de caixa previsto para cada intervalo de tempo;

FC0: fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), ou seja, o investimento inicial;

i: taxa de juros (a.a) ou TMA do projeto.

Para o cenário **otimista** temos:

$$VPL = \left[\frac{R\$ 44.835,48}{(1+0,0698)^1} + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+0,0698)^2} + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+0,0698)^3} + \dots + \frac{R\$ 44.835,48}{(1+0,0698)^n} \right] - 442.034,29$$

$$VPL = R\$ 76.091,26$$

Para o cenário **pessimista** temos:

$$VPL = \left[\frac{R\$ 43.714,14}{(1+0,0698)^1} + \frac{R\$ 43.714,14}{(1+0,0698)^2} + \frac{R\$ 43.342,46}{(1+0,0698)^3} + \dots + \frac{R\$ 36.182,26}{(1+0,0698)^n} \right] - 442.034,29$$

$$VPL = R\$ 35.484,40$$

A tabela 10 resume os resultados da análise de retorno de investimento da usina fotovoltaica

Tabela 10 - Resultado da análise de retorno de investimento

Método	Resultado	
	Cenário otimista	Cenário pessimista
TMA ¹ (a.a)	6,5% (SELIC)	6,5% (SELIC)
	6,98% (TLP)	6,98% (TLP)
Payback	9 anos e 10 meses	10 anos e 5 meses
TIR	8,95%	7,95%
VPL	R\$ 76.091,26	R\$ 35.484,40

(1) taxa média anual projetada entre meses de agosto/2018 a dezembro/2018

Fonte: Do autor, 2018

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos na tabela 10, podemos constatar que a Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto, tanto no cenário otimista (8,95%), quanto no cenário pessimista (7,95%), supera a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), cujos índices estão baseados na taxa média anual projetada da SELIC (6,5% ao ano) e TLP (6,98% ao ano), referenciais para o custo de capital.

Isto significa que as “receitas” com fluxo de caixa positivo projetados ao longo de 25 anos (economia na conta de energia) é capaz de superar o fluxo de caixa negativo do projeto (custo inicial de implantação), considerando que o gestor público está disposto a aceitar no mínimo, a TLP e a SELIC como taxas referenciais para o retorno do investimento.

Através do critério do Valor Presente Líquido (VLP) é possível quantificar o retorno do investimento ao longo dos 25 anos. Para o presente estudo, as receitas da usina fotovoltaica são capazes de “pagar” o custo de implantação e ainda gerar uma receita positiva de R\$ 76.091,26 ou R\$ 35.484,40 (nos cenários otimistas ou pessimistas, respectivamente), trazidos a “valor presente”, referenciados à uma TMA de 6,98%, equivalente à TLP.

O resultado obtido através do critério de *payback* nos informa que a usina fotovoltaica “se paga” em torno de 10 anos em ambos os cenários, ou seja, a somatória das receitas produzidas pela usina fotovoltaica durante os 10 primeiros anos é equivalente ao custo inicial de implantação.

Apesar do critério de *payback* não considerar o valor monetário no tempo e também não considerar o fluxo de caixa após o período de 10 anos, esta ferramenta permite ao gestor público ter uma ideia do custo do projeto, ressaltando que o critério de *payback* não deve ser utilizado como critério de análise investimento sem antes realizar a viabilidade financeira através de outras ferramentas, tais como a TIR e o VPL.

O presente trabalho permite também que o gestor público conheça os requisitos que interferem no resultado final do projeto da usina fotovoltaica e monitore os seus resultados, permitindo a análise dos fatores técnicos e financeiros que influenciam no resultado final, possibilitando maximizar o retorno do investimento em projetos futuros.

Dentre os fatores técnicos podemos destacar os seguintes critérios:

- Análise da eficiência dos equipamentos envolvidos e seus aspectos normativos;
- Análise da edificação para identificar qual a melhor localização, posicionamento e orientação dos equipamentos;

- Influência dos fatores como insolação, irradiância, sombreamento e temperatura.

Os fatores financeiros também impactam diretamente no retorno do investimento do projeto.

Portanto, o gestor público deve estar atento aos principais fatores que influenciam a maximização da geração de valor. O custo principal do projeto está relacionado aos preços dos equipamentos praticados no mercado. O aumento da produção em larga escala dos equipamentos, a variação cambial, bem como os programas de incentivo do governo tendem a impactar diretamente o custo inicial de implantação.

Esta dissertação também abre uma lacuna para investigação e desenvolvimento de um critério mais apurado para a determinação da Taxa Mínima de Atratividade, uma vez que falta à administração pública uma referência legal e consolidada que possa orientar o gestor público na tomada de decisão quanto ao custo de capital.

Outro fator importante trata-se do valor da tarifa de energia elétrica. Esta variável contribui diretamente para a viabilidade do projeto, uma vez que se observa a progressão do custo energético no cenário brasileiro e mundial.

A necessidade de redefinir a forma de compensação da energia elétrica injetada na rede, proposta na Análise de Impacto Regulatório (AIR), que visa alterar resolução normativa ANEEL 482/2012, tratada na audiência pública 01/2019, não trará impactos na análise de retorno do investimento da usina fotovoltaica implantada na Reitoria, uma vez que as novas regras serão aplicadas apenas para as novas instalações de geração distribuída.

Após a alteração da resolução normativa ANEEL 482/2012, os futuros estudos de análise de retorno de investimento dos demais campi deverão observar os custos da remuneração pelo uso sistema de distribuição da concessionária de energia elétrica, ou ainda considerar o custo proveniente da implantação e manutenção de bancos de baterias para acumular a energia elétrica excedente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática Financeira e suas Aplicações**. 11. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**

Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/prodist>> Acesso em: 28 fev. 2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 414/2010**.

Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482/2012**.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2018.

ABNT NBR 16149:2013 - **Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características de interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ABNT NBR 16274:2014 - **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro, RJ, 2014

ABNT NBR IEC 62116:2012 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, RJ, 2012. ANEEL.

BRASIL. Lei nº 11.892, de 29 de dezembro de 2008. Institui a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, cria os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia, e dá outras providências.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 11. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

CHING, Hong Yuh; MARQUES, Fernando; PRADO, Lucilene. **Contabilidade & Finanças**. 3. Ed. São Paulo: Pearson, 2011.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Cemig, 2012.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **ND 5.30 - Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão**. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Clientes/Documents/.../ND.5.30.pdf>>

Acesso em: 05 nov. 2018

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **ND 5.31 - Requisitos para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão**.

Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Clientes/Documents/ND.5.31.pdf>>

Acesso em: 05 nov. 2018

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de Administração Financeira**. 12. Ed. São Paulo: Pearson, 2012.

IEC 61727:2004 - *Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface*. Disponível em: <<https://standards.globalspec.com/std/365170/iec-61727>> Acesso em: 05 nov. 2018

IEC 62116:2014 - *Utility-interconnected photovoltaic inverters - Test procedure of islanding prevention measures*. Disponível em: <<https://webstore.iec.ch/publication/6479>> Acesso em: 05 nov. 2018

IEEE 1547-2018 - *Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces*. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/standard/1547-2018.html>> Acesso em: 05 nov. 2018

IEEE 929-2000 - *Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems*. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/standard/929-2000.html>> Acesso em: 05 nov. 2018

ELETROBRÁS. **Programa Eletronorte de Eficiência Energética 2010**.

Disponível:<http://www.eln.gov.br/opencms/export/sites/eletronorte/pilares/tecnologia/eficiencia/Energetica/arquivos/Programa_ELN_de_Eficiencia_Energetica_2010_revisao_1.pdf> Acesso em: 15/01/2019.

PORTARIA INMETRO nº 357, de 01 de agosto de 2014.

Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/rtac002145.pdf>> Acesso em: 05 nov. 2018

RODRIGUES DE ALMEIDA, Roberto Gil et al. **Manual do Orçamento IFTM**. Uberaba: IFTM, 2018

RODRIGUES DE ALMEIDA, Roberto Gil et al. **Plano de Desenvolvimento Institucional 2014-2018**, Uberaba: IFTM, 2013.

VDE 0126-1-1 - *Automatic disconnection device between a generator and the public low-voltage grid*.

Disponível em: <<https://www.vde-verlag.de/standards/0126041/din-v-vde-v-0126-1-1-a1-vde-v-0126-1-1-a1-2012-02.html>> Acesso em: 05 nov. 2018

VILLAVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações**. 1ª. Ed. São Paulo: Érica, 2013.

ZILLES, Roberto; MACÊDO, Wilson Negrão; GALHARDO, Marcos André Barros; OLIVEIRA; Sérgio Henrique Ferreira de. **Sistema Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

APÊNDICE A

Tabela 11 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	46	16,11111111	745,70
Demanda Ativa kW HFPs/ ICMS	64	15,19791667	972,65
Energia Ativa kWh HFP/Único	8120	0,41424444	3363,64
Energia Ativa kWh HP	1260	1,77036667	2230,63
Energia Injetada FP/Único	3220	0,41424444	-1333,86
Contrib. Custeio Iluminação Pública			188,84
Imposto Retido - IRPJ			-71,74
Imposto Retido - PIS/PASEP			-38,85
Imposto Retido - COFINS			-179,35
Imposto Retido - CLSS			-59,78
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			342,20
Valor a pagar			5817,88

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Ago/2018

Tabela 12 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Set/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	77	15,94709804	1227,91
Demanda Ativa kW HFPs/ ICMS	33	14,9656375	493,86
Energia Ativa kWh HFP/Único	9240	0,40749809	3765,26
Energia Ativa kWh HP	1120	1,74153459	1950,49
Energia Injetada FP/Único	2100	0,40749809	-855,73
Contrib. Custeio Iluminação Pública			336,20
Imposto Retido - IRPJ			-78,97
Imposto Retido - PIS/PASEP			-42,78
Imposto Retido - COFINS			-197,44
Imposto Retido - CLSS			-65,80
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			451,39
Valor a pagar			6533,00

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Set/2018

Tabela 13 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Out/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	74	16,51760444	1222,28
Demanda Ativa kW HFPs/ ICMS	36	15,46697776	556,80
Energia Ativa kWh HFP/Único	11340	0,42061551	4769,76
Energia Ativa kWh HP	1400	1,80237709	2523,30
Energia Injetada FP/Único	1680	0,42061551	-706,61
Varição do IGPM: R\$494,02			3,20
Contrib. Custeio Iluminação Pública			300,12
Multa 2% conta 10/2018 sobre R\$6581,79			131,64
Juros mora 1% am: 1 dias(s) sobre R\$6581,79			2,19
Imposto Retido - IRPJ			-102,00
Imposto Retido - PIS/PASEP			-55,23
Imposto Retido - COFINS			-255,04
Imposto Retido - CLSS			-84,99
Bandeira Amarela - Já incluído no valor a Pagar			4,03
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			605,85
Valor a pagar			8305,42
Valor a pagar (sem multa/juros)			8171,59

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Out/2018

Tabela 14 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Nov/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	70	16,9730107	1188,09
Demanda Ativa kW HFPS/ ICMS	40	15,86559374	634,61
Energia Ativa kWh HFP/Único	8120	0,38679231	3140,74
Energia Ativa kWh HP	840	1,80665038	1517,57
Energia Injetada FP/Único	2520	0,38679231	-974,69
Contrib. Custeio Iluminação Pública			163,51
Multa 2% conta 11/2018 sobre R\$ 8365,53			167,31
Imposto Retido - IRPJ			-68,07
Imposto Retido - PIS/PASEP			-36,86
Imposto Retido - COFINS			-170,19
Imposto Retido - CLSS			-56,72
Bandeira Amarela			72,40
Valor a pagar			5505,30

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Nov/2018

Tabela 15 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Dez/2018

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	70	16,83008421	1178,09
Demanda Ativa kW HFPs/ ICMS	40	15,74064085	629,62
Energia Ativa kWh HFP/Único	9380	0,37238436	3492,94
Energia Ativa kWh HP	840	1,78028608	1495,41
Energia Injetada FP/Único	2800	0,37238436	-1042,65
Energia Reativa kWh HFP/Único	140	0,30915907	43,26
Contrib. Custeio Iluminação Pública			291,10
Multa 2% conta de 12/2018 sobre R\$ 5.506,32			110,12
Juros mora 1%am: 27 dia(s) sobre R\$8365,53			75,29
Imposto Retido - IRPJ			-71,77
Imposto Retido - PIS/PASEP			-38,86
Imposto Retido - COFINS			-179,44
Imposto Retido - CLSS			-59,81
Valor a pagar			5923,30

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Dez/2018

Tabela 16 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2017

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	12,26006879	2317,13
Energia Ativa kWh HFP/Único	13720	0,33039767	4533,04
Energia Ativa kWh HP	1120	1,38945681	1556,17
Restituição de pagamento			-6849,93
Contrib. Custeio Iluminação Pública			263,14
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-3,23
Imposto Retido - IRPJ			-99,88
Imposto Retido - PIS/PASEP			-54,1
Imposto Retido - COFINS			-249,7
Imposto Retido - CLSS			-83,23
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1336,34)			-80,18
Bandeira Amarela - Já incluído no valor a Pagar			10,55
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			478,07
Valor a pagar			1249,23
Valor a pagar (sem restituição)			8099,16

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Ago/2017

Tabela 17 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - SET/2017

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	12,64736179	2390,32
Energia Ativa kWh HFP/Ún Amarela	14840	0,3297585	4893,6
Energia Ativa kWh HFP/Ún Vermelha	280	0,34692686	97,12
Energia Ativa kWh HP Amarela	1120	1,42227309	1592,92
Contrib. Custeio Iluminação Pública			276,67
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-6,04
Imposto Retido - IRPJ			-106,6
Imposto Retido - PIS/PASEP			-57,74
Imposto Retido - COFINS			-266,49
Imposto Retido - CLSS			-88,83
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-84,98
Bandeira Amarela - Já incluído no valor a Pagar			365,35
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			11,2
Valor a pagar			8639,95

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Set/2017

Tabela 18 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - OUT/2017

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	12,80565535	2420,25
Energia Ativa kWh HFP/Único	17220	0,35182973	6058,49
Energia Ativa kWh HP Amarela	1120	1,45801816	1632,95
Contrib. Custeio Iluminação Pública			290,20
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-5,84
Imposto Retido - IRPJ			-120,44
Imposto Retido - PIS/PASEP			-65,24
Imposto Retido - COFINS			-301,09
Imposto Retido - CLSS			-100,37
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-69,91
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			754,14
Valor a pagar			9739,00

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Out/2017

Tabela 19 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - NOV/2017

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	110	12,59977195	1385,96
Energia Ativa kWh HFP/Único	15400	0,36196503	5574,24
Energia Ativa kWh HP	980	1,45036868	1421,34
Contrib. Custeio Iluminação Pública			272,16
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-1,47
Imposto Retido - IRPJ			-100,30
Imposto Retido - PIS/PASEP			-54,34
Imposto Retido - COFINS			-250,75
Imposto Retido - CLSS			-83,59
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-21,92
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			921,40
Valor a pagar			8141,33

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Nov/2017

Tabela 20 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - DEZ/2017

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	110	12,30512249	1353,52
Energia Ativa kWh HFP/Único Verde	280	0,29856347	83,58
Energia Ativa kWh HP Vermelha	15680	0,33197105	5205,28
Energia Ativa kWh HP Vermelha	980	1,39492205	1367,01
Juros mora 1%am: 2 dia(s) sobre R\$8358,10			5,57
Juros mora 1%am: 3 dia(s) sobre R\$10035,89			10,04
Juros mora 1%am: 3 dia(s) sobre R\$8882,89			8,89
Juros mora 1%am: 3dia(s) sobre R\$1047,36			1,05
Varição do IGPM: R\$ 8363,67			12,84
Contrib. Custeio Iluminação Pública			245,10
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-1,03
Imposto Retido - IRPJ			-102,77
Imposto Retido - PIS/PASEP			-55,63
Imposto Retido - COFINS			-257,01
Imposto Retido - CLSS			-85,64
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$393,72)			-23,62
Multa 2% conta de 10/2017 sobre R\$ 8.882,89			177,66
Multa 2% conta de 11/2017 sobre R\$ 10.035,89			200,72
Valor a pagar			8145,56
Valor a pagar (sem multa/juros)			7496,53

Fonte: fatura de energia elétrica CEMIG - Out/2017

Tabela 21 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - Ago/2017 - Corrigidos

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	16,11111111	3045,00
Energia Ativa kWh HFP/Único	13720	0,41424444	5683,43
Energia Ativa kWh HP	1120	1,77036667	1982,81
Restituição de pagamento			-6849,93
Contrib. Custeio Iluminação Pública			263,14
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-3,23
Imposto Retido - IRPJ			-128,53
Imposto Retido - PIS/PASEP			-69,62
Imposto Retido - COFINS			-321,34
Imposto Retido - CLSS			-107,11
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1336,34)			-80,18
Bandeira Amarela - Já incluído no valor a Pagar			-
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			342,20
Valor a pagar			3414,44
Valor a pagar (sem restituição)			10264,37

Fonte: adaptado fatura de energia elétrica CEMIG-Ago/2017

Tabela 22 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - SET/2017 - Corrigidos

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	15,94709804	3014,00
Energia Ativa kWh HFP/Ún Amarela	14840	0,40749809	6047,27
Energia Ativa kWh HFP/Ún Vermelha	280	0,40749809	114,10
Energia Ativa kWh HP Amarela	1120	1,74153459	1950,52
Contrib. Custeio Iluminação Pública			276,67
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-6,04
Imposto Retido - IRPJ			-133,51
Imposto Retido - PIS/PASEP			-72,32
Imposto Retido - COFINS			-333,78
Imposto Retido - CLSS			-111,26
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-80,18
Bandeira Amarela - Já incluído no valor a Pagar			-
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			451,39
Valor a pagar			10665,47

Fonte: adaptado fatura de energia elétrica CEMIG - Set/2017

Tabela 23 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - OUT/2017 - Corrigidos

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	189	16,51760444	3121,83
Energia Ativa kWh HFP/Único	17220	0,42061551	7243,00
Energia Ativa kWh HP Amarela	1120	1,80237709	2018,66
Contrib. Custeio Iluminação Pública			290,20
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-5,84
Imposto Retido - IRPJ			-148,6
Imposto Retido - PIS/PASEP			-80,49
Imposto Retido - COFINS			-371,5
Imposto Retido - CLSS			-123,83
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-69,91
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			605,85
Valor a pagar			11873,52

Fonte: adaptado fatura de energia elétrica CEMIG - Out/2017

Tabela 24 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - NOV/2017 - corrigidos

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	110	16,9730107	1867,03
Energia Ativa kWh HFP/Único	15400	0,38679231	5956,60
Energia Ativa kWh HP	980	1,80665038	1770,52
Contrib. Custeio Iluminação Pública			272,16
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-1,47
Imposto Retido - IRPJ			-115,13
Imposto Retido - PIS/PASEP			-67,16
Imposto Retido - COFINS			-297,42
Imposto Retido - CLSS			-95,94
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$1416,46)			-21,92
Bandeira Vermelha - Já incluído no valor a Pagar			921,40
Valor a pagar			9267,27

Fonte: adaptado fatura de energia elétrica CEMIG - Nov/2017

Tabela 25 - Valores faturados e Encargos/cobranças - IFTM Reitoria - DEZ/2017 - corrigidos

Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço (R\$)	Valor (R\$)
Demanda Ativa kW HFP/Único	110	16,83008421	1851,31
Energia Ativa kWh HFP/Único Verde	280	0,37238436	104,27
Energia Ativa kWh HP Vermelha	15680	0,41292	6474,59
Energia Ativa kWh HP Vermelha	980	1,78028608	1744,68
Juros mora 1%am: 2 dia(s) sobre R\$8358,10			5,57
Juros mora 1%am: 3 dia(s) sobre R\$10035,89			10,04
Juros mora 1%am: 3 dia(s) sobre R\$8882,89			8,89
Juros mora 1%am: 3dia(s) sobre R\$1047,36			1,05
Variação do IGPM: R\$ 8363,67			12,84
Contrib. Custeio Iluminação Pública			245,10
PAS/COF Demanda Não Utilizada			-1,03
Imposto Retido - IRPJ			-126,17
Imposto Retido - PIS/PASEP			-68,17
Imposto Retido - COFINS			-315,42
Imposto Retido - CLSS			-104,80
ICMS Demanda não utilizada (BC - R\$393,72)			-23,62
Multa 2% conta de 10/2017 sobre R\$ 8.882,89			177,66
Multa 2% conta de 11/2017 sobre R\$ 10.035,89			200,72
Valor a pagar			10197,51
Valor a pagar (sem multa/juros)			9548,48

Fonte: adaptado fatura de energia elétrica CEMIG - Dez/2017

Tabela 26 - Fluxo de caixa anual esperado

Ano	Fluxo de caixa anual	
	Cenário otimista	Cenário pessimista
0	-R\$ 442.034,29	-R\$ 442.034,29
1	R\$ 44.835,48	R\$ 43.714,59
2	R\$ 44.835,48	R\$ 43.714,59
3	R\$ 44.835,48	R\$ 43.342,46
4	R\$ 44.835,48	R\$ 42.965,84
5	R\$ 44.835,48	R\$ 42.593,71
6	R\$ 44.835,48	R\$ 42.273,45
7	R\$ 44.835,48	R\$ 41.953,20
8	R\$ 44.835,48	R\$ 41.632,95
9	R\$ 44.835,48	R\$ 41.312,69
10	R\$ 44.835,48	R\$ 40.992,44
11	R\$ 44.835,48	R\$ 40.672,19
12	R\$ 44.835,48	R\$ 40.351,93
13	R\$ 44.835,48	R\$ 40.031,19
14	R\$ 44.835,48	R\$ 39.710,44
15	R\$ 44.835,48	R\$ 39.389,69
16	R\$ 44.835,48	R\$ 39.068,95
17	R\$ 44.835,48	R\$ 38.748,20
18	R\$ 44.835,48	R\$ 38.427,46
19	R\$ 44.835,48	R\$ 38.106,71
20	R\$ 44.835,48	R\$ 37.785,96
21	R\$ 44.835,48	R\$ 37.465,22
22	R\$ 44.835,48	R\$ 37.144,47
23	R\$ 44.835,48	R\$ 36.823,72
24	R\$ 44.835,48	R\$ 36.502,98
25	R\$ 44.835,48	R\$ 36.182,23

Fonte: Do autor