

VITOR COSTA CARVALHO

**Análise de viabilidade econômica de um projeto de microgeração fotovoltaica aplicado ao campus da USP - São Carlos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Escola de Engenharia de São Carlos para  
obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista

Orientadora: Profa.Associada Daisy A. N.Rebelatto

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes e Seção Técnica de Informática, EESC/USP com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C534a Costa Carvalho, Vitor  
Análise de viabilidade econômica de um projeto de microgeração fotovoltaica aplicado ao campus da USP - São Carlos / Vitor Costa Carvalho; orientador Daisy Daisy A. N.Rebelatto. São Carlos, 2017.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. energia fotovoltaica. 2. viabilidade econômica. 3. microgeração distribuída. I. Título.

Bibliotecário responsável pela estrutura de catalogação da publicação:  
Eduardo Graziosi Silva - CRB - 8/8907

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Vitor Costa Carvalho

Título: "Análise de viabilidade econômica de um projeto de microgeração fotovoltaica aplicado ao campus da USP - São Carlos"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado  
em 04 / 11 / 2017,

com NOTA 8,0 ( Oito ), pela Comissão Julgadora:

*Profa. Associada Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto -  
Orientadora - SEP/EESC/USP*

*Prof. Associado José Carlos de Melo Vieira Júnior - SEL/EESC/USP*

*Mestre Paulo Nocera Alves Junior - Doutorando - SEP/EESC/USP*

Coordenador da CoC-Engenharia Elétrica - EESC/USP:  
Prof. Associado Rogério Andrade Flauzino



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os entusiastas da energia sustentável que encontrei ao longo da confecção deste trabalho. Desde os professores que tive no intercâmbio, onde despertei para essa área da engenharia elétrica, ao meu pai Marcos que me acompanhou e muitas vezes foi minha referência no estudo técnico, de mercado e da legislação brasileira, a minha família em geral que sempre se demonstrou interessada em conversar sobre o assunto e a minha companheira Rafaela por me acompanhar nos dias de trabalho e pesquisa aqui dedicados e me guiar na área da escrita acadêmica.

Obrigado por fim à minha orientadora, Profa. Daisy Rebellato pela atenção dedicada ao desenvolvimento deste trabalho, por me conectar à pessoas de interesse para o desenvolvimento do estudo, solucionar dúvidas sobre economia e estar sempre disponível.



## RESUMO

CARVALHO, V. C. **Análise de viabilidade econômica de um projeto de microgeração fotovoltaica aplicado ao campus da USP - São Carlos.** Trabalho de conclusão de curso – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2016

A partir do contexto do aumento inflacionário da energia no Brasil, do aumento global do uso de energia fotovoltaica e o recente e exponencial barateamento desta tecnologia, este trabalho analisa a atual regulamentação técnica brasileira para a partir dela elaborar o projeto e documentação necessária para se acessar a rede na forma de microgeração distribuída, assim como analisar técnica e economicamente a viabilidade deste empreendimento como uma opção alternativa à geração de energia elétrica aplicada ao campus da Universidade de São Paulo, utilizando preços reais do mercado brasileiro atual. Por fim este trabalho apresenta o memorial descritivo e diagrama unifilar do projeto de engenharia e aprova a viabilidade financeira do empreendimento analisando diferentes cenários para a projeção do preço da energia elétrica no mercado brasileiro.

**Palavras chave:** energia fotovoltaica; viabilidade econômica; microgeração distribuída;



## ABSTRACT

CARVALHO, V. C. **Economic viability analysis and project of a solar PV system applied to the campus of USP - São Carlos.** Final Project – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2016

From the context of the increase in energy price in Brazil, the global increase in the use of photovoltaic energy and the recent and exponential cheapness of this technology, this work analyzes the current Brazilian technical regulation to prepare the project and documentation necessary to access the network in the form of grid-tie generation, as well as to analyze technically and economically the feasibility of this project as an alternative to the generation of electric energy applied to the campus of the University of São Paulo, using real prices of the current Brazilian market. Finally, this paper presents the descriptive memo and single-line diagram of the engineering project and approves the financial viability of the project, analyzing different scenarios for the projection of the electric energy price in the Brazilian market.

**Keywords:** photovoltaic energy; economic viability; grid-tie solar pv system



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da capacidade global instalada acumulada (Fonte: SolarPower Europe)	19
Figura 2 - Previsão cumulativa do mercado global de energia fotovoltaica (Fonte: SolarPower Europe)	20
Figura 3 - Curva de Aprendizado para Módulos Fotovoltaicos (Fonte: ITRPV 2016)	21
Figura 4 - Evolução da Tarifa de Energia Elétrica, acumulado no ano (em %), Brasil - Fev/2014-Jun/2015 (Fonte: IPCA-IBGE; Elaboração: DIEESE. Subseção FNU)	29
Figura 5 - Localização do Gerador Fotovoltaico.	34
Figura 6 - Padrão de Entrada do Cliente	35
Figura 7 - Diagrama fasorial do ponto conexão	40
Figura 8 - Estrutura de Fixação	44
Figura 9 - Detalhes de Montagem	44
Figura 10 - Placa de Advertência	45
Figura 11 - Diagrama Unifilar	53



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Queda no Preço dos módulos fotovoltaicos (Fonte: ITRPV 2016)	21
Tabela 2 - Comparação de preços dos Kits Fotovoltaicos	30
Tabela 3 - Impostos inclusos nos Kits Fotovoltaicos	30
Tabela 4 - Unidade Consumidora	33
Tabela 5 - Localização do Gerador Fotovoltaico	35
Tabela 6 - Especificação Técnica do Módulo Fotovoltaico	39
Tabela 7 - Diagrama fasorial do ponto conexão	42
Tabela 8 - Produção Anual do Sistema	48
Tabela 9 - Dimensionamento da Instalação	49
Tabela 10 - Circuitos Elétricos	50
Tabela 11 - Circuitos Elétricos de Proteção	50
Tabela 12 - Resumo das variáveis económicas	52
Tabela 13 - Resultados do cálculo dos indicadores económicos	52



## **LISTA DE SIGLAS**

DIEESE - Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ITRPV - International Technology Roadmap for Photovoltaic

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ProGD - Programa de Geração Distribuída

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

VPL - Valor Presente Líquido

TIR - Taxa Interna de Retorno

FGTS - Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

ICMS - Operações relativas à Circulação de Mercadorias

IPTU - Imposto Predial e Territorial Urbano



## SUMÁRIO

1 - Introdução	19
2 - Objetivo Geral	22
2.1 - Objetivos Específicos	22
3 - Revisão bibliográfica	23
3.1 - Resolução Normativa N°687 ANEEL	23
3.2 - Indicadores Econômicos	24
3.2.1 - Valor Presente Líquido (VPL)	25
3.2.2 - Payback Descontado	25
3.2.3 - Taxa Interna de Retorno	26
4 - Método	27
4.1 - Projeto	27
4.1.1 - Diretrizes	27
4.1.2 - Desenho Técnico	27
4.1.3 - Previsão da Produção de Energia	28
4.2 - Variáveis Econômicas	28
4.2.1 - Inflação da Tarifa Energética	28
4.2.2 - Selic	29
4.2.3 - Inflação	29
4.3 - Custos de Implementação	29
4.3.1 - Preço dos equipamentos	30

4.3.2 - Material elétrico complementar	31
4.3.3 - Mão de Obra	31
4.4 - Cenários estudados	31
5 - Resultados e discussão	32
5.1 - Projeto	32
5.1.1 Memorial Descritivo	32
5.1.2 - Diagrama Unifilar	50
5.1.3 - Documentação dos Equipamentos	51
5.2 - Análise de Viabilidade Financeira	51
5.3 - Discussão da viabilidade	52
6 - Conclusão	53
7 - Referências Bibliográficas	55

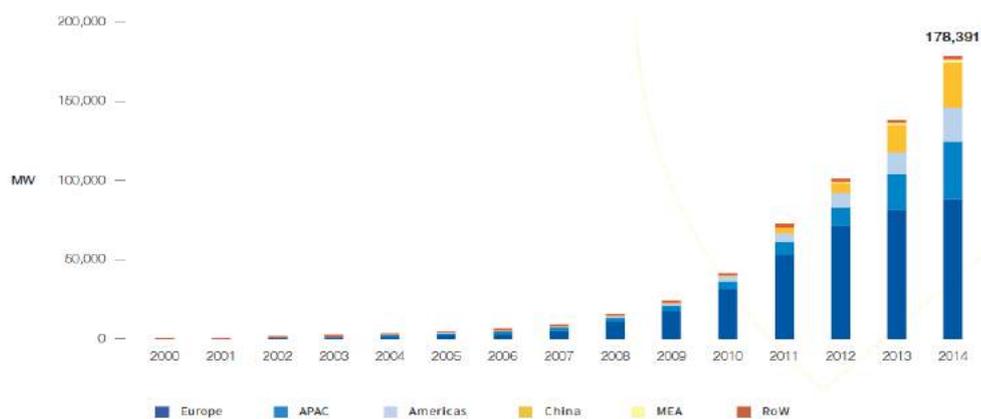
## 1 - Introdução:

A partir do contexto do aumento inflacionário da energia no Brasil, do aumento global do uso de energia fotovoltaica e o recente barateamento dessa tecnologia, este trabalho busca analisar técnica e economicamente a viabilidade de sistemas fotovoltaicos como uma opção alternativa à geração de energia elétrica aplicada ao campus da Universidade de São Paulo.

Segundo dados da nota técnica número 147 publicada pelo Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE, 2015), o aumento substancial das tarifas de energia elétrica influenciou fortemente a inflação, chegando a representar 53,8% do índice em março de 2015, segundo o IBGE. Ainda segundo a nota, em 2014 e 2015 as tarifas pressionaram a inflação em decorrência da crise hídrica e do consequente uso das termelétricas, além da adoção de bandeiras tarifárias e da revisão extraordinária das tarifas nas concessionárias distribuidoras em 2015.

Analisando alternativas para a melhora do atual cenário energético brasileiro e buscando exemplos no mercado global é notável o crescimento da potência instalada de energia solar fotovoltaica. Estudos do SolarPower Europe apresentados nas Figuras 1 e 2, demonstram crescimento exponencial para a capacidade de geração instalada e também para as previsões cumulativas de mercado até 2019.

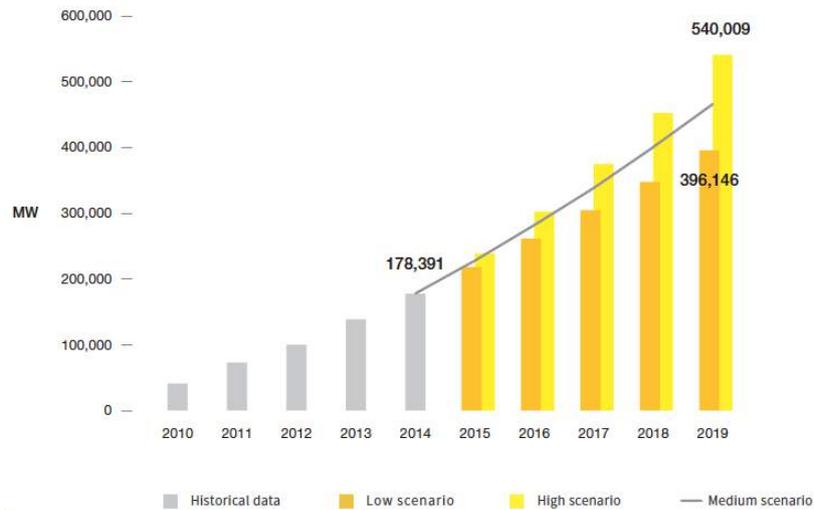
Figura 1 - Evolução da capacidade global instalada acumulada entre 2000-2014



Fonte:

SolarPower Europe - Global Market Outlook 2015

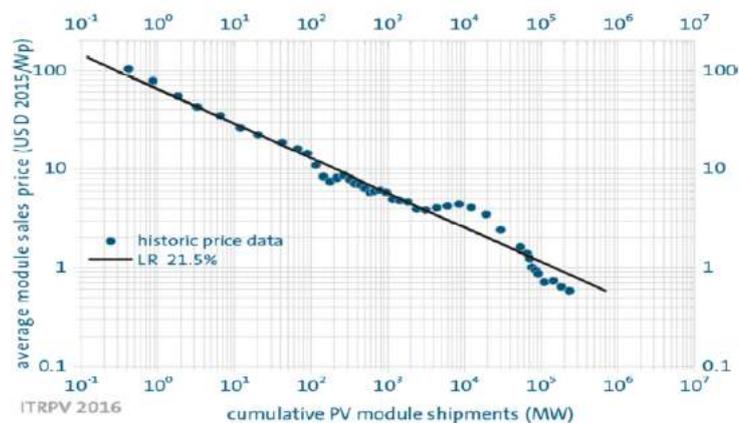
Figura 2 - Previsão cumulativa do mercado global de energia fotovoltaica



Fonte: SolarPower Europe - Global Market Outlook 2015

Outro fator importante que levanta o interesse em energia fotovoltaica é mostrado na Figura 4, um estudo realizado pelo International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV, 2016) comprova a constante e exponencial queda no preço médio de venda dos módulos fotovoltaicos (USD/Wp<sup>1</sup>) em função das remessas anuais produzidas de 1976 à 2015 em MWp. O estudo também mostra a rápida e recente queda no preço dos módulos apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Curva de Aprendizado para Módulos Fotovoltaicos



Fonte: ITRPV 2016

<sup>1</sup> Valores corrigidos para o dolar americano de 2015.

Tabela 1 - Queda no Preço dos módulos fotovoltaicos

		Jan / 2010		Dez / 2013		Jan / 2016
Módulos Fotovoltaicos	US\$	1,86/Wp	US\$	0,72/Wp	US\$	0,57/Wp

Fonte: ITRPV 2016

Além dos fatores econômicos expostos, o governo brasileiro tem elaborado medidas que contribuem para a viabilidade do sistema fotovoltaico. Nesta monografia são apresentados e considerados duas importantes medidas: A Resolução Normativa N°482 de 2012 revisada pela Resolução Normativa N°687 de 2015 elaboradas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Programa de Geração Distribuída (ProGD) que teve início em 2016.



## **2 - Objetivo Geral:**

Nota-se que as condições de viabilidade da energia fotovoltaica seguem sendo alteradas significativamente e em curto prazo configurando uma alternativa interessante de ser analisada tanto do ponto de vista técnico como econômico.

O projeto propõe analisar sob a perspectiva técnica e econômica a viabilidade da instalação de um microgerador fotovoltaico de 16,64 kWp no Bloco B da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

### **2.1 - Objetivos Específicos**

- Projetar um microgerador fotovoltaico de 16,64 kW de potência a ser instalado no telhado do Bloco B da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Calcular o custo do projeto, levando em consideração preços reais do mercado brasileiro, impostos, frete e mão de obra, bem como a depreciação ao longo da vida útil do sistema.
- Confecção dos documentos técnicos necessários para o acesso à rede de distribuição, diagrama unifilar, formulário de solicitação de acesso e memorial descritivo do sistema..
- Analisar economicamente o investimento através do cálculo das variáveis econômicas VPL, TIR e Payback Descontado.
- Promover a sensibilização do corpo acadêmico às recentes transformações no mercado das energias renováveis.



### 3 - Revisão bibliográfica

O objetivo desta revisão é apresentar o embasamento teórico necessário para o entendimento e contextualização desta monografia do ponto de vista econômico e técnico-normativo. Será apresentada a atual regulação técnica das energias renováveis descritas na Resolução Normativa N°482 de 2012 revisada pela Resolução Normativa N°687 de 2015 elaboradas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Programa de Geração Distribuída (ProGD) que teve início em 2016. Estes dois documentos determinam o escopo do projeto de engenharia. Também serão apresentados os indicadores econômicos utilizados para qualificar o investimento.

#### 3.1 - Resolução Normativa N°687 ANEEL

Das considerações gerais apresentadas na norma, este tópico cobre os artigos mais relevantes para a confecção da documentação do projeto e para o cálculo do retorno financeiro do empreendimento, sendo eles:

“Art. 2º.

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;”

O sistema de compensação de energia, Net Metering em inglês, regularizado no Brasil em 2012, foi um dos fatores que mais contribuiu para a redução do custo e complexidade de um sistema solar fotovoltaico por eliminar a necessidade de baterias e do controlador de carga.

Para o cálculo dos indicadores econômicos será usada a compensação energética do sistema como fluxos de caixa futuros.

Já para a elaboração do projeto e confecção da documentação para a Solicitação de Acesso devemos consultar o seguinte módulo da norma:

“Módulo 3 - Seção 3.7 - Item 2.4.4

A solicitação de acesso deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso para microgeração e minigeração distribuída constante nos Anexos II, III e IV desta Seção, conforme potência

instalada da geração, acompanhado dos documentos pertinentes a cada caso, não cabendo à distribuidora solicitar documentos adicionais àqueles indicados nos Formulários.”

“Anexo IV

#### 4 - Documentação a Ser Anexada

1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração
2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo
3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção
4. Certificado de conformidade do inversor ou número de registro da concessão do inmetro do inversor para tensão nominal de conexão com a rede
5. Dados necessários ao registro da central geradora conforme disponível no site da ANEEL”

Como papel do engenheiro eletricista no projeto, esse trabalho compreende a confecção dos itens 2, 3, 4 e 5.

### 3.2 - Indicadores Econômicos

Neste tópico são abordados os três indicadores econômicos utilizados para a tomada de decisão relacionada a viabilidade econômica deste projeto, sendo esses: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback descontado. Esses três indicadores econômicos básicos do mercado financeiro embasam a tomada de decisão de investimentos como apresentado por Ross (Ross; Westerfield; Jaffe; 2007).

#### 3.2.1 - Valor Presente Líquido (VPL)

Como apresentado por Ross (Ross; Westerfield; Jaffe; 2007), o VPL representa o valor presente dos fluxos de caixa futuros descontado pelo valor do investimento inicial do projeto, obedecendo a equação 1. E indica que o investimento deve ser aceito caso seu valor seja maior ou igual a zero.

$$VPL = -FC_0 + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (1)$$

Em que:

$FC_k$  = Fluxos de caixa referentes a cada ano do horizonte de planejamento

$FC_0$  = Investimento inicial do projeto

$k$  (1; n) = períodos do horizonte de planejamento

$i$  = taxa mínima de atratividade do projeto

### 3.2.2 - Payback Descontado

O conceito de Payback descontado, apresentado por Ross (2007), fornece o tempo necessário para recuperar o investimento inicial levando em conta o valor do dinheiro no tempo, esse conceito é popularmente conhecido como o tempo que um investimento leva para *se pagar*.

### 3.2.3 - Taxa Interna de Retorno

Gitman (1987) define a taxa interna de retorno como a taxa de desconto necessária para igualar o valor atual das entradas ao investimento inicial, cujo cálculo é dado pela equação 2. Em outras palavras, o TIR é a taxa que iguala o VPL a zero. Seu critério de decisão é aceitar o projeto caso seu valor seja maior que a taxa de desconto e rejeitá-lo, caso contrário (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2007).

$$0 = -FC_0 + \sum_{k=1}^n \frac{FC_k}{(1+TIR)^k} \quad (2)$$

Em que:

$FC_k$  = Fluxos de caixa referentes a cada ano do horizonte de planejamento

$FC_0$  = Investimento inicial do projeto

$k$  (1; n) = períodos do horizonte de planejamento



## **4 - Método**

Neste capítulo são apresentadas as ferramentas utilizadas para dimensionar, projetar e estimar a produção de energia do sistema. Assim como os dados necessários para o cálculo das variáveis econômicas VPL, TIR e Payback. É, também, apresentada a lista de fornecedores cotados para a precificação do projeto.

### **4.1 - Projeto**

O projeto utilizará os equipamentos encontrados atualmente no mercado brasileiro no qual os sistemas são importados e comercializados como “Kits Fotovoltaicos” para se beneficiarem do incentivo fiscal do ProGD. Partindo dessa oferta tem-se que o preço por kWp é inversamente proporcional à dimensão do inversor fotovoltaico, por isso para esse projeto será escolhido o maior dimensionamento de inversor trifásico 220V disponível no mercado que é 15 kWp.

#### **4.1.1 - Diretrizes**

O projeto segue as orientações do Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (PINHO; GALDINO, 2014) e da Norma Regulamentadora NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE. Todos os detalhes e conceitos técnicos referentes ao sistema assim como as especificações dos equipamentos são apresentados no Memorial Descritivo.

#### **4.1.2 - Desenho Técnico**

O desenho técnico do diagrama unifilar foi produzido utilizando o Software AutoCAD 2016.

#### **4.1.3 - Previsão da Produção de Energia**

A energia gerada pelo sistema será estimada pelo Software de licença livre RETScreen 4 utilizando dados de radiação solar locais, a eficiência dos módulos e a potência total instalada do sistema.

A depreciação da potência do sistema considera a garantia do fabricante dos módulos fotovoltaicos, que garante uma queda linear de produção alcançando os 80% em 25 anos.

## 4.2 - Variáveis Econômicas

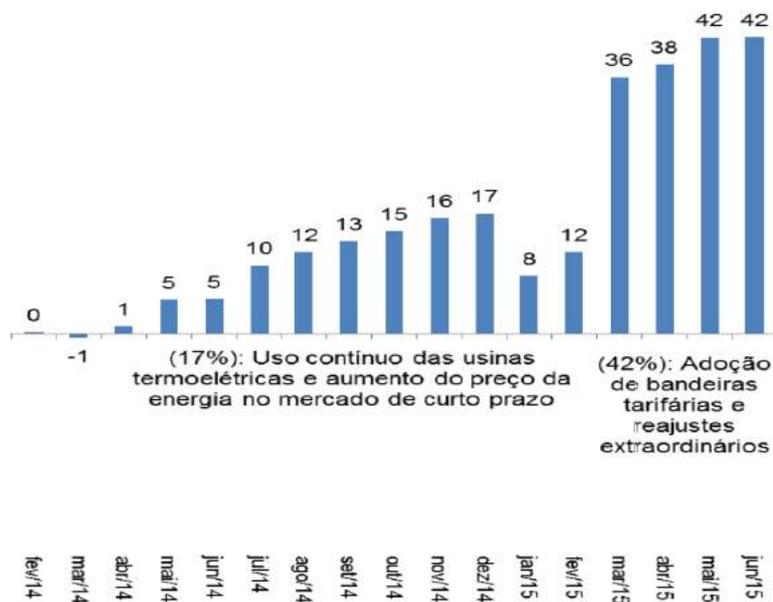
O valor das variáveis econômica utilizadas na análise de viabilidade foi consultado no ano de 2017 em sites do governo.

### 4.2.1 - Inflação da Tarifa Energética

Segundo dados do IBGE a tarifa de energia apresentou aumento acumulado em 2014 de 17%. Já em 2015 tivemos o aumento atribuído à crise hídrica e as bandeiras tarifárias. Como este segundo aumento foi decorrente de medidas extraordinária será utilizado o aumento de 14% que está mais próximo da média.

Tal aumento pode ser observado no Figura 4.

Figura 4 - Evolução da Tarifa de Energia Elétrica, acumulado no ano (em %),  
Brasil - Fev/2014-Jun/2015



Fonte: IPCA-IBGE; Elaboração: DIEESE. Subseção FNU

#### 4.2.2 - Selic

Obtida no site do Banco Central do Brasil a taxa apresentou cotação de 7,4% a.a. no dia 02 de novembro de 2016. Essa taxa foi utilizada para TMA.

#### 4.2.3 - Inflação

Obtida no site do tesouro nacional o IPCA acumulado nos últimos 12 meses a considerar de novembro de 2017 foi de 2,54%.

### 4.3 - Custos de Implementação

Os custos de implementação que se somam ao valor do projeto incluem: preço dos equipamentos, incluindo frete; preço dos materiais de instalação; mão de obra.

#### 4.3.1 - Preço dos equipamentos

O preço do Kit fotovoltaico foi orçado em três diferentes importadores:

- Aldo
- PHB
- Sices Brasil

Os preços finais incluindo frete e impostos são comparados na tabela 2.

Tabela 2 - Comparação de preços dos Kits Fotovoltaicos

Fornecedor	Preço	Frete	Preço Final
Aldo	R\$ 62.690,00	Grátis	R\$ 62.690,00
PHB Solar	R\$ 54.890,00	R\$ 3.250,00	R\$ 58.140,00
Sices Brasil	R\$ 52.510,31	R\$ 2.400,00	R\$ 54.910,31

- Emissão de NF-e como único item “GERADOR FOTOVOLTAICO” conforme Convênio CONFAZ 101/97, que concede isenção do ICMS nas operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica.
- Impostos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Impostos inclusos nos Kits Fotovoltaicos

PIS	COFINS	IPI	ICMS
1,65%	7,6%	0%	0%

Escolhendo o menor preço vamos utilizar o valor de R\$ 54.910,31 para somar ao investimento inicial.

#### **4.3.2 - Material elétrico complementar**

O material elétrico complementar utilizado no projeto consiste no cabeamento, tubulação de passagem e equipamentos de proteção. As dimensões e quantidades estão descritas no memorial descritivo. Baseado em pesquisa de mercado realizada em outubro de 2017 será considerado um acréscimo de R\$ 2.000,00 ao investimento inicial, referente ao material elétrico complementar.

#### **4.3.3 - Mão de Obra**

Estima-se necessário para a implementação deste sistema com base nas práticas do mercado e informações dos fornecedores 48 homem-hora com remuneração de R\$25/h, somando R\$ 1.200,00 ao investimento inicial.

#### **4.4 - Cenários estudados**

Para a consideração dos fluxos de caixa utilizados no cálculo do VPL, TIR e Payback Descontado, iremos analisar três casos distintos: considerando a inflação da energia acompanhando indicadores do mercado de energia dos últimos anos, acompanhando a taxa SELIC, e acompanhando o IPCA.

## **5 - Resultados e discussão**

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados do projeto e análise financeira do empreendimento. O projeto se delimita nos documentos da solicitação de acesso: diagrama unifilar; memorial descritivo e documentação dos equipamentos. Já a análise financeira apresenta o resultado do cálculo das variáveis econômicas e posterior conclusão sobre a viabilidade nos cenários propostos.

### **5.1 - Projeto**

A confecção do material necessário para a solicitação de acesso à concessionária busca contribuir como referência para futuros trabalhos de engenharia para o mercado de geração distribuída que se encontra em constante expansão, e também contribuir para a realização do projeto e instalação de uma micro usina fotovoltaica no campus da USP de São Carlos, que pode servir como laboratório e referência dessa tecnologia para os alunos.

Este tópico inclui o memorial descritivo e diagrama unifilar do projeto.

#### **5.1.1 Memorial Descritivo**

##### **Justificativa**

O requerente USP São Carlos pretende instalar uma planta de geração de energia solar fotovoltaica de 16,64kWp de potência, cuja finalidade é a geração de energia elétrica e injeção de excedente de energia na rede de Baixa Tensão da concessionária distribuidora de energia, caracterizando o sistema de compensação de energia elétrica previsto na REN nº 687/2015 da ANEEL.

##### **Objetivo**

O objetivo deste memorial descritivo é apresentar todas as informações necessárias para compreensão de todos os detalhes de instalação e equipamentos eletroeletrônicos do projeto.

Serão apresentados: desenhos, cálculos, diagrama unifilar, descrição técnica dos equipamentos, certificados de laboratórios Internacionais e nacionais dos equipamentos eletroeletrônicos (inversor e módulo fotovoltaico), anexos e formulários para obtenção da autorização de acesso e registro da unidade geradora junto a ANEEL.

##### **Descrição Geral do Consumidor**

A unidade consumidora que participará do sistema de compensação de energia é a descrita abaixo:

Tabela 4 - Unidade Consumidora

**UNIDADE CONSUMIDORA**

<b>Nome:</b>	USP SÃO CARLOS
<b>CPF/CNPJ:</b>	63.025.530/0001-04
<b>Endereço:</b>	Av. Trab. São-Carlense, 400 - Parque Arnold Schimidt, 13566-590
<b>Código/Cliente:</b>	00000000
<b>Município:</b>	São Carlos – SP

**Localização do Sistema Fotovoltaico**

O Sistema será instalado no campus da USP São Carlos, no telhado do bloco B da Engenharia de Produção.



Figura 5 - Localização do Gerador Fotovoltaico.

Tabela 5 - Localização do Sistema Fotovoltaico

<b>Município:</b>	São Carlos - SP
<b>Localização</b>	Av. Trab. São-Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, 13566-590
<b>Latitude:</b>	-22.0076069
<b>Longitude:</b>	-47.8968256

### Características de Atendimento



Figura 6 - Padrão de Entrada do Cliente

### Tipo de Atividade do Cliente

O cliente tem atividade comercial de educação.

### Empresa Executora do Projeto

-----

### Empresa Distribuidora de Energia Elétrica

A empresa responsável pela distribuição de energia elétrica na localidade é a Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL. Com sede na Rodovia Campinas Mogi-Mirim, km 2,5, Jardim Santana, Cidade de Campinas - SP, inscrita no CNPJ sob o nº 33.050.196/0001-88.

### **Legislação e Normas Técnicas**

Os desenhos, equipamentos e materiais do projeto, cumprem as recomendações constantes dos seguintes documentos e normas:

- MÓDULO 3 (PRODIST) - Módulo 3 do Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) – Acesso ao Sistema de Distribuição - Seção 3.7.
- MÓDULO 8 (PRODIST) - Módulo 8 da Resolução N° 395 de 2009 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão.
- ABNT NBR IEC 62116 - Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados á rede elétrica.
- ABNT NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 414 - Resolução N° 414 de 09 de setembro de 2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 517 - Resolução N° 517 de 11 de dezembro de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 482 - Resolução N° 482 de 17 de abril de 2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL RESOLUÇÃO N° 687 - Resolução N° 687 de 24 de novembro de 2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ABNT NBR 16150 - Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade.
- GED 15303 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

## Descrição Da Instalação Fotovoltaica

### Características Gerais

Um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica é formado pelos seguintes elementos:

- Módulos fotovoltaicos;
- Estrutura metálica de suporte dos módulos fotovoltaicos;
- Inversor AC/DC;
- Cabos de conexão;
- Dispositivos de proteção CC e CA.

O sistema de geração fotovoltaica é composto por diversos alinhamentos de séries de módulos, onde cada série é composta por diversos módulos fotovoltaicos, que por sua vez são compostos de diversas células fotovoltaicas (as células fotovoltaicas captam a luz do sol, fonte primária de energia, transformando a energia luminosa em energia elétrica).

Os módulos fotovoltaicos são montados sobre a estrutura metálica, denominado como suporte dos módulos, que por sua vez são fixados sobre o telhado de forma adequada.

Os cabos provenientes dos diversos conjuntos de séries se conectam entre si por intermédio de uma caixa de junção ou diretamente ao inversor, caso este apresente as proteções necessárias para dispensar o uso de caixa de junção.

Os inversores transformam a corrente contínua (C.C) em corrente alternada (C.A). A energia elétrica produzida é consumida pelo local da instalação ou injetada na rede elétrica por meio do ponto de entrega de energia da distribuidora, caso a demanda seja inferior a energia produzida.

A quantidade de energia gerada em um dia por um sistema fotovoltaico, é proporcional à irradiação disponível no plano dos módulos fotovoltaicos. A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos, em corrente contínua, é fornecida a carga local ou injetada na rede de forma sincronizada através dos inversores, que por sua vez, é transformada em corrente alternada. Durante a noite o inversor deixa de operar e se mantém em estado de *stand by*, com o objetivo de minimizar o consumo do sistema.

Os inversores supervisionam a tensão e a frequência da rede, entrando em operação somente quando os valores estão dentro da faixa de regime normal de operação. O conjunto de proteções de conexão dos inversores não permite que funcione de forma ilhada, ou seja, em caso de falha da rede elétrica a planta deixaria de funcionar.

## Módulo Fotovoltaico

O módulo fotovoltaico fabricado pela CANADIAN SOLAR INC. é constituído de células de silício policristalino. Possui robustas esquadrias de alumínio resistente à corrosão e independentemente testado para suportar altas cargas de vento e cargas de neve.

Os módulos adotados dispõem das certificações de qualidade TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.

O módulo fotovoltaico apresenta elevada eficiência e classificação “A” pelo INMETRO.

A garantia do produto contra defeitos de fabricação terá duração de 10 anos. A garantia de produção é de 91,02% após 10 anos e 80,7% após 25 anos de sua potência nominal (Wp).

A seguir, estão presentes as características técnicas deste módulo:

Tabela 6 - Especificação Técnica do Módulo Fotovoltaico

Módulo Fotovoltaico	
Modelo	CS6X-320
Tecnologia	Policristalino
Potência Nominal (Pmax)	320 W
Eficiência	16,16%
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	42,2 V
Tensão de Máxima Potência (Vmp)	33,9 V
Corrente de Curto Circuito (Isc)	7,48 A
Corrente de Máxima Potência (Imp)	6,94 A
Coef. Temperatura da potência (Pmax)	-0,41 % / °C
Coef. Temperatura Isc(%/°C)	0,053 % / °C
Coef. Temperatura Voc(%/°C)	-0,31 % / °C
NOCT(°C)	20 °C
Comprimento	1954 mm
Largura	982 mm
Altura	40 mm
Peso	22 kg

## Inversor Solar

O inversor é o equipamento responsável por transformar a energia elétrica gerada nos módulos fotovoltaicos em corrente contínua (DC), na forma de corrente alternada (AC) para entregar à rede.

Em casos de perda ou anormalidades de tensão e frequência na rede AC, o inversor deixa de fornecer energia AC, evitando o funcionamento ilha, ficando uma garantia de segurança para os trabalhadores de manutenção da rede elétrica da companhia. Voltando os valores de tensão e frequência a sua normalidade, o inversor se conecta a rede automaticamente.

Os inversores aplicados em sistemas fotovoltaicos devem atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR IEC 62116. Funcionará também como dispositivo de monitoração de isolamento, para desconexão automática da instalação fotovoltaica, no caso de perda da resistência de isolamento.

O lado de corrente contínua (DC) do inversor, será conectado aos módulos fotovoltaicos, e no lado de corrente alternada (AC), será conectado ao quadro de distribuição elétrica mais próximo da planta fotovoltaica, com tensão monofásica de saída AC de 230 V. Caso a tensão FN do ponto de conexão seja de 127 V, as saídas F e N do inversor serão ligadas em duas fases, conforme diagrama fasorial a seguir.

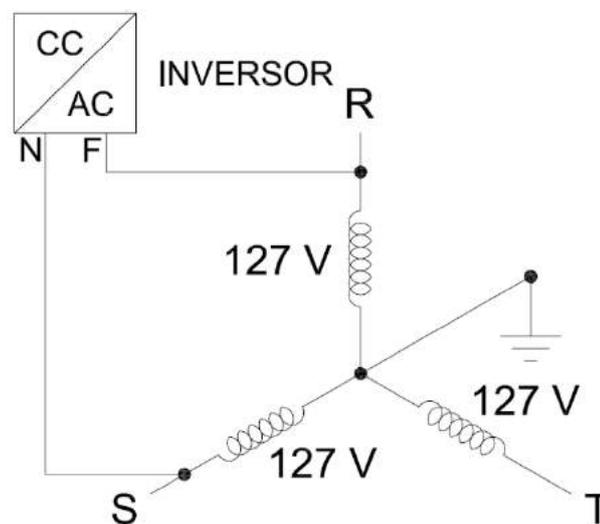


Figura 7 - Diagrama fasorial do ponto conexão

O inversor terá um microprocessador, garantindo que a corrente alternada será uma curva senoidal com o mínimo de distorção.

O inversor é especialmente projetado para perseguir o ponto de máxima transferência de potência do gerador fotovoltaico (MPPT), e entregar esta potência a rede com o mínimo de perdas

possíveis. Este modelo de inversor garante uma ótima qualidade de energia com baixa distorção harmônica (<3%).

Ele atua como uma fonte de corrente sincronizado com a rede, do tipo auto-comutação, por meio de bandas de histerese de operação. Tem a função de anti-ilhamento, através da medição da impedância da rede.

O equipamento é parametrizado pelo fabricante de acordo com a “ABNT NBR 16149, capítulo 4 - *Compatibilidade com a rede* e capítulo 5 – *Segurança pessoal e proteção do sistema FV*”, quanto às faixas de operação normal de: Tensão CA, Injeção de Componente CC, Frequência (Hz), Fator de Potência, Distorção harmônica de corrente, Proteção contra ilhamento, reconexão, Isolação e Seccionamento.

Para poder comparar as eficiências de diferentes células ou módulos fotovoltaicos, foi criado um padrão chamado STC, Standard Test Condition (condição de teste padrão), no qual o módulo fotovoltaico é exposto há uma irradiância correspondente a  $1000\text{W}/\text{m}^2$ , temperatura de  $25^\circ\text{C}$  e  $\text{AM}=1.5$ . O nome AM vem de massa de ar, (Air Mass em inglês) e 1.5 é o espectro Solar para um dado ângulo de inclinação (ângulo zenital).

O inversor pode continuar injetando energia para a rede em termos de irradiação Solar 10% maior do que STC, incluindo 30% maior por apenas 10 segundos, isso ocorre quando a radiação solar supera o valor de  $1000\text{ W}/\text{m}^2$ . Quando atinge valores de irradiação maiores que 30% de STC, o inversor sai do ponto de potência máxima, e vai para um ponto de potência mais baixo, garantindo que valores de potência elevada não venham prejudicar o equipamento que é dimensionado em função de STC.

Enquanto a tensão de entrada permanece dentro da faixa de segurança, o inversor não é prejudicado. Para garantir isso, a unidade foi dimensionada com uma tensão de circuito aberto que está sempre abaixo da tensão máxima de entrada do inversor.

O inversor possui um rendimento de 96% a 100% da potência nominal. Em operação seu consumo é inferior a 30 W, e a noite fora de operação, o consumo é de 1 W. Tem um fator de potência igual a um, para a faixa de potência requerida.

Quando o gerador fornece uma potência acima de 180 W, o inversor tem condições de alimentar a rede de energia. Este valor é para dias de radiação muito baixa, de modo que satisfaz facilmente a necessidade do inversor para fornecer energia à rede.

O equipamento conta com classe de proteção IP - 65, com uma faixa de temperatura tolerável, de -25°C a +60°C, e uma umidade relativa de 0 a 100%. A seguir está às principais características do modelo do inversor:

Tabela 7 - Especificação Técnica Do Inversor

Inversor	
Modelo	FRONIUS SYMO 15.0
Potência Nominal de Saída (Pac)	15000 W
Potência Máxima de Saída (Pmax)	15000 VA
Corrente Nominal de Saída (Iac)	41,6A
Tensão de Saída AC	220V
Frequência	60 Hz
Distorção Harmônica Total	< 3.4%
Fator de Potência	0 - 1 ind./cap.
Dimensões	511 x 724 x 227 mm
Peso	42 kg
Grau de Proteção	NEMA 4X
Certificado nos Padrões:	UL 1741-2010, UL1998 (para funções AFCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 ( Setembro 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013, ABNT NR 16149

### **Estrutura Metálica**

A instalação será equipada com uma estrutura baseada em perfis de alumínio para evitar corrosão por conta de intempéries. Estas estruturas de apoio para módulos fotovoltaicos são calculadas tendo em conta o peso da carga de vento para a área em questão, e a altitude da instalação. Os pontos de fixação para o módulo fotovoltaico são calculados para uma perfeita distribuição de peso na estrutura, seguindo todas as recomendações do fabricante.

O desenho da estrutura deve basear-se no ângulo de orientação e declive especificada para o módulo fotovoltaico, dada a facilidade de montagem e desmontagem, e a eventual necessidade de substituição de elementos. Os módulos serão prestados fora das sombras das paredes e fixados a própria estrutura.

O modelo adotado para esta instalação será conforme as imagens a seguir.

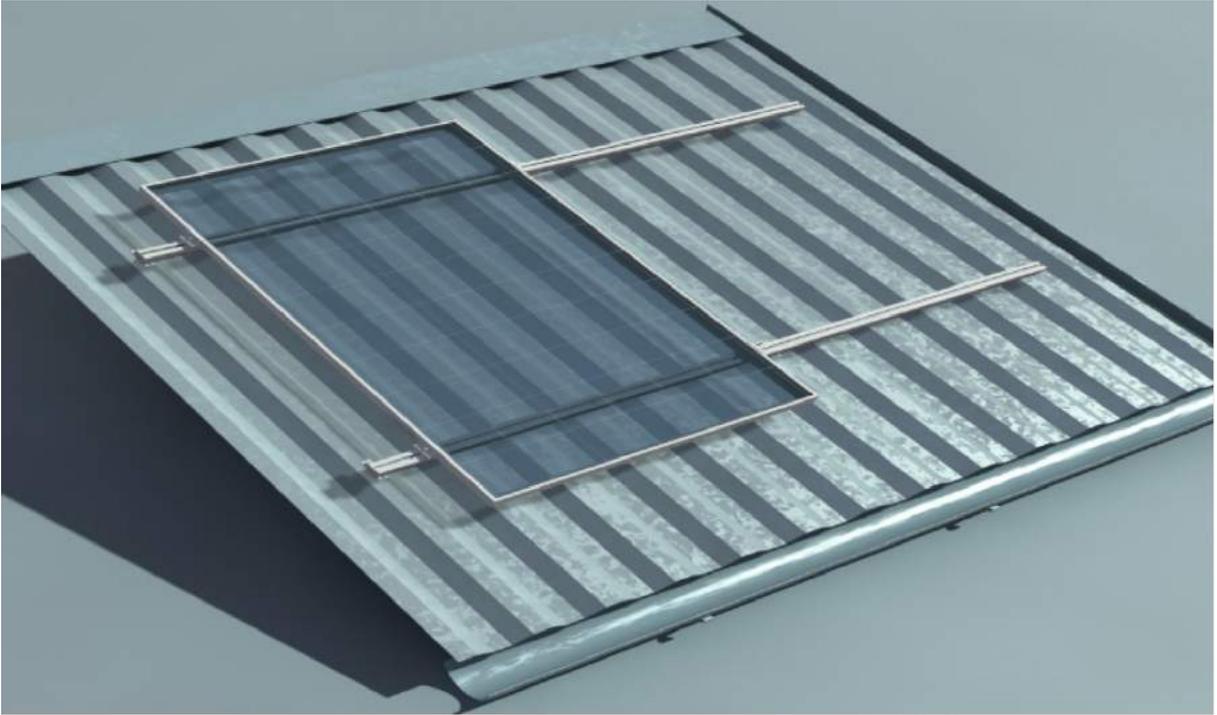


Figura 8 - Estrutura de Fixação

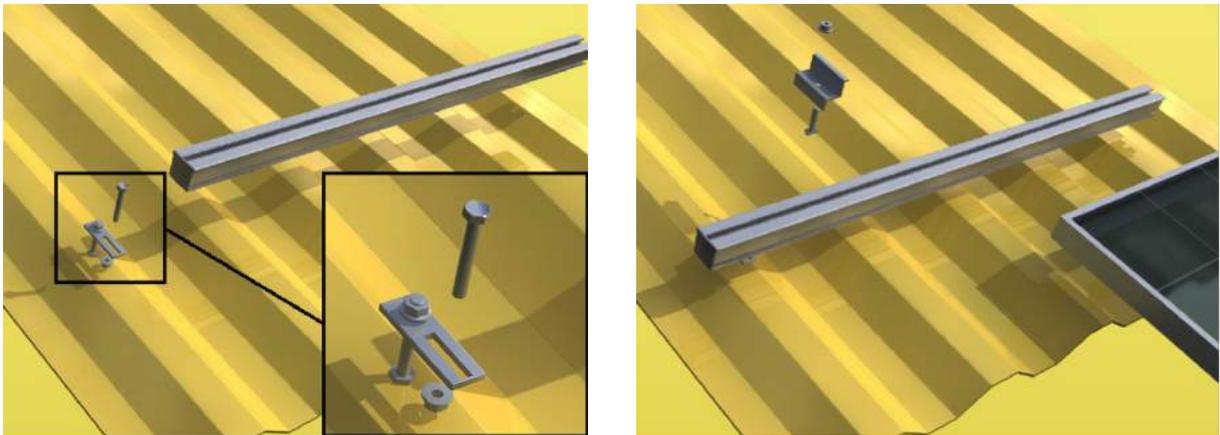


Figura 9 - Detalhes de Montagem

### **Padrão de Entrada**

O padrão de entrada deverá ser montado conforme a norma GED 15303 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

No padrão de entrada será colocado uma ou mais placas de advertência, confeccionada em aço inoxidável ou alumínio anodizado, deverá ser afixada de forma permanente na tampa da caixa de medição do padrão de entrada ou cabine primária da unidade consumidora, com os dizeres “CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA”, com gravação indelével.



Figura 10 - Placa de Advertência

### **Medidor Bidirecional**

O sistema de medição de energia utilizado pelo usuário será do tipo bidirecional. Em outras palavras, o medidor instalado na entrada deste usuário, será capaz de registrar o consumo e a geração de eletricidade. Este medidor bidirecional certificado pelo INMETRO é homologado pela CPFL, e será instalado pela mesma.

Este medidor deverá ser montado conforme a norma GED 15303 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

O consumo corresponde ao fluxo de potência com o sentido tradicional da concessionária para o usuário. A geração corresponde à injeção ou exportação de energia para a rede elétrica, que ocorrerá nos instantes em que a geração fotovoltaica for superior ao consumo da unidade consumidora.

O medidor do tipo bidirecional terá dois registradores, com numerações distintas, um para o consumo e outro para a geração de eletricidade. Isso permitirá a apresentação de dois valores, um de geração e outro de consumo, nas faturas de eletricidade dos usuários que possuem um sistema fotovoltaico registrado junto à concessionária. As concessionárias serão responsáveis pela troca do medidor convencional pelo medidor bidirecional, cabendo ao Acessante cobrir as despesas deste

equipamento para com a CPFL, pagando o custo total em caso de padrão de entrada novo, ou a diferença, entre o custo do medidor bidirecional e o existente.

Existe um único ponto de conexão do medidor com a rede elétrica, no qual pode ocorrer, entrada ou saída de energia. O gerador fotovoltaico é conectado ao quadro elétrico mais próximo da planta, e as cargas são alimentadas por meio deste.

### **Dispositivos de Proteção CC e CA**

Para a proteção dos equipamentos do sistema, das instalações e das pessoas, serão incorporados aos circuitos CC (Corrente Contínua) e CA (Corrente Alternada) os seguintes dispositivos:

- Circuito de Corrente Contínua:
  - o DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surto);
  - o Fusíveis;
  - o Seccionadora.
  
- Circuito de Corrente Alternada:
  - o DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surto);
  - o Disjuntores Termomagnéticos;

Todos os equipamentos serão condicionados em quadros elétricos com proteção de intempéries, devidamente sinalizados, para a proteção e instrução de pessoal autorizado, quanto às manobras de operação dos dispositivos de proteção, em caso de manutenções futuras.

Caso o inversor apresente incorporado a ele alguma das proteções aqui descritas, será dispensado o uso de equipamento externo.

### **Condutores e Eletrodutos**

Todos os condutores serão de cobre, adequados para uso em intempéries, e sua seção será a suficiente para assegurar que a queda de tensão no cabeamento seja inferior a 4%, conforme a norma ABNT NBR 5410.

O circuito entre a série de módulos e a entrada DC do inversor, será composto por cabos preparados para ambientes externos com secção de 6 mm<sup>2</sup>. Serão utilizados conectores do tipo MC4, concebidos especificamente para utilização em sistemas fotovoltaicos para interligar os módulos um

ao outro em série e/ou paralelo no circuito. Os módulos fotovoltaicos já saem de fábrica com um cabo e conectores MC4, assim como a entrada DC do inversor já é preparada para este tipo de conector, o que melhora a qualidade da instalação, facilita a conexão entre módulos e apresentam melhor durabilidade quando expostos às condições climáticas típicas de sistemas fotovoltaicos. Os circuitos serão condicionados em eletrodutos e os cabos serão de cobre isolado tipo HEPR 0,6/1 kV de tensão nominal não inferior a 1000V de isolamento.

## **Cálculo e Dimensionamento do Sistema**

### **Cálculo da Produção Anual da Instalação Fotovoltaica**

#### **Objetivo**

Este anexo exhibe uma estimativa dos cálculos da produção de energia elétrica, que terá a instalação fotovoltaica. Estes cálculos foram feitos com o software de simulação PVSYST.

#### **Produção Anual da Instalação Fotovoltaica**

Para a irradiância média mensal e anual sobre superfície horizontal e inclinada  $G_{dm}(0)$  em  $kWh/(m^2 \cdot dia)$ , se utilizam dados do SWERA - Atlas Solarimétrico do Brasil (INPE, 2010). O software PVSYST calcula o valor médio mensal e anual da irradiância diária sobre superfície inclinada  $G_{dm}(\alpha, \beta)$ , em  $kWh/(m^2 \cdot dia)$ , sendo  $\alpha$  o azimute do gerador, e  $\beta$  a inclinação do gerador.

Ademais o programa PVSYST calcula o rendimento energético da instalação (PR, Performance Ratio) definindo a eficiência da instalação em condições reais de trabalho.

#### **Cálculo de Produção Anual da Instalação Fotovoltaica**

A seguir, resultados obtidos com base nos dados de incidência solar do Inpe(<https://maps.nrel.gov/swera>).

Tabela 8 - Produção Anual do Sistema

MÊS	Dias/Mês	Índice de Radiação	kWh/mês Pannel	kWh/mês Sistema
JAN	30	7,162	49,05	2 550,44
FEV	29	4,67	30,92	1 607,59
MAR	31	4,99	35,31	1 836,21
ABR	30	7,019	48,07	2 499,52
MAI	31	6,163	43,61	2 267,85
JUN	30	5,176	35,45	1 843,21
JUL	31	4,26	30,15	1 567,59
AGO	31	6,28	44,44	2 310,90

SET	30	6,38	43,69	2 271,97
OUT	31	8,13	57,53	2 991,66
NOV	30	6,03	41,29	2 147,33
DEZ	31	4,86	34,39	1 788,37
			<b>SOMA:</b>	<b>25 682,65</b>
			<b>MÉDIA:</b>	<b>2 140,22</b>

### **Dimensionamento da Instalação Fotovoltaica**

#### **Objetivo**

Este anexo exhibe os cálculos para o dimensionamento da instalação fotovoltaica e conexão dos módulos fotovoltaicos aos inversores.

#### **Dimensionamento da Instalação Fotovoltaica**

A conexão dos módulos fotovoltaicos faz-se tendo em conta as descrições elétricas de entrada do inversor.

A tensão de máxima potência de cada série deve estar dentro da faixa de tensão de máxima potência do inversor. Isto deve cumprir-se em condições semelhante aos padrões de teste STC e a 60 °C de temperatura de célula solar.

A tensão de circuito aberto de cada série com uma temperatura de célula de 10 ° C deve estar dentro da faixa de tensão de máxima transferência de potência do inversor.

A faixa de tensão são valores entre mínimos e máximos. A tensão de cada série tende a aumentar com a diminuição da temperatura. O quanto diminui esta tensão por graus °C acima do padrão de teste estão na tabela gerador, deste mesmo projeto.

A corrente de curto circuito de todas as séries deve ser inferior à intensidade de corrente contínua máxima do inversor.

A seguir dados do dimensionamento da instalação em função do Standard Test Condition (Condição de Teste Padrão) dos módulos fotovoltaicos:

Tabela 9 - Dimensionamento da Instalação

## DIMENSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO

Número de Inversores	1
Número de entradas MPPT por Inversor	1
Número de arranjos	2
Número de módulos	52
Potência total	16,64kW
Potência inversor	15 kW
Faixa de temperatura de operação da célula	-40 ~ 85 °C

**Cálculos Elétricos****Objetivo**

Este anexo exhibe os cálculos elétricos e/ou a normas consultadas para dimensionar os condutores da instalação fotovoltaica.

**Dimensionamento de Circuitos Elétricos**

Para o perfeito dimensionamento técnico do circuito foi revisado os itens da NBR 5410/2004 relativos à escolha da seção de um condutor e do seu respectivo dispositivo de proteção.

**Seção Mínima e Capacidade de Condução**

Para encontrar a seção do condutor de acordo com a NBR 5410/2004 é necessário encontrar a corrente do circuito. Esta pode ser obtida por meio da folha de dados dos equipamentos, como inversores e módulos ou calculada com as equações a seguir.

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\varphi} \quad (\text{Monofásico}) \quad (3)$$

$$I = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3} \cdot \cos\varphi} \quad (\text{Trifásico}) \quad (4)$$

Onde:

I: corrente circulante (A).

P: Potência total (W).

V: tensão de alimentação (V).

$\cos \phi$ : fator de potência

### Características Elétricas e Dispositivos de Proteção de Cada Circuito

Tabela 10 - Circuitos Elétricos

#### CIRCUITOS ELÉTRICOS

Origem	Destino	POTÊN CIA MÁX (kW)	Corre nte (A)	Tens ão (V)	Nº de Mód. Série	Seção Nomi nal (mm <sup>2</sup> )	Comprime nto (m)	Queda de Tensã o (%)	Perdas Cabeam ento (W)
Arranjos	JUNÇÃO CC	16,64	22,44	759, 6	3x18	6	20	0,301 5	17,09
JUNÇÃO O CC	INVERSO R	16,64	22,44	759, 6	-	6	0,5	0,050 2	2,84
INVERS OR	Q.G.B.T	15,0	39,41	220	-	6	1	0,341 7	17,80
Q.G.B.T	PADRÃO ENTRAD A	15,0	39,41	220	-	25	-	-	-

Tabela 11 - Circuitos Elétricos de Proteção

## CIRCUITOS ELÉTRICOS DE PROTEÇÃO

Origem	Destino	Proteção		
Arranjos	JUNÇÃO CC	Fusível	DPS CC TIPO2	Seccionadora CC
		1000 V / 25 A	1000 V/ 25 kA	1000 V / 25 A
JUNÇÃO CC	INVERSOR	-		
INVERSOR	Q.G.B.T	DTM	DPS CC TIPO2	-
		BIPOLAR 50A	275 V / 20 kA	
Q.G.B.T	PADRÃO ENTRADA	DTM BIPOLAR 100A	-	-

**Aterramento****Objetivo**

Este anexo tem o objeto de descrever a conexão à terra da instalação fotovoltaica.

**Aterramento de Instalação Fotovoltaica**

A instalação de aterramento cumpre com a norma ABNT NBR 5419 proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Toda peça condutora da instalação elétrica que não faça parte dos circuitos elétricos, mas que, eventualmente ou acidentalmente, possa ficar sob tensão, deve ser aterrada, desde que esteja em local acessível a contatos. A este aterramento se conectará a estrutura de fixação dos geradores fotovoltaicos e o borne de aterramento do inversor. O sistema de aterramento da instalação fotovoltaica deve ser interligado ao sistema de aterramento principal da instalação.

O aterramento está presente em diversos sistemas de proteção dentro da instalação fotovoltaica: proteção contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões, proteção de linhas de sinais, equipamentos eletrônicos e proteções contra descargas eletrostáticas.

O valor da resistência de aterramento será tal que qualquer massa não possa dar tensões de contato superiores a 25 V (situação 2 tabela C.2 ABNT NBR 5410:2004).

A norma brasileira de proteção contra descargas atmosféricas (NBR 5419) recomenda uma resistência de terra com valor máximo de 10 ohms, para isso é necessário conhecer o tipo e a resistividade do solo e as opções de aterramento.

### 5.1.2 - Diagrama Unifilar

O diagrama unifilar pode ser visualizado na figura 11.

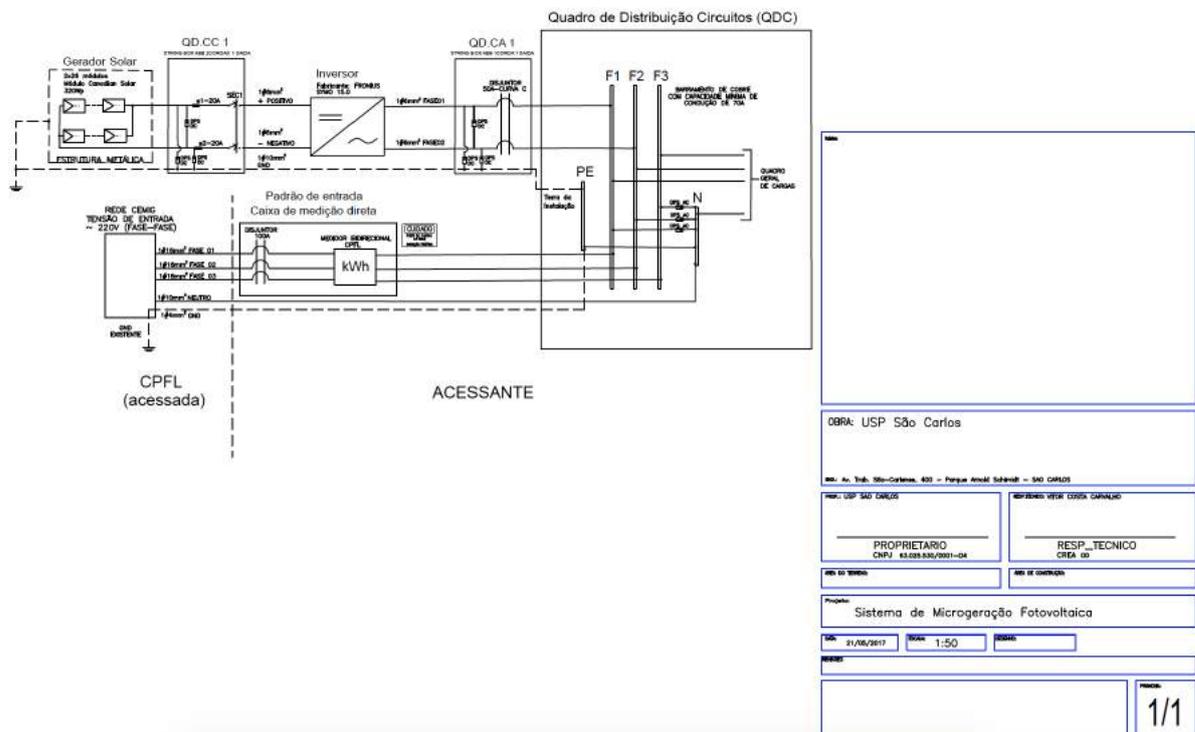


Figura 11 - Diagrama Unifilar

### 5.1.3 - Documentação dos Equipamentos

A documentação dos equipamentos e também o certificado de conformidade do inversor podem ser encontrados no anexo 2 desta monografia.

## 5.2 - Análise de Viabilidade Financeira

Aqui será apresentado um resumo das variáveis utilizadas e também os resultados dos cálculos dos indicadores econômicos analisados nos três cenários propostos.

### 5.2.1 - Resumos das variáveis econômicas

A tabela a seguir busca resumir e apresentar, de forma organizada, as variáveis consideradas no cálculo:

Tabela 12 - Resumo das variáveis econômicas

Preço da energia (R\$/kWh)	0,320035928
Investimento Inicial	R\$56.910,31
Inflação da energia baseada nos dados históricos do mercado, ao ano	17%
Taxa de Desconto (Selic ao mes)	0,5966%
Taxa Selic ao ano	7,4%
Inflação IPCA ao mes	0,2092%
Inflação IPCA ao ano	2,54%
Depreciação linear do sistema em 25 anos	0,80%

### 5.2.2 - Resultados do cálculo dos indicadores econômicos

Na tabela a seguir são apresentados os valores de VPL, TIR e Payback descontado para os três cenários considerados.

- Cenário 1: Inflação da energia acompanhando os dados históricos apresentados sendo considerado o valor de 17% a.a.
- Cenário 2: Inflação da energia acompanhando a taxa Selic de 7,4% a.a.
- Cenário 3: Inflação da energia acompanhando o IPCA de 2,54% a.a.

Embora os principais fornecedores do mercado considerem a vida útil do sistema sendo superior a 30 anos as análises de VPL e TIR consideram 25 anos, referente a garantia de performance dos módulos fotovoltaicos.

Tabela 13 - Resultados do cálculo dos indicadores econômicos

Cenário	VPL	TIR (a.m.)	Payback (meses)
1	R\$ 838.819,31	2,33%	71
2	R\$ 153.924,26	1,66%	88
3	R\$ 91.831,05	1,30%	106

### 5.3 - Discussão da viabilidade

Tomando as seguintes condições como critérios de decisão para garantir a viabilidade do investimento:

1.  $VPL \geq 0$
2.  $TIR \geq 0,5966\%$

Podemos concluir então que o investimento é economicamente viável em todos os cenários estudados.



## 6 - Conclusão

Nesta monografia podemos identificar o real trabalho de engenharia presente no empreendimento de incluir uma micro-usina fotovoltaica no sistema de geração distribuída, assim como mensurar a viabilidade e retorno financeiro de tal investimento.

Grande parte das contribuições para que esse investimento venha a se mostrar economicamente viável vem de iniciativas recentes, como a Resolução Normativa nº482 publicada em 2015. A Resolução demonstra o campo normativo de atuação do(a) engenheiro(a) nem sempre explorado na academia, e também a exponencial queda de preço e conseqüente aumento da produção de módulos fotovoltaicos, alinhado com o esforço da pesquisa técnica e desenvolvimento das tecnologias de produção.

Pode-se, portanto, concluir que em todas as três perspectivas analisadas para o mercado de energia, o investimento em energia fotovoltaica no modelo de microgeração distribuída se mostrou viável para a Universidade. Podendo contribuir para o ambiente acadêmico não apenas como uma solução financeira, por representar uma solução energética mais barata, mas principalmente por servir como ponto de contato e laboratório para que os estudantes em formação tenham experiência neste tema, que de acordo com as tendências mundiais é uma realidade próxima e irá proporcionar alta empregabilidade.



## 7 - Referências Bibliográficas

- ANEEL. Avaliação dos Resultados da Resolução Normativa N0 482/2012 na Visão do Regulador, Brasília-DF, 2014.
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA N0 482/2012. 17 de abril de 2012.
- ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA N0 517/2012. 11 de dezembro de 2012.
- BACEN. Dados diários. Disponível em < <http://www.bcb.gov.br/htms/selic/selicdiarios.asp>> Acesso em novembro de 2017.
- BMF&Bovespa. Disponível em <<http://www.bmfbovespa.com.br/>> acesso em novembro de 2017.
- CRESESB. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. p. 289-290, 2014.
- DIEESE. Comportamento das tarifas de energia elétrica no Brasil. Nota técnica 147, agosto de 2015.
- EPIA. Global Market Outlook for photovoltaics until 2016. 2012.
- ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. Administração Financeira: Corporate Finance. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., p. 73-75, 129,131-132, 2007.
- Manual de Engenharia Fotovoltaica <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/> acessado em novembro de 2017.