

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Felipe Poletto Benvegnú**

**PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE  
MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTÁICA:  
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Porto Alegre  
Dezembro de 2018

**FELIPE POLETTO BENVENÚ**

**PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE  
MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTÁICA:  
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Igor Pasa Wiltuschnig**

Porto Alegre  
Dezembro 2018

**FELIPE POLETTO BENVENÚ**

**PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE  
MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA:  
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 7 de dezembro de 2018

Prof. Igor Pasa Wiltuschnig  
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientador

Profa. Luciani Somensi Lorenzi  
Dra. pela Universidade Federal do Rio grande do Sul  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Igor Pasa Wiltuschnig (UFRGS)**  
Me. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Prof. Sérgio Luiz Cardoso da Silva (UFRGS)**  
Eng. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Gladis Bordin (UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Vanderlei José Benvegnú e Rosane Poletto Benvegnú, pelo apoio incondicional, pela educação que me foi dada, pelo incentivo e por todo amor que recebi durante minha vida. Eles foram meus pilares, minha inspiração e meus maiores apoiadores durante esta jornada.

Agradeço ao Prof. Igor Pasa Wiltuschnig, orientador deste trabalho, pela atenção, disponibilidade e por todos conhecimentos repassados para a elaboração deste trabalho.

Agradeço às minhas irmãs e melhores amigas Bruna Poletto Benvegnú e Julia Poletto Benvegnú, pelo carinho, pelos momentos de alegria e companheirismo. Estarão eternamente em meu coração.

Não posso deixar de agradecer ao amigo da família, fiel companheiro Piter, que se fez presente em diversas madrugadas de estudo.

Por fim, gostaria de agradecer a minha namorada, Karina, por ter participado de todos os momentos dessa caminhada, dando força nos momentos difíceis e celebrando os bons. Sua participação foi fundamental em todos esses anos, sendo essencial para todos os meus sucessos.

## RESUMO

Devido ao aumento da população e o avanço tecnológico, a demanda por energia elétrica vem aumentando constantemente desde seu surgimento. Com a necessidade de altos investimentos e impactos ambientais, associados a instalação e operação da maior parte das usinas – provenientes de fontes não renováveis, faz-se necessário buscar novas alternativas para geração de energia. Nesse contexto, uma das opções é a utilização de energia solar, sendo que a tecnologia fotovoltaica é vista como um caminho ideal para a geração de energia inesgotável e não poluente. Atualmente os governos dos principais países do mundo estão incentivando a micro geração de energia através de sistemas fotovoltaicos em residências e comércios ligados diretamente a rede pública. Para tornar esse mecanismo viável é necessário o correto dimensionamento das instalações elétricas e do sistema solar, aprimorando a eficiência do sistema, tornando-o interessante economicamente para o proprietário da edificação e aliviando de maneira ecologicamente correta a matriz energética nacional. Este trabalho apresenta a elaboração de um projeto elétrico e o dimensionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede, seguindo as recomendações normativas, buscando um correto dimensionamento das instalações para que a utilização de energia elétrica seja segura e eficiente. Para o correto dimensionamento do sistema fotovoltaico foi analisado o consumo estimado no local, bem como as influências geográficas e de instalação, buscando a maior eficiência elétrica possível para que um investimento nesse tipo de tecnologia fosse viável no longo prazo.

Palavras-chave: NBR 16.274. NBR 5410. Projeto Elétrico.  
Projetos Fotovoltaico. Viabilidade Econômica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho .....	17
Figura 2 - Tarefas e atividades .....	21
Figura 3 - Fator de utilização – Luminária Taschibra TA71 .....	22
Figura 4 - Fator de manutenção por tipo de ambiente e vida útil .....	23
Figura 5 - Curva diária de demanda .....	26
Figura 6 – Circuitos de distribuição de uma instalação elétrica .....	28
Figura 7 – Circuitos de distribuição de uma instalação elétrica .....	28
Figura 8 – Setores de uma instalação elétrica .....	29
Figura 9 – Exemplo de projeto de instalação elétrica .....	33
Figura 10 – Componentes de entrada aérea de serviço .....	35
Figura 11 - Anexo J do RIC BT – Dimensionamento da entrada de serviço .....	36
Figura 12 – Identificação por cores dos condutores .....	37
Figura 13 – Disjuntor termomagnético em caixa moldada .....	50
Figura 14 - Curva de atuação de um disjuntor .....	50
Figura 15 – Exemplo de sistema de microgeração fotovoltaica ligada à rede pública ....	56
Figura 16 – Variação do ângulo de radiação que atinge os painéis ao longo do ano .....	58
Figura 17 – Efeito fotovoltaico: princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica	59
Figura 18 – Painel fotovoltaico policristalino de 265W .....	60
Figura 19 – Arranjo com inversor central .....	62
Figura 20 – Arranjo com inversor em fileira .....	62
Figura 21 – Arranjo com inversor de várias fileiras .....	63
Figura 22 – Cano monopolar de camada dupla .....	64
Figura 23 – Caixa de junção .....	65
Figura 24 – Diagrama unifilar de conexão de microgeração em baixa tensão .....	67
Figura 25 - Planta baixa do empreendimento .....	69
Figura 26 – Município escolhido para análise do sistema fotovoltaico .....	74
Figura 27 – Irradiação solar na localização estipulada .....	76
Figura 28 – Inversor PHB25K-DT .....	80
Figura 29 – Arranjo de uma das strings do sistema .....	82
Figura 30 – Painéis sobre cobertura de estacionamento .....	84
Figura 31 – Estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos .....	84
Figura 32 - Representação gráfica do VPL .....	89

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dimensionamento da entrada de serviço .....	26
Quadro 2 – Quadro de distribuição de cargas .....	31
Quadro 3 – Estimativa de consumo de energia mensal .....	75
Quadro 4 – Valores de irradiação solar média na localidade em função da inclinação ...	77
Quadro 5 – Potência total necessária do sistema fotovoltaico .....	78
Quadro 6 – Quantidade necessária de painéis .....	79
Quadro 7 – Especificações do inversor PHB25K-DT .....	80
Quadro 8 – Especificações do módulo fotovoltaico GCL-P6/72 .....	80
Quadro 9 – Parâmetros do arranjo escolhido .....	81
Quadro 10 – Condutores do lado de corrente contínua .....	83
Quadro 11 – Condutores do lado de corrente alternada .....	83
Quadro 12 – Dispositivos de proteção na caixa de junção .....	83
Quadro 13 – Dispositivos de proteção da <i>stringbox</i> .....	83
Quadro 14 – Custo total do sistema fotovoltaico .....	86
Quadro 15 – Estimativa de conta de luz .....	87
Quadro 16 – Valor presente líquido do projeto .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos materiais de isolamento .....	38
Tabela 2 – Método de referência para instalação das linhas elétricas .....	39
Tabela 3 – Seção mínima dos condutores de fase .....	40
Tabela 4 – Seção reduzida do condutor neutro .....	41
Tabela 5 – Seção reduzida dos condutores de proteção .....	42
Tabela 6 - Cálculo da corrente de projeto .....	43
Tabela 7 – Capacidade de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D .....	44
Tabela 8 – Ocupação máxima dos eletrodutos com isolamento de PVC .....	48

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BT – Baixa Tensão

CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica

IEC – International Electrotechnical Commission

IT – Instrução Técnica

MT – Média Tensão

NBR – Norma Brasileira

RIC BT – Regulamento de Instalações Consumidoras

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C - Graus Celsius

A – Ampère

$\cos \varphi$  – Fator de potência

FC – Fator de capacidade (%)

h – Horas

HSP – Horas de sol pleno (h)

I – Corrente elétrica (A)

$I'_p$  – Corrente de projeto corrigida

$I_p$  – Corrente de projeto

$I_{sc}$  – Corrente elétrica de curto circuito

km – Quilômetros

km<sup>2</sup> - Quilômetros quadrados

kVA – Quilovoltampere

kW – Quillowatt

m<sup>2</sup> – Metro quadrado

mm – Milímetros-

mm<sup>2</sup> - Milimetro quadrado

P – Potência elétrica (W)

$P_{inst}$  – Potência instalada

$P_n$  – Potência nominal

R\$ - Reais

V – Tensão elétrica (V)

$V_{oc}$  – Tensão de circuito aberto (V)

VA – Volt-ampère

W – Watt

$W_h$  – Watt-hora

$W_p$  – Watt-pico

$\eta$  – Rendimento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	15
2.2 OBJETIVO DO TRABALHO .....	15
2.2.1 Objetivo Principal .....	15
2.2.2 Objetivo Secundário .....	15
2.3 PRESSUPOSTO .....	16
2.4 DELIMITAÇÕES .....	16
2.5 LIMITAÇÕES .....	16
2.6 DELINEAMENTO .....	16
<b>3 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS</b> .....	18
3.1 CONCEITO DE PROJETO ELÉTRICO .....	18
3.1.1 Normatização .....	18
3.1.2 Etapas para elaboração de um projeto elétrico .....	19
3.2 PREVISÃO DE CARGA INSTALADA .....	20
3.2.1 Previsão de cargas de iluminação .....	20
3.2.2 Previsão de cargas de tomada .....	24
3.3 DEMANDA DE ENERGIA .....	25
3.3.1 Método do cálculo da demanda .....	26
3.4 DIVISÃO DA INSTALAÇÃO EM CIRCUITOS .....	27
3.4.1 Setores de uma instalação elétrica .....	28
3.4.2 Critérios para divisão da instalação em circuitos .....	29
3.4.3 Quadro de distribuição de cargas .....	30
3.4.4 Orientações para o traçado de tubulações e condutores .....	31
3.5 FORNECIMENTO DE ENERGIA .....	34
3.5.1 Componentes da entrada de serviço .....	34
3.5.2 Tipos de fornecimento de energia .....	35
3.6 CONDUTORES ELÉTRICOS .....	36
3.6.1 Condutores de instalações elétricas .....	37
3.6.2 Dimensionamento dos condutores dos circuitos .....	38
3.6.2.1 Seção mínima do condutor de fase .....	39
3.6.2.2 Seção mínima do condutor neutro .....	40
3.6.2.3 Seção mínima do condutor de proteção .....	41

3.6.2.4 Cálculo da corrente de projeto .....	42
3.6.2.5 Seleção da bitola do condutor .....	43
3.6.2.6 Fatores de correção e corrente corrigida .....	44
3.6.2.7 Queda de tensão .....	46
<b>3.7 ELETRODUTOS</b> .....	<b>46</b>
3.7.1 Taxa máxima de ocupação .....	47
3.7.2 Comprimento da linha elétrica .....	47
3.7.3 Dimensionamento dos eletrodutos .....	48
3.7.4 Caixas de derivação .....	48
<b>3.8 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO</b> .....	<b>49</b>
3.8.1 Proteção contra sobrecorrente .....	49
3.8.2 Dimensionamento dos disjuntores termomagnéticos .....	51
<b>3.9 ATERRAMENTO</b> .....	<b>52</b>
3.9.1 Esquemas de aterramento .....	53
3.9.2 Recomendações da concessionária para aterramento .....	54
<b>4 SISTEMA FOTOVOLTAICO</b> .....	<b>56</b>
4.1 <b>NORMATIZAÇÃO</b> .....	<b>56</b>
4.2 <b>PRINCIPAIS FATORES INFLUENTES</b> .....	<b>57</b>
4.3 <b>PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA</b> .....	<b>58</b>
4.3.1 Célula fotovoltaica .....	59
4.3.2 Placa fotovoltaica .....	59
4.3.3 Inversores .....	60
4.3.3.1 Inversor central .....	61
4.3.3.2 Inversor de fileira .....	62
4.3.3.3 Inversor de várias fileiras .....	63
4.4 <b>CABOS</b> .....	<b>63</b>
4.4.1 Cabos para trecho de corrente contínua .....	63
4.4.2 Cabos para trecho de corrente alternada .....	64
4.5 <b>DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO</b> .....	<b>64</b>
4.5.1 Aterramento .....	64
4.5.2 Caixa de junção .....	64
4.5.3 Fusíveis .....	65
4.5.4 Disjuntores .....	65
4.5.5 Proteção contra sobretensão .....	65
4.6 <b>MEDIDORES DE ENERGIA</b> .....	<b>66</b>

4.7 DEFINIÇÕES GERAIS DA CONCESSIONÁRIA .....	67
<b>5 PROJETO ELÉTRICO .....</b>	<b>68</b>
5.1 EDIFICAÇÃO .....	68
5.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA .....	70
5.2.1 Sistema elétrico .....	70
5.2.2 Carga e demanda .....	70
5.2.3 Entrada de energia .....	70
5.2.4 Medição de energia .....	70
5.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA .....	71
5.3.1 Quadro geral de baixa tensão .....	71
5.3.2 Identificação dos componentes .....	71
5.3.3 Centro de distribuição .....	72
5.3.4 Iluminação .....	72
5.3.5 Pontos de tomada .....	72
5.3.6 Circuitos .....	73
5.3.7 Eletrodutos .....	73
<b>6 SISTEMA FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>74</b>
6.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	74
6.2 CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADO .....	75
6.3 IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÕES DOS PAINÉIS .....	75
6.3.1 Rendimento dos painéis .....	77
6.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA .....	78
6.4.1 Potência necessária de geração .....	78
6.4.2 Módulo escolhido .....	78
6.4.3 Inversores .....	79
6.4.3.1 Número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira .....	79
6.4.4 Arranjo do sistema .....	81
6.4.5 Outros componentes .....	82
6.4.6 Estrutura de suporte .....	84
<b>7 ANÁLISE ECONÔMICA .....</b>	<b>85</b>
7.1 INDICADORES ECONOMICOS .....	85
7.1.1 <i>Payback</i> .....	85
7.1.2 Valor presente líquido .....	85
7.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE .....	86
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>90</b>

<b>REFERÊNCIAS</b> .....	92
APÊNDICE A – Memorial de cálculo do projeto elétrico .....	94
ANEXO A – Especificação técnica do módulo fotovoltaico GCL P6/72 de 330W .....	105
ANEXO B – Especificação técnica do inversor PHB20K-DT .....	107
ANEXO C – Especificação técnica do ar condicionado central Carrier 40MZB240 .....	109
ANEXO D – Projeto elétrico .....	111
ANEXO E – Localização e entrada de energia .....	113
ANEXO F – Projeto fotovoltaico .....	115
ANEXO G – Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico .....	117



## 1 INTRODUÇÃO

O impacto dos problemas ambientais causados pelo aumento da atividade econômica e industrial desde a revolução industrial ainda está em pauta. Depois de algumas décadas de hesitações, os governos das grandes potências mundiais estão mais do que nunca concentrados na resolução do problema do aquecimento global, unindo esforços para diminuir os efeitos secundários e negativos que a atividade humana tem no nosso planeta, buscando fontes renováveis e com visão de retornos a longo prazo. Neste contexto faz-se necessário buscar novas alternativas para geração de energia e uma destas alternativas é a utilização da energia solar visto que a radiação solar chega a nosso planeta de forma abundante e pode ser considerada uma fonte inesgotável.

A inserção da energia fotovoltaica como fonte de energia alternativa na matriz energética brasileira ganhou destaque considerável nos anos de 2011 e 2012. Um fato que contribuiu para isso foi chamado de projeto estratégico 013/2011 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) intitulada “Arranjos Técnicos e Comerciais para Inserção da Geração Solar Fotovoltaica na Matriz Energética Brasileira”, que visa facilitar a aplicação da geração solar fotovoltaica no país. O Brasil, se comparado ao continente europeu, apresenta praticamente o dobro de insolação média ao ano, com base nas informações divulgadas no Atlas Brasileiro de Energia Solar. Isso prova a grande capacidade que o país tem de gerar energia elétrica através da captação da radiação solar e, mesmo ainda com elevados custos de implantação, a energia fotovoltaica começa a ser inserida na produção nacional, como alternativa às fontes já existentes.

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, isso faz com que o sistema gere perdas na distribuição, aumentando os custos da produção da energia e causando danos às concessionárias e ao meio ambiente. No entanto, a geração distribuída, como a microgeração fotovoltaica, oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, uma vez que a disposição da unidade de geração é próxima da carga. Recentemente, os sistemas solares fotovoltaicos têm sido utilizados de forma integrada à rede elétrica pública. Estas instalações podem apresentar duas configurações distintas: instaladas de forma integrada à edificação (no telhado ou fachada) e, portanto, próximo ao ponto de consumo, ou de forma centralizada como

em uma usina geradora convencional, neste caso, distante do ponto de consumo. Cada vez mais os países desenvolvidos vêm utilizando este sistema, não somente para uso residencial, mas também em edificações comerciais e industriais, pois estas normalmente apresentam grandes áreas planas, que são bastante adequadas à integração de geradores fotovoltaicos.

Para que o sistema fotovoltaico seja atrativo é indispensável que se tenham instalações elétricas projetadas de maneira correta, e para isso é necessário que o projeto elétrico atenda as exigências da norma NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Esta norma estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétrica, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais e o funcionamento adequado da instalação. Com o intuito de maximizar a eficiência da instalação elétrica e obter o máximo proveito da geração solar é necessário a utilização eficaz dos aparelhos elétricos, o correto dimensionamento de ambos sistemas, bem como a compatibilização dos mesmos.

Será analisado a seguir as etapas de elaboração de um projeto elétrico comercial e o dimensionamento do sistema solar fotovoltaico anexado ao mesmo, analisando o investimento necessário e a atratividade na união de ambos recursos.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

A seguir são listadas as diretrizes utilizadas para elaboração deste Projeto de Pesquisa.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

Neste trabalho, a questão de pesquisa é: como se projeta uma instalação elétrica integrada a um sistema de geração de energia fotovoltaica ligada a rede elétrica? A instalação fotovoltaica é viável economicamente a longo prazo?

### **2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**

Os objetivos deste trabalho são apresentados a seguir, divididos em principal e secundários.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal deste trabalho é apresentar o estudo de dimensionamento de um sistema de microgeração de energia fotovoltaico integrado a uma edificação urbana e ligado à rede elétrica pública, com a inclusão de geração fotovoltaica nas etapas de projeto, avaliando a viabilidade econômica de sua instalação e operação.

#### **2.2.1 Objetivo secundário**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) avaliar o potencial de geração de energia fotovoltaica do empreendimento;
- b) avaliar os fatores geométricos que influenciam na geração de energia;
- c) realizar o projeto elétrico seguindo as diretrizes da NBR 5410, de modo que a instalação opere de acordo e com os requisitos de segurança necessários.

### 2.3 PRESSUPOSTO

O pressuposto do trabalho é que o investimento em sistemas de microgeração de energia fotovoltaicas em empreendimento com carga instalada de até 75 kW no Rio Grande do Sul é viável economicamente no prazo de 15 anos.

### 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo do projeto elétrico e ao dimensionamento de um sistema fotovoltaico de uma edificação urbana, bem como sua viabilidade econômica. Não será abordado no estudo a elaboração do projeto telefônico e nem o de proteções contra descargas atmosféricas.

### 2.4 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

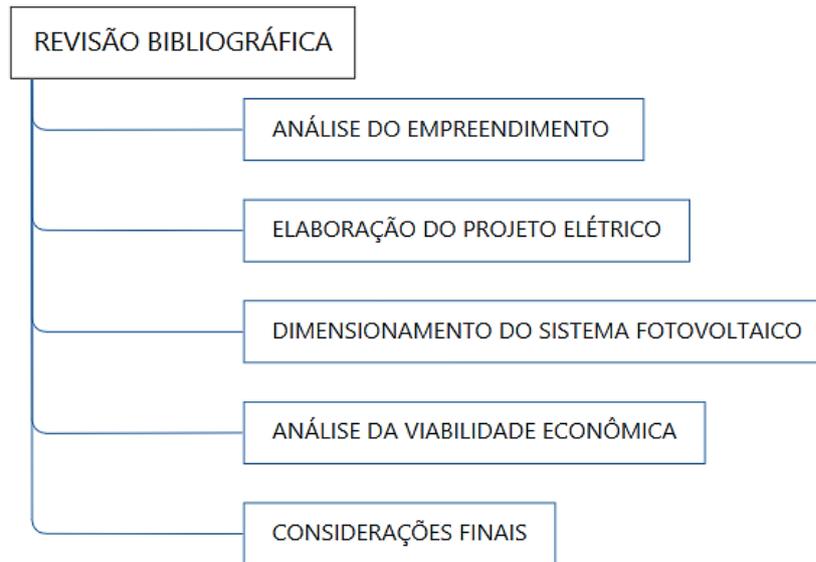
- a) utilizar as diretrizes do Regulamento de Instalações Consumidoras da CEEE, versão 1.5 de junho de 2018;
- b) seguir as recomendações abordadas na NBR 5410 para elaboração de projetos elétricos em baixa tensão;
- c) seguir as recomendações abordadas na NBR 16274 para o dimensionamento do sistema fotovoltaico conectado à rede;
- d) dimensionar e avaliar a viabilidade das instalações somente no caso de estudo.

### 2.4 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, as quais são representadas na figura 1 e descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) avaliação da edificação em estudo;
- c) elaboração do projeto elétrico;
- d) dimensionamento do sistema fotovoltaico ligado à rede elétrica;
- e) avaliação da viabilidade econômica do sistema;
- f) considerações finais;
- g) A sequência das etapas pode ser visualizada pelo diagrama esquematizado na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica foi realizada de maneira intensa no período inicial, e continuou ao longo de todo o trabalho. Foi utilizada uma vasta busca de literatura técnica, como teses, dissertações, trabalhos de conclusão, artigos científicos e livros, para através das informações ali obtidas desenvolver o embasamento teórico necessário para a realização do trabalho. A pesquisa será feita em duas fases: a primeira se refere ao detalhamento e elaboração de um projeto elétrico em baixa tensão; a segunda terá o enfoque no sistema de geração de energia fotovoltaica, seus componentes e suas especificações técnicas.

A seguir foi feita a avaliação do empreendimento a ser estudado. Neste estágio foi realizado a concepção geral do projeto, o local e a utilização da edificação, para que pudessem ser determinados os principais fatores influentes na rede elétrica e o potencial de geração de energia. Também foi avaliado o espaço físico para a instalação dos painéis solares bem como as políticas públicas de distribuição e geração de energia da região.

Definido as condicionantes do empreendimento, foi realizado o projeto elétrico da edificação, o dimensionamento do sistema fotovoltaico e a sua disposição no local, a ligação com a rede pública e a avaliação econômica da instalação e operação do sistema fotovoltaico.

Por fim, foram apresentadas as considerações finais sobre o trabalho desenvolvido.

## **3 INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

Este capítulo visa descrever o embasamento teórico sobre a elaboração de um projeto elétrico. Para a elaboração desse capítulo foram utilizados, em especial, as normas brasileiras relacionadas ao assunto, às quais serão detalhadas a seguir e livros como Projeto de Instalações Elétricas de Domingos Leite Lima Filho, 12ª edição de 2014 e Instalações Elétricas de Hélio Creder, 16ª edição de 2016.

Primeiramente são apresentados brevemente os passos fundamentais para a elaboração de um projeto elétrico de baixa tensão, bem como as normas que devem ser seguidas para o correto dimensionamento da instalação. Após, são apresentadas as principais considerações de projeto, como é a determinação dos principais componentes da instalação e como é feito seu dimensionamento.

### **3.1 CONCEITO DE PROJETO ELÉTRICO**

O projeto elétrico é a previsão escrita da instalação, com todo detalhamento, localização dos pontos de utilização da energia elétrica, comandos, trajeto dos condutores, divisão dos circuitos, seção dos condutores, dispositivos de manobra, carga de cada circuito, dentre outros. Ou seja, projetar uma instalação elétrica de um empreendimento consiste basicamente em quantificar e determinar os tipos e localização dos pontos de utilização de energia elétrica, dimensionar e definir o caminhamento de eletrodutos e condutores, a determinação do tipo e localização dos dispositivos de proteção, de comando e de medição de energia elétrica.

O objetivo de um projeto de instalações elétricas é garantir a transferência de energia desde uma fonte, em geral a rede de distribuição da concessionária, até os pontos de utilização do usuário. Para que isto se faça de maneira eficaz e segura é necessário que o projeto seja elaborado, observando as prescrições das diversas normas técnicas aplicáveis.

#### **3.1.1 Normatização**

A fim de facilitar a execução do projeto e identificação dos diversos pontos de utilização, são utilizados símbolos gráficos, no Brasil as normas até então referência foram canceladas e atualmente a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) recomenda que sejam seguidas as seguintes diretrizes da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC):

- IEC 60417 - Graphical symbols for use on equipment;
- IEC 60617 - Graphical symbols for diagram.

Para a elaboração de instalações elétricas de baixa tensão, o projeto deve obedecer a seguinte norma técnica:

- NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004): Instalações Elétricas de Baixa tensão.

A NBR 5410 é a principal e mais ampla norma para instalações elétricas em baixa tensão, porém sua última versão data de 2004. Desde então a referida norma recebeu poucas atualizações, sendo necessária uma ampla revisão para que possa se adequar de modo mais eficiente às instalações atuais.

Também o projetista deverá atentar para as normas da concessionária local em que será executado o projeto. No caso da região estudada neste trabalho, temos:

- Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D.

### **3.1.2 Etapas para a elaboração de um projeto de instalações elétricas**

Para a execução de um bom projeto as informações preliminares são de vital importância, pois nesta etapa o projetista obterá diversas fontes de informações necessárias para a concepção geral do projeto a ser desenvolvido. Através da planta de situação é analisado os acessos ao edifício e a entrada da rede de energia elétrica da concessionária, verificando o tipo de fornecimento, a localização da mesma e os possíveis pontos para o atendimento, possibilitando a liberação de carga suficiente para utilização. Também nos contatos preliminares, verifica-se o projeto estrutural, sanitário, de águas pluviais e de incêndio, para que sejam observadas as possíveis restrições e interferências com vigas, pilares e tubulações. Deve-se ter em mente que o projeto elétrico deve ser elaborado em harmonia com os demais.

Com os dados obtidos nas informações preliminares e de posse das normas técnicas para elaboração do projeto elétrico em baixa tensão, o projetista deve fazer um levantamento da previsão de cargas da instalação, quantidade de pontos de utilização e a potência nominal dos mesmos. Concluída a etapa de quantificação e tendo em mãos as normas técnicas da

concessionária local, é feito a determinação do padrão de atendimento, onde é definida a demanda do empreendimento, a categoria de atendimento e o modo como será fornecido o serviço pela concessionária local.

A etapa seguinte, compreende o dimensionamento de todos os componentes do projeto, calculado com base nos dados das etapas anteriores, nas normas técnicas e nas tabelas dos fabricantes. Também serão dimensionados os condutores, tubulações, dispositivos de proteção e quadros de distribuição.

A etapa final de elaboração do projeto, é a execução do memorial descritivo e o memorial de cálculo, onde são apresentados os cálculos das previsões de cargas e os demais dimensionamentos. Por fim, é feito a listagem dos materiais a serem empregados na execução do projeto, com as suas respectivas especificações e quantidades.

## **3.2 PREVISÃO DE CARGA INSTALADA**

A carga ou potência instalada em uma instalação elétrica é a soma das potências nominais de todos aparelhos que compõe sistema. Conforme descrito no item anterior, após a verificação das informações preliminares da futura instalação se procede para a previsão de cargas instaladas, cujo objetivo é a determinação de todos os pontos de utilização de energia elétrica que farão parte da instalação. Ao final da previsão de cargas, estarão definidas a potência, a quantidade e a localização de todos os pontos de consumo de energia elétrica na instalação. A NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) estabelece as condições mínimas que devem ser seguidas para a localização, quantificação e determinação dos pontos de iluminação e tomadas. A carga a se considerar para um equipamento de utilização é a sua potência nominal absorvida, dada pelo fabricante ou calculada a partir da tensão nominal, da corrente nominal e do fator de potência. Nos casos em que for dada a potência nominal fornecida pelo equipamento, e não a absorvida, devem ser considerados o rendimento e o fator de potência.

### **3.2.1 Previsão de cargas de iluminação**

Para a previsão de carga e de pontos de iluminação a NBR 5410 ressalta que para casos comerciais deve-se seguir as diretrizes impostas pela NBR 5413 – Iluminação de interiores

(ABNT, 1992), porém, essa norma foi cancelada em 2013, entrando em seu lugar a NBR ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho (ABNT, 2013).

A NBR 5413 especifica os requisitos de iluminação para locais de trabalho internos e os requisitos para que as pessoas desempenhem tarefas visuais de maneira eficiente, com conforto e segurança durante todo o período de trabalho. Ela estabelece, em regras gerais, os níveis de iluminância, ofuscamento máximo e qualidade da cor para grupos de ambientes e tarefas que devem ser seguidos. A figura 2 apresenta parte da tabela retirada da norma com as prescrições para ambientes de escritórios.

Figura 2 – Tarefas e atividades com a especificação de iluminância ( $\overline{E}_m$ ), ofuscamento ( $UGR_L$ ) e qualidade da cor ( $R_a$ )

Tipo de ambiente, tarefa ou atividade	$\overline{E}_m$ lux	$UGR_L$	$R_a$
<b>22. Escritórios</b>			
Arquivamento, cópia, circulação etc.	300	19	80
Escrever, teclar, ler, processar dados	500	19	80
Desenho técnico	750	16	80
Estações de projeto assistido por computador	500	19	80
Salas de reunião e conferência	500	19	80
Recepção	300	22	80
Arquivos	200	25	80

(fonte: adaptado do ASSOCIOANAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p.12)

Para que se atendam os valores impostos na NBR 5413, pode se utilizar diferentes métodos. No presente estudo será utilizado o método dos lúmens.

### 3.2.1.1 Método dos lúmens

Esse é o método mais utilizado para edificações, também é conhecido como método do fluxo luminoso. Baseia-se em determinar o fluxo luminoso necessário para determinado ambiente, a partir da escolha dos parâmetros de uma equação. Para se obter tais parâmetros deve-se escolher o tipo de atividade desenvolvida no local, as cores das paredes, do teto e por fim o conjunto de lâmpadas que será utilizado nesse local.

Inicialmente é calculado o índice do recinto, que é dado pelas equações que seguem.

- Iluminação direta:

$$K_{direta} = \frac{ab}{h(a+b)} \quad (1)$$

- Iluminação indireta:

$$K_{direta} = \frac{3(ab)}{2h'(a+b)} \quad (2)$$

Sendo:

K = índice do recinto, em metros;

a = comprimento do recinto, em metros;

b = largura do recinto, em metros;

h' = distância do teto ao plano de trabalho;

h = distância do teto ao plano de trabalho.

De posse do valor do índice do recinto, é determinada a luminária que será utilizada e então analisado de fator de utilização correspondente nas especificações técnicas do fabricante. O fator de utilização é apresentado na forma de tabela (figura 3) para cada luminária e depende da distribuição da luz, do rendimento da luminária, dos coeficientes de reflexão das superfícies internas (teto, paredes e piso) do ambiente e das dimensões do local.

Figura 3 – Fator de utilização – Luminária Taschibra TA71

TETO (%)		70		50		30		0	
PAREDE (%)	50	30	10	50	30	10	30	10	0
PISO (%)		10		10		10		0	
KR	FATOR DE UTILIZAÇÃO (X 0.01)								
0.60	32	28	26	31	28	26	28	26	25
0.80	38	34	31	37	34	31	33	31	30
1.00	42	39	36	41	38	36	38	36	35
1.25	46	43	40	45	42	40	42	40	39
1.50	48	46	44	48	45	43	45	43	42
2.00	52	60	48	51	49	48	49	47	46
2.50	54	53	51	53	52	50	51	50	49
3.00	56	54	53	55	53	52	53	52	50
4.00	57	56	55	56	55	54	54	54	52
5.00	58	57	56	57	56	55	55	55	53

(fonte: CATÁLOGO TASCHIBRA, 2017)

Devido a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada e do acúmulo de poeira no ambiente, deve se atentar também para o fator de manutenção. Desse modo, para evitar que o nível de iluminância atinja valores abaixo do mínimo recomendado é feito a compensação através desse fator. A NBR 5413 apresenta tabelas (figura 4) com o valor do fator de manutenção para cada tipo de luminária e ambiente.

Figura 4 – Fator de manutenção por tipo de ambiente e vida útil

Fator de manutenção	Exemplo
0,80	Ambiente muito limpo, ciclo de manutenção de um ano, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 1,00; FML = 0,90; FMSS = 0,96
0,67	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias direta e direta/indireta com uma pequena tendência de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,80; FMSS = 0,90
0,57	Carga de poluição normal no ambiente, ciclo de manutenção de três anos, 2.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 12.000 h, substituição individual, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,91; FSL = 1,00; FML = 0,74; FMSS = 0,83
0,50	Ambiente sujo, ciclo de manutenção de três anos, 8.000 h/ano de vida até a queima com substituição da lâmpada a cada 8.000 h, LLB, substituição em grupo, luminárias com uma tendência normal de coleta de poeira, FMFL = 0,93; FSL = 0,93; FML = 0,65; FMSS = 0,94

(fonte: adaptado do ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p.44)

Por fim, deve se utilizar os valores calculados e escolhidos anteriormente para que determinar a quantidade de luminárias que atinge o nível de iluminância desejado pelo cliente que atenda a NBR 5413. Desse modo, a determinação da quantidade de luminárias se dá por:

$$n = \frac{E_m A}{\varphi B F_d F_u} \quad (3)$$

Sendo:

$n$  = quantidade de luminárias;

$E_m$  = iluminância média exigida em norma, em lux;

$A$  = área do local, em metros quadrados;

$\varphi$  = fluxo luminoso das lâmpadas, em lúmens;

$B$  = fator luminoso do reator (apenas lâmpadas de descargas);

$F_u$  = fator de manutenção.

$F_d$  = fator de utilização.

### 3.2.1 Previsão de cargas de tomada

A previsão de pontos tomadas leva em conta dois tipos distintos de utilização, que são: tomada de uso geral e tomada de uso específico. A primeira é destinada à ligação de mais de um equipamento e aparelhos, cuja corrente não seja superior a 10A, a segunda é usada para alimentar equipamentos com corrente nominal superior a 10 A.

#### 3.2.1.1 Quantidades de pontos de tomadas de uso geral

Em instalações industriais e comerciais a referida norma não especifica critérios para a previsão de pontos de tomada e de carga. Logo, para que se estabeleça a previsão de forma eficaz, o projetista deve levar em conta a utilização que se fará no ambiente e a necessidade do cliente. Seguindo as recomendações de Domingos (2017), pode se estabelecer o seguinte critério:

- Escritórios comerciais (ou análogos) com área igual ou inferior a 40 m<sup>2</sup>: 1 tomada para cada 3 m, ou fração de perímetro; ou 1 tomada para cada 4 m<sup>2</sup>, ou fração de área (adotar o que conduzir ao maior número);
- Escritórios comerciais (ou análogos) com área superior a 40 m<sup>2</sup>: 1 tomada para os primeiros 40 m<sup>2</sup> e 1 tomada para cada 10 m<sup>2</sup>, ou fração, de área restante;
- Em lojas: 1 tomada para cada 30 m<sup>2</sup>, ou fração de área, não computadas as tomadas destinadas a vitrines e à demonstração de aparelhos;
- A potência das tomadas de uso geral em escritórios e lojas será 200 VA.

Para os demais casos a NBR 5410 estabelece:

- Em halls de serviço, salas de manutenção e salas de equipamentos, tais como casas de máquinas, salas de bombas, barriletes e locais análogos, deve ser previsto no mínimo um ponto de tomada de uso geral. Aos circuitos terminais respectivos deve ser atribuída uma potência de no mínimo 1000 VA;

- Os pontos de tomada destinados a alimentar mais de um equipamento devem ser providos com a quantidade adequada de tomadas.

#### 3.2.1.2 Tomadas de uso específico

De acordo com a norma supracitada, os pontos de tomada de uso específico devem ser localizados no máximo a 1,5 metros do ponto previsto para a localização do equipamento a ser alimentado, e deve ser a ele atribuída uma potência igual à potência nominal do aparelho. Quando valores precisos não forem conhecidos, a potência atribuída ao ponto de tomada deve seguir um dos dois seguintes critérios: a potência ou soma das potências dos equipamentos mais potentes que o ponto pode vir a alimentar; a potência deve ser calculada com base na corrente de projeto e na tensão do circuito respectivo.

### **3.3 DEMANDA DE ENERGIA**

Em uma instalação elétrica se a especificação da entrada de energia fosse feita pela carga instalada, haveria um superdimensionamento de todos os elementos que compõem a entrada de serviço. Para evitar esse superdimensionamento é calculada a demanda, com base em um método estatístico, que leva em conta diversos fatores estabelecidos pela concessionária local, para que se possa dimensionar os circuitos de distribuição de maneira eficiente.

De acordo com a Regulamentação de Instalações Consumidoras – CEEE, versão 1.5 de 2017, deve ser calculada a demanda para instalações consumidoras com carga instalada superior a 15 kW (220/127V) ou 25 kW (380/220V) e utilizar a tabela do Anexo J do RIC BT para o dimensionamento da entrada de serviço. O quadro do anexo J para fornecimento em 380/220V é apresentada abaixo.

Quadro 1 – Dimensionamento da entrada de serviço

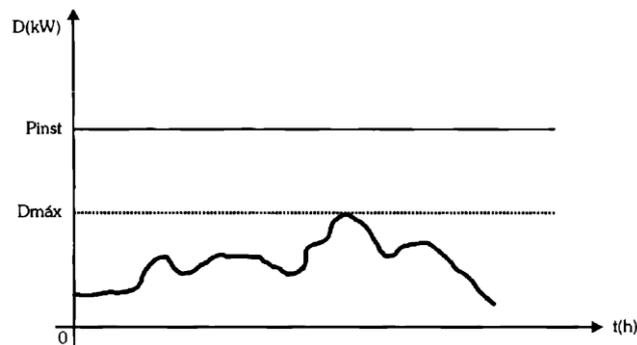
FORNECIMENTO		CARGA INSTALADA C (KW)	DEMANDA CALCULADA D (KVA)	TIPO DE MEDIÇÃO	PROTEÇÃO		CONDUTOR (mm <sup>2</sup> )				ELETRODUTO DN (mm)		LIMITE MÁXIMO DE POTÊNCIA							
TENSÃO (V)	TIPO				DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO (A)	RAMAL DE LIGAÇÃO		RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO	PROTEÇÃO	RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO PROTEÇÃO	MAIOR MOTOR OU SOLDA A MOTOR (CV)			CARGA INDIVIDUAL RESISTIVA (KW)				
						COBRE	ALUMÍNIO						COBRE ISOLADO		AÇO	PVC	FN	FF	FFF	FN
380/220	A2	$C \leq 15$	-	DIRETA	50	10	D-10	10	10	10	20	25	20	3	-	-	8,8	-		
	B2	$15 < C \leq 25$	-		50	10	T-10	10	10	10	20	25	20	3	5	-	8,8	-		
	C13	$C > 25$	Ver nota 9		$D \leq 32$	50	10	Q-10	10	10	10	25	32	20	3	5	25	8,8	-	
	C14				$32 < D \leq 46$	70	10	Q-16	25	10	16	32	40	20	5	10	30	-	-	
	C15				$46 < D \leq 66$	100	16	Q-25	35	10	16	32	40	20	7,5	12	40	-	-	
	C16				$66 < D \leq 82$	125	25	Q-35	50	16	25	40	50	25	7,5	12	50	-	-	
	C17				$82 < D \leq 99$	150	35	Q-50	70	25	35	50	60	25	7,5	15	50	-	-	
	C18				$99 < D \leq 132$	200	INDIRETA	RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO	200	120	35	70	65	75	40	7,5	20	50	-	-
	C19				$132 < D \leq 200$	300			240	70	120	100	100	50	7,5	20	50	-	-	
	C20				$200 < D \leq 300$	450			Ver nota 10	2x185	70	185	2x75	2x85	50	7,5	30	50	-	-

(fonte: adaptado do REGULAMENTO DE INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS, 2017, p. 75)

### 3.3.1 Método de cálculo da demanda

Em uma instalação elétrica a demanda é a potência elétrica absorvida dos equipamentos e aparelhos. Essa demanda é variável durante um intervalo de tempo e varia conforme a utilização do usuário. Como é extremamente improvável que a instalação utilize toda sua carga instalada em um único instante, é calculado a demanda máxima do consumidor, que é a maior de todas as demandas ocorridas em um dado período (uma semana, um dia, um mês). A figura a seguir representa a curva diária de demanda de um consumidor hipotético, demonstrando como é encontrado o maior valor de demanda, ou seja, demanda máxima consumida desse usuário nesse período.

Figura 5 – Curva diária de demanda



(fonte: DOMINGOS, 2017, p. 29)

De acordo com RIC BT (2017, p.17), a demanda da unidade consumidora pode ser calculada a partir da carga declarada compatibilizada com as previsões mínimas do anexo D (RIC BT) e deve também ser considerado os valores mínimos de potência para força motriz em salas e escritórios de 1 kVA/15m<sup>2</sup> de área construída quando não for previsto refrigeração central. De modo que o cálculo da demanda apresentado se dá através da seguinte expressão:

$$D(kVA) = (a + b + c + d + e + f) \quad (4)$$

Sendo:

a = demanda de iluminação e tomadas, calculada conforme anexo D;

b = Demanda dos aparelhos para aquecimento (chuveiros, aquecedores, fornos, fogões, etc.), calculada conforme ANEXO I;

c = Demanda dos aparelhos de condicionador de ar, tipo “janela”, calculada conforme ANEXOS E e F;

d = Demanda das unidades centrais de condicionadores de ar, calculadas a partir das respectivas correntes máximas totais (valores fornecidos pelos fabricantes), considerando o fator de demanda de 100%;

e = Demanda dos motores elétricos e máquinas de solda a motor, calculada conforme ANEXO G;

f = Demanda das máquinas de solda a transformador, aparelhos de eletro galvanização e de raios-X, calculada conforme ANEXO H.

Todos os anexos citados para o cálculo da demanda são encontrados no Regulamento de Instalações Consumidoras da CEEE-D, versão 1.5 de 2017.

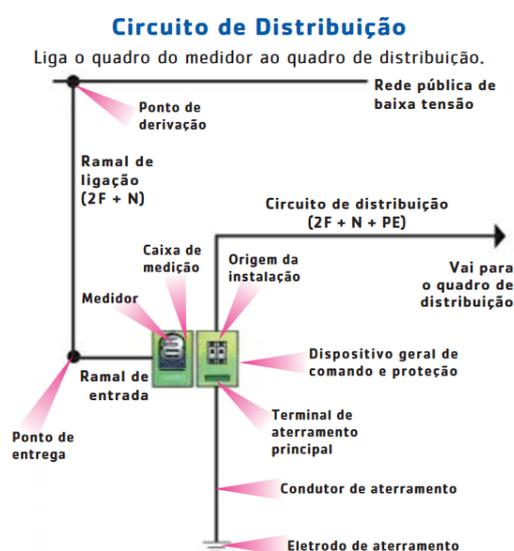
### **3.4 DIVISÃO DA INSTALAÇÃO EM CIRCUITOS**

Toda instalação deve ser dividida em circuitos de modo a limitar as consequências de uma falta elétrica, que assim provocará apenas o seccionamento do circuito defeituoso, também facilitar a manutenção dos componentes e possibilitar que sejam utilizados condutores de diâmetros menores.

### 3.4.1 Setores de uma instalação elétrica

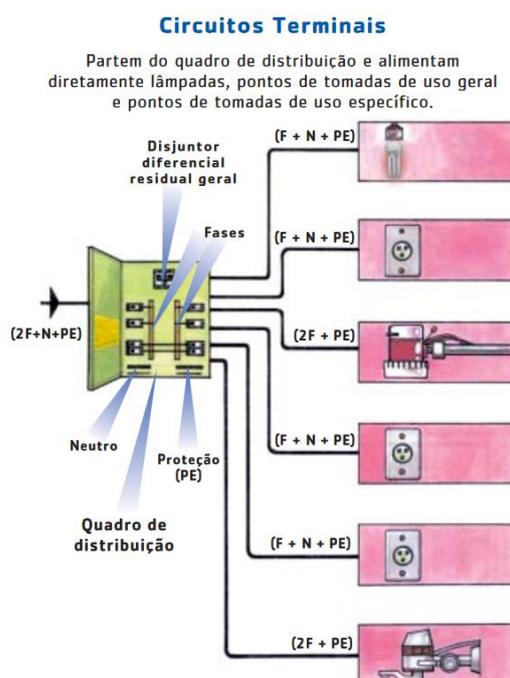
Em uma instalação elétrica, circuito elétrico é o conjunto de pontos de consumo, alimentados pelos mesmos condutores e ligados ao mesmo dispositivo de proteção. Ele pode ser dividido em circuito de distribuição e circuitos terminais. O circuito de distribuição liga o quadro do medidor de energia ao quadro de distribuição do sistema, os quais serão revisados a seguir. Já os circuitos terminais, partem dos quadros terminais e alimentam diretamente os aparelhos elétricos, como lâmpadas e tomadas. A NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004) adverte que a instalação deve ser dividida em tantos circuitos quantos necessários, devendo cada circuito ser concebido de forma a poder ser seccionado sem risco de realimentação inadvertida através de outro circuito.

Figura 6 – Circuitos de distribuição de uma instalação elétrica



(fonte: CESP/Pirelli - Instalações Elétricas Residenciais)

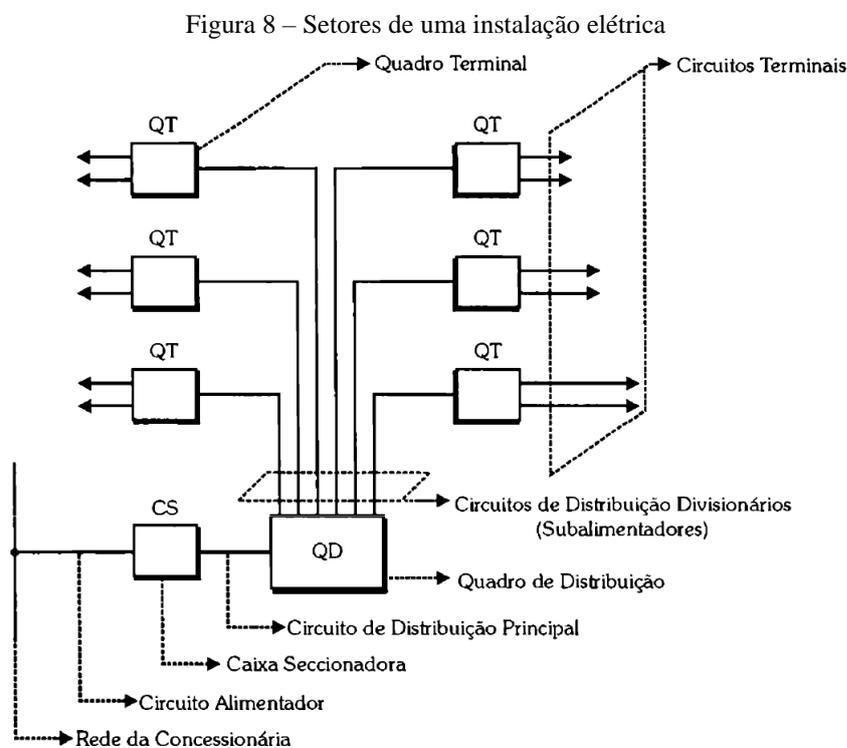
Figura 7 – Circuitos terminais de uma instalação elétrica



(fonte: CESP/Pirelli - Instalações Elétricas Residenciais)

O quadro de distribuição é o componente destinado a abrigar os dispositivos de proteção e de manobra que são ligados aos condutores a fim de distribuir a energia aos diversos circuitos que compõem o sistema. Nele encontram-se os disjuntores termomagnéticos e será visto com mais

detalhes no item 3.8. A figura 8 a seguir apresenta o desenho exemplificando os diversos setores de uma instalação elétrica.



(fonte: adaptado de DOMINGOS, 2017)

### 3.4.2 Critérios para divisão da instalação em circuitos

Como visto anteriormente, a divisão da instalação em circuitos facilita a manutenção e possibilita a utilização de condutores com seção menor, também, por motivos de segurança evita que uma falha em um determinado circuito comprometa a alimentação de toda uma área minimizando assim a paralização de grandes trechos da instalação. Isso é desejado, em especial, em circuitos terminais que terão assim um valor reduzido de queda de tensão e de corrente nominal. Desse modo, deve-se evitar projetar circuitos terminais muito carregados pois isto resulta em condutores de seção muito grande, o que dificultará a execução da instalação dos fios nos eletrodutos e as ligações dos mesmos aos terminais dos equipamentos de utilização.

A NBR 5410, para a divisão da instalação em circuitos apresenta os seguintes balizadores:

- Os circuitos terminais devem ser individualizados pela função dos equipamentos de utilização que alimentam. Em particular, devem ser previstos circuitos terminais distintos para pontos de iluminação e para pontos de tomada;
- Devem ser previstos circuitos independentes para as tomadas de uso geral da cozinha, copa e área de serviço;
- Quando a instalação comportar mais de uma alimentação (rede pública, geração local, etc.), a distribuição associada especificamente a cada uma delas deve ser disposta separadamente e de forma claramente diferenciada das demais;
- Em instalações com duas ou três fases, as cargas devem ser distribuídas uniformemente entre as fases de modo a obter-se o maior equilíbrio possível;
- Equipamentos que absorvam corrente igual ou superior a 10 A (como aquecedores de água, fogões e fornos elétricos, máquinas de lavar, aparelhos de aquecimento, aparelhos de ar-condicionado etc.) devem possuir circuitos independentes, sendo permitida a alimentação de mais de um aparelho do mesmo tipo através de um só circuito.

### **3.4.3 Quadro de distribuição de cargas**

Após a divisão da instalação em circuitos, para facilitar a obtenção de informações relativas às cargas dos circuitos terminais, elabora-se um quadro de distribuição de cargas (Quadro 2), o qual sintetizará todos os dados, tais como:

- a) número e tipo de circuito;
- b) tensão e queda de tensão;
- c) potência nominal;
- d) correntes: de projeto e corrigida;
- e) dimensionamento: condutores e equipamentos de proteção
- f) tipo do dispositivo de proteção e sua corrente nominal.

Quadro 2 – Quadro de distribuição de cargas

Circuito		Tensão (V)			Corrente (A)	Corrente Corrigida (A)	Seção de Condutores (mm <sup>2</sup> )	Proteção	
Nº	Tipo de Carga	Potência (VA)	Total (VA)	Queda de tensão (%)				Tipo	Corrente Nominal (A)
1									
2									
3									
4									
5									
<b>TOTAL</b>									

(fonte: elaborado pelo autor)

Será identificado na planta, ao lado de cada ponto de luz ou tomada, o número do respectivo circuito.

### 3.4.4 Orientações para o traçado de tubulações e dos condutores

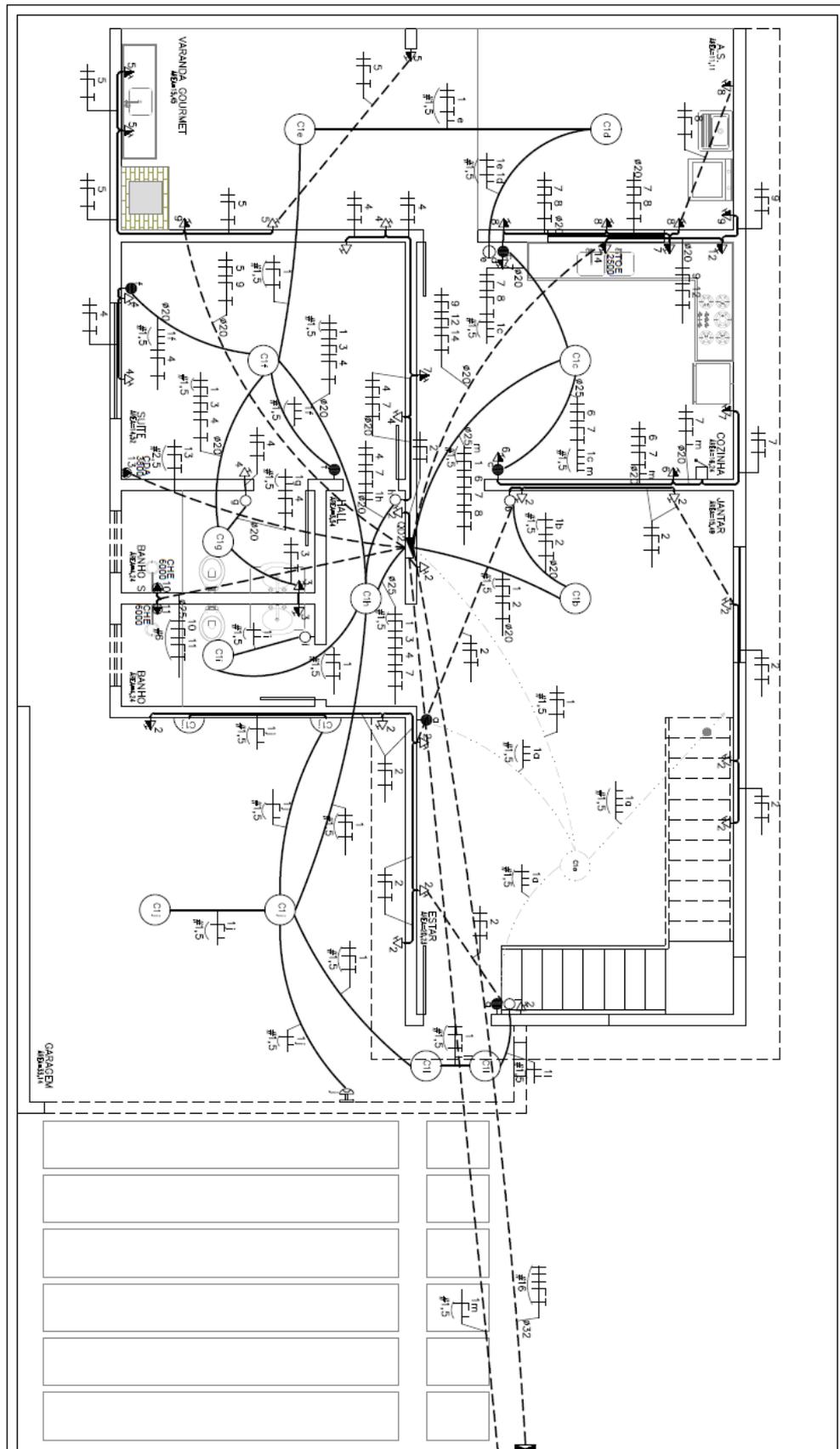
A próxima etapa será, de interligar os pontos, ou seja, representar o sistema de tubulação e fiação correspondente na planta da instalação.

Inicialmente deve se locar o quadro de distribuição no centro de carga do estabelecimento a partir dele se inicia o traçado das linhas elétricas, procurando os trajetos mais curtos e evitando, sempre que possível, o cruzamento com tubulações, vigas e outros. Para isso, ainda nas etapas iniciais da construção deve-se interligar os interruptores e tomadas ao ponto de luz de cada recinto, embutidos na parede. Deve se evitar que as caixas embutidas no teto estejam interligadas a mais de 6 eletrodutos e que as caixas retangulares embutidas nas paredes se conectem a mais de quatro eletrodutos, devido ao fato que muitas conexões podem causar uma grande ocupação nas caixas de derivação, dificultando a passagem de condutores (DOMINGOS, 2017). Também, deve se evitar que em cada trecho de eletroduto passe uma quantidade elevada de circuitos (limitar até um máximo de três ou quatro circuitos, preferencialmente), pois, do contrário, poderemos vir a ter diâmetros elevados para os eletrodutos, além da influência da seção nominal dos condutores, devido ao Fator de Correção de Agrupamento, que será vista com mais detalhes no item 3.4.3.6. Também deve se evitar uma quantidade elevada de condutores em um mesmo trecho de eletroduto para que não sejam

obstruídas as caixas de passagens. Em alguns casos, para atender o circuito de tomadas de baixas e médias alturas pode-se alternativamente, passar a tubulação embutida sob o piso.

Após o traço das tubulações na planta baixa é executada a representação da fiação cujo objetivo é apresentar os condutores que passam em cada trecho de eletroduto, utilizando a simbologia gráfica utilizada atualmente no Brasil, identificando assim os circuitos pertencentes aos condutores e suas seções nominais. Um exemplo que representa o esquema do caminhamento dos eletrodutos e fiação em planta pode ser visto na figura 9, a seguir.

Figura 9 – Exemplo de projeto de instalação elétrica.



(fonte: adaptado de DOMINGOS, 2017)

## **3.5 FORNECIMENTO DE ENERGIA**

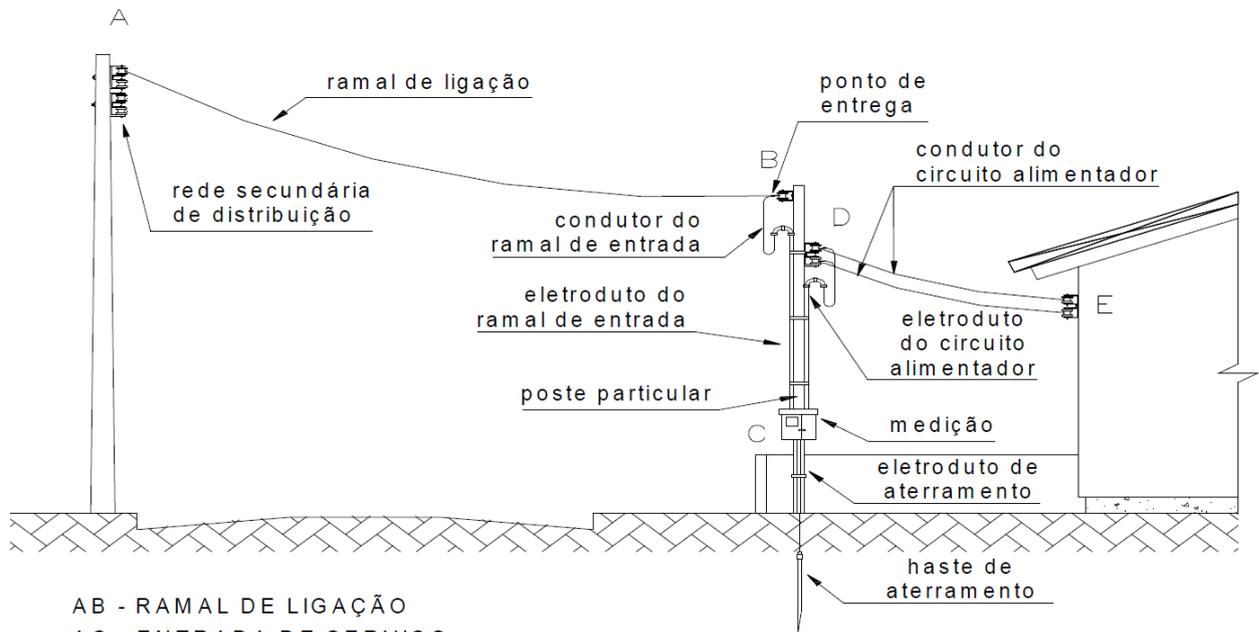
O fornecimento de energia elétrica é determinado em função das diretrizes estabelecidas pelas normas técnicas da concessionária local, onde encontra-se a unidade consumidora, e ela é função da potência instalada ou da demanda da unidade consumidora.

### **3.5.1 Componentes da entrada de serviço**

Será apresentado, a seguir, as principais definições que envolvem a entrada de serviço conforme os termos utilizados na norma estabelecida pela concessionária local (CEEE-D):

- Entrada de serviço: Conjunto de equipamentos, condutores e acessórios instalados desde o ponto de derivação da rede de distribuição da concessionária até a proteção e medição. A figura 6 apresenta a forma esquemática de distribuição aérea;
- Ponto de entrega: Ponto de conexão do sistema da concessionária com a instalação do consumidor, sendo que até este ponto a concessionária se obriga a fornecer energia elétrica e responsabiliza-se pela execução dos serviços, pela operação e pela manutenção;
- Ramal de ligação: Conjunto de condutores e acessórios instalados pela concessionária desde o ponto de derivação da rede pública até o ponto de entrega;
- Ramal de entrada: Conjunto de condutores e acessórios instalados desde o ponto de entrega até a caixa seccionada onde encontra-se a proteção geral;
- Caixa seccionadora: Caixa instalada dentro da propriedade do consumidor, na qual se aloja o disjuntor de proteção geral da instalação consumidora;
- Circuito alimentador: Continuação do ramal de entrada, constituído por condutores, eletrodutos e acessórios instalados a partir da proteção geral até a medição;
- Medição: Local onde estão instalados os medidores de energia e os disjuntores termomagnéticos.

Figura 10 – Componentes de entrada aérea de serviço



AB - RAMAL DE LIGAÇÃO  
 AC - ENTRADA DE SERVIÇO  
 BC - RAMAL DE ENTRADA  
 BCD - ENTRADA DE ENERGIA  
 CDE - CIRCUITO ALIMENTADOR

(fonte: REGULAMENTAÇÃO DAS INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS - CEEE, 2017, p. 123)

### 3.5.2 Tipos de fornecimento de energia

Para o presente estudo a concessionária responsável é a CEEE. Desse modo, será detalhado a seguir as exigências por ela estabelecidas para o fornecimento de energia. São três os tipos de fornecimento, conforme o número de fases:

- a) Tipo A – monofásico – dois condutores (uma fase e o neutro);
- b) Tipo B – bifásico – três condutores (duas fases e o neutro);
- c) Tipo C – trifásico – quatro condutores (três fases e o neutro).

Segundo o regulamento da concessionária, para fornecimentos do tipo A e tipo B, deve ser calculada a carga instalada de cada unidade consumidora, conforme Anexo C – Potência Média de Aparelhos, do RIC BT. Esta carga é o somatório das potências nominais dos aparelhos elétricos e das potências de iluminação declaradas. Feito isso é verificado no ANEXO J (RIC BT), os limites estabelecidos por faixa de carga instalada ou de demanda. Para fornecimento do tipo C, deve-se calcular a demanda da unidade consumidora, conforme visto anteriormente, e consultar o Anexo J (RIC BT), apresentado abaixo.

Figura 11 – Anexo J do RIC BT – Dimensionamento da entrada de serviço

FORNECIMENTO		CARGA INSTALADA C (KW)	DEMANDA CALCULADA D (KVA)	TIPO DE MEDIÇÃO	PROTEÇÃO		CONDUTOR (mm <sup>2</sup> )				ELETRODUTO DN (mm)		LIMITE MÁXIMO DE POTÊNCIA					
TENSÃO (V)	TIPO				DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO (A)	RAMAL DE LIGAÇÃO		RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO	PROTEÇÃO	RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO PROTEÇÃO	MAIOR MOTOR OU SOLDA A MOTOR (CV)			CARGA INDIVIDUAL RESISTIVA (KW)		
						COBRE	ALUMÍNIO						COBRE ISOLADO		AÇO	PVC		FN
220/127	A1	$C \leq 10$	-	DIRETA	50	10	D-10	10	10	10	20	25	20	1	-	-	5,4	-
	B1	$10 < C \leq 15$	-		50	10	T-10	10	10	10	20	25	20	2	3	-	5,4	8,8
	C1	C > 15 Ver nota 9	D < 19		50	10	Q-10	10	10	10	25	32	20	2	3	15	5,4	8,8
	C2		$19 < D \leq 27$		70	10	Q-16	25	10	16	32	40	20	2	5	20	7,5	13
	C3		$27 < D \leq 38$		100	16	Q-25	35	10	16	32	40	20	3	7,5	25		
	C4		$38 < D \leq 47$		125	25	Q-35	50	16	25	40	50	25	5	7,5	30		
	C5		$47 < D \leq 57$	150	35	Q-50	70	25	35	50	60	25	7,5	10	30			
	C6		$57 < D \leq 66$	175			95	25	50	50	60	32	7,5	12	30			
	C7	$66 < D \leq 76$	200		INDIRETA RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO	120	35	70	65	75	40	7,5	15	30				
	C8	$76 < D \leq 86$	225			150	50	95	100	100	40	7,5	15	30				
	C9	$86 < D \leq 95$	250			185	50	95	100	100	40	7,5	15	30				
	C10	$95 < D \leq 115$	300			240	70	120	100	100	50	7,5	20	30				
C11	$115 < D \leq 150$	400		Ver nota 10		2X150	50	150	2x65	2x75	50	7,5	25	30				
C12	$150 < D \leq 225$	600		Ver nota 10		2x300	70	300	2x85	2x100	75	7,5	30	30				
380/220	A2	$C \leq 15$	-	DIRETA	50	10	D-10	10	10	10	20	25	20	3	-	-	8,8	-
	B2	$15 < C \leq 25$	-		50	10	T-10	10	10	10	20	25	20	3	5	-	8,8	-
	C13	C > 25 Ver nota 9	D < 32		50	10	Q-10	10	10	10	25	32	20	3	5	25	8,8	-
	C14		$32 < D \leq 46$		70	10	Q-16	25	10	16	32	40	20	5	10	30		
	C15		$46 < D \leq 66$	100	16	Q-25	35	10	16	32	40	20	7,5	12	40			
	C16		$66 < D \leq 82$	125	25	Q-35	50	16	25	40	50	25	7,5	12	50			
	C17		$82 < D \leq 99$	150	35	Q-50	70	25	35	50	60	25	7,5	15	50			
	C18		$99 < D \leq 132$	200		INDIRETA RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO	120	35	70	65	75	40	7,5	20	50			
	C19	$132 < D \leq 200$	300		240		70	120	100	100	50	7,5	20	50				
	C20	$200 < D \leq 300$	450	Ver nota 10	2x185		70	185	2x75	2x85	50	7,5	30	50				

(fonte: REGULAMENTAÇÃO DAS INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS - CEEE, 2017, p. 75)

### 3.6 CONDUTORES ELÉTRICOS

Condutor elétrico é todo material que possui a propriedade de conduzir a energia elétrica ou transmitir sinais elétricos. Para que os condutores do circuito atendam às exigências estabelecidas é necessário dimensionar os mesmos, definindo sua seção mínima, de forma a garantir que os mesmos suportem satisfatoriamente e simultaneamente as condições de uso. Seja no atendimento do limite da temperatura de operação, de queda de tensão, na capacidade de proteção contra sobrecargas e condução da corrente de curto-circuito.

Os materiais utilizados nos condutores podem ser classificados como de elevada resistividade ou elevada condutividade. Materiais de elevada resistividade destinam-se às aplicações de transformação de energia elétrica em energia térmica e luminosa. Já materiais de elevada

condutividade destinam-se todas as aplicações em que a corrente elétrica deve circular com as menores perdas possíveis.

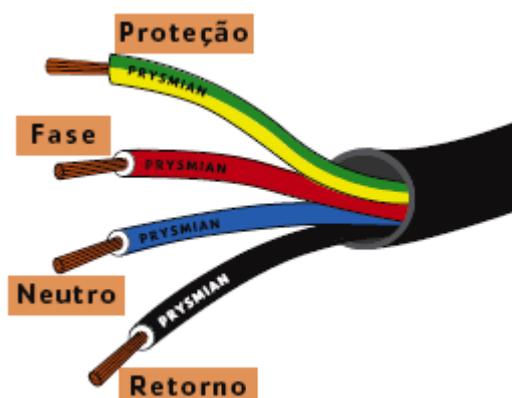
Dentre os materiais de elevada condutividade e que possuem maior diversidade de utilização na área elétrica podemos citar: cobre, chumbo, bronze e alumínio. A forma geométrica dos condutores em instalações de baixa tensão, em sua maioria é formado por um único fio de metal sólido, sendo sua construção limitada às seções menores que 16 mm<sup>2</sup>, denominados comercialmente de condutores rígidos.

Será visto a seguir, os tipos de condutores e os passos para o seu dimensionamento.

### 3.6.1 Condutores de instalações elétricas

A NBR 5410 prevê, no item 6.1.5.3, que os condutores de um circuito devem ser identificados, mas não especifica como deve ser feita sua identificação. Desse modo, é recomendado que o projetista identifique os condutores através de cores, conforme a figura 12, de forma a facilitar a instalação e aumentar a segurança caso seja necessária alguma manutenção posterior.

Figura 12 – Identificação por cores dos condutores



(fonte: catálogo Prysmian)

Os condutores, possuem uma capa de isolamento que tem por finalidade isolá-lo eletricamente do ambiente que o circunda, como por exemplo, de outros condutores, da terra e contra contatos acidentais. Serve também para proteger o condutor contra ações mecânicas, como no caso da enfição nos eletrodutos. Em instalações elétricas de um modo geral, são utilizados condutores com isolamento de PVC, um termoplástico que fica viscoso com o aumento da temperatura, EPR

e XLPE que são termofixos – sua rigidez não se altera com o aumento da temperatura. Para que seja atendido as especificações normativas, os cabos utilizados devem estar em conformidade com as seguintes normas:

- Cabos com isolamento de PVC, à ABNT NBR 7288;
- Cabos com isolamento de EPR, à ABNT NBR 7286;
- Cabos com isolamento de XLPE, à ABNT NBR 7287.

A tabela a seguir apresenta as principais características de cada material de isolamento.

Tabela 1 – Principais características dos materiais de isolamento

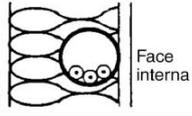
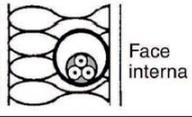
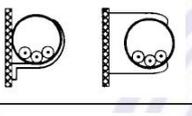
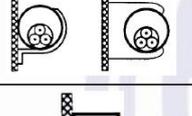
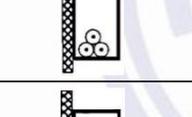
PVC	EPR/XLPE
Baixa propagação de chama Uso até 6 kV Gera fumaça e gases tóxicos Perdas dielétricas elevadas	Ótima flexibilidade Empregado em média e alta tensão Resistente a água e a agentes químicos Baixa perda dielétrica

(fonte: elaborado pelo autor)

### 3.6.1 Dimensionamento dos condutores dos circuitos

Antes da definição de como alimentar os pontos de tomadas e iluminação, é necessário que se estabeleça a forma como os condutores serão instalados e a sua seção mínima. A NBR 5410, através da tabela 33 (parcialmente mostrada abaixo), define os tipos de linhas elétricas utilizadas. Nela se verifica o método de referência correspondente ao tipo de linha elétrica utilizada na instalação do circuito. Após a escolha, calcula-se as seções mínimas e então é verificado a sua capacidade de corrente e se a queda de tensão está dentro dos limites estabelecidos.

Tabela 2 – Método de referência para instalação das linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência <sup>1)</sup>
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante <sup>2)</sup>	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante <sup>2)</sup>	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B2
5		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B1
6		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede	B2

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 90)

### 3.6.1.1 Seção mínima do condutor de fase

Segundo a NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), no item 6.2.6.1.1, a seção dos condutores de fase, em circuitos de corrente alternada, e dos condutores vivos, em circuitos de corrente contínua, não deve ser inferior ao valor pertinente dado na tabela 47 – Seção mínima dos condutores, da referida norma.

Tabela 3 – Seção mínima dos condutores de fase

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força <sup>2)</sup>	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu <sup>3)</sup>
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados	Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento	
	Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu <sup>4)</sup>	
	Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 113)

### 3.6.1.2 Seção mínima do condutor neutro

Caso exista no circuito o condutor neutro, o mesmo deve seguir as definições da NBR 5410:

- O condutor neutro não pode ser comum a mais de um circuito;
- O condutor neutro de um circuito monofásico deve ter a mesma seção do condutor de fase;
- Quando, num circuito trifásico com neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 15%, a seção do condutor neutro não deve ser inferior à dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se essa taxa não for superior a 33%;
- A seção do condutor neutro de um circuito com duas fases e neutro não deve ser inferior à seção dos condutores de fase, podendo ser igual à dos condutores de fase se a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos não for superior a 33%;
- Num circuito trifásico com neutro e cujos condutores de fase tenham uma seção superior a 25 mm<sup>2</sup>, a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores de fase, sem ser inferior aos valores indicados na tabela 48, quando as 3 condições seguintes forem simultaneamente atendidas:
  - a) circuito for presumivelmente equilibrado em serviço normal;

- b) a corrente das fases não contiver uma taxa de terceira harmônica e múltiplos superior a 15%;
- c) o condutor neutro for protegido contra sobrecorrentes.

Os valores da tabela 48, da referida norma, são aplicáveis quando os condutores de fase e o condutor neutro forem do mesmo metal

Tabela 4 – Seção reduzida do condutor neutro

Seção dos condutores de fase mm <sup>2</sup>	Seção reduzida do condutor neutro mm <sup>2</sup>
$S \leq 25$	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 115)

### 3.6.1.3 Seção mínima do condutor de proteção

Em um circuito terminal, o condutor de proteção liga as massas dos aparelhos, o terra das tomadas de corrente ao terminal de aterramento do quadro de distribuição da instalação. Seguindo novamente as diretrizes da NBR 5410, no item 6.4.3.1, temos:

- Todo circuito deve dispor de condutor de proteção, em toda sua extensão;
- A seção dos condutores de proteção não deve ser inferior ao valor determinado pela expressão seguinte, aplicável apenas para tempos de seccionamento que não excedam 5S:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad (5)$$

Sendo:

S = seção do condutor, em milímetros quadrados;

L = valor eficaz, em ampères, da corrente de falta presumida, considerando falta direta;

t = é o tempo de atuação do dispositivo de proteção responsável pelo seccionamento automático, em segundos;

k = é um fator que depende do material do condutor de proteção, de sua isolação e outras partes, e das temperaturas inicial e final do condutor.

b = Demanda dos motores elétricos e máquinas de solda a motor, calculada conforme ANEXO;

a = Demanda das máquinas de solda a transformador, aparelhos de eletro galvanização e de raios-X, calculada conforme ANEXO H.

- A seção do condutor de proteção, pode se utilizar a tabela abaixo, desde que o condutor de proteção seja do mesmo metal que os condutores de fase.

Tabela 5 – Seção reduzida dos condutores de proteção

Seção dos condutores de fase S mm <sup>2</sup>	Seção mínima do condutor de proteção correspondente mm <sup>2</sup>
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 150)

#### 3.6.1.4 Cálculo da corrente de projeto

Corrente de projeto é a corrente efetiva que se espera que exista nos condutores do circuito, levando-se em consideração as características nominais do mesmo. Ela é calculada por uma das equações da tabela a seguir:

Tabela 6 – Cálculo da corrente de projeto

Circuito monofásico	$I_p = \frac{P_n}{v \cdot \cos\varphi \cdot n}$
Circuito bifásico	$I_p = \frac{P_n}{V \cdot \cos\varphi \cdot n}$
Circuito trifásico	$I_p = \frac{P_n}{3 \cdot v \cdot \cos\varphi \cdot n}$
Circuito trifásico equilibrado	$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos\varphi \cdot n}$

(fonte: elaborado pelo autor)

Onde:

$I_p$  = corrente de projeto do circuito, em ampères;

$P_n$  = potência nominal do circuito, em watts;

$v$  = tensão entre fase e neutro, em volts;

$V$  = tensão entre fases, em volts;

$\cos\varphi$  = fator de potência;

$n$  = rendimento.

### 3.6.1.5 Seleção da seção do condutor

Para definir a seção do condutor é necessário que se saiba quantos condutores carregados percorrem o determinado circuito. Condutor carregado é aquele que efetivamente possui passagem de corrente. Nesse caso, é considerado o condutor de fase e neutro como condutores carregados, sendo o condutor de proteção não considerado como carregado. Após a definição dos condutores carregados, tipo de isolamento, maneira de como será instalar a linha elétrica e a calculado a corrente de projeto, deve ser determinada a bitola do condutor. Sua determinação é definida a partir das tabelas 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410, onde o projetista entra com as variáveis determinadas nos passos anteriores e encontra a área de seção transversal do respectivo condutor. Na sequência, segue exemplo parcial da tabela 36 da NBR 5410, onde se encontra a determinação da seção transversal de condutores de cobre com isolamento de PVC.

Tabela 7 – Capacidade de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Seções nominais mm <sup>2</sup>	Métodos de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Cobre												
0,5	7	7	7	7	9	8	9	8	10	9	12	10
0,75	9	9	9	9	11	10	11	10	13	11	15	12
1	11	10	11	10	14	12	13	12	15	14	18	15
1,5	14,5	13,5	14	13	17,5	15,5	16,5	15	19,5	17,5	22	18
2,5	19,5	18	18,5	17,5	24	21	23	20	27	24	29	24
4	26	24	25	23	32	28	30	27	36	32	38	31
6	34	31	32	29	41	36	38	34	46	41	47	39
10	46	42	43	39	57	50	52	46	63	57	63	52
16	61	56	57	52	76	68	69	62	85	76	81	67
25	80	73	75	68	101	89	90	80	112	96	104	86
35	99	89	92	83	125	110	111	99	138	119	125	103
50	119	108	110	99	151	134	133	118	168	144	148	122
70	151	136	139	125	192	171	168	149	213	184	183	151
95	182	164	167	150	232	207	201	179	258	223	216	179
120	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 101)

### 3.6.1.6 Fatores de correção e corrente corrigida

Há dois fatores de correção aplicáveis na etapa de dimensionamento dos condutores, um referente a correção de temperatura (FCT) e outro referente ao agrupamento dos condutores (FCA), os quais resultarão a um único fator de correção “k”.

Para correção de temperatura a NBR 5410, estabelece que para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para cabos não enterrados e de 20°C (temperatura do solo) para cabos enterrados, deve-se obter o fator “k<sub>1</sub>” da tabela 40 da referida norma.

Para agrupamentos de condutores, a norma estabelece que para 2 ou mais condutores carregados, obter o fator “k<sub>2</sub>” da tabela 42, 43, 44 ou 45 da referida norma.

Após a determinação dos fatores de correção, deve se corrigir a corrente do condutor pela seguinte expressão:

$$I'_p = \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} \quad (6)$$

Onde:

$I'_p$  = corrente de corrigida, em ampères;

$k_1$  = fator de correção de temperatura;

$k_2$  = fator de correção de agrupamento;

Com a correção da corrente, deve-se novamente procurar na respectiva tabela de dimensionamento a área corrigida de seção transversal do condutor.

### 3.6.1.7 Queda de tensão

Os efeitos de uma queda de tensão acentuada nos circuitos levarão os equipamentos a receber em seus terminais, uma tensão inferior aos valores nominais. Isto é prejudicial aos equipamentos, que além de não funcionarem a sua plena capacidade também podem ter sua vida útil reduzida.

Para que a queda de tensão provocada pela passagem da corrente elétrica nos condutores fique dentro de padrões razoáveis, a NBR 5410, estabelece que sejam feitos cálculos para verificar se o limite máximo é atendido.

A referida norma, no item 6.2.7 admite as seguintes variações:

- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s);
- 7%, calculados a partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado;
- 5%, calculados a partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição;
- 7%, calculados a partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio;
- Em nenhum caso a queda de tensão nos circuitos terminais pode ser superior a 4%.

O Regulamento de Instalações Consumidoras (RIC BT), além das variações impostas pela norma, estabelece que devem ser seguidos também os seguintes critérios.

- 2% para centro de medição alimentado diretamente por um ramal de baixa tensão, desde a rede de distribuição secundária da distribuidora até o disjuntor geral;
- 2% para centro de medição alimentado por subestação de transformação ou transformador, desde a derivação secundária destes, até o disjuntor geral do painel de medidor;
- 2% para mais de um centro de medição, a partir da derivação da rede de distribuição ou secundário do transformador até o disjuntor geral de cada centro.

E admite-se utilizar a seguinte fórmula para o cálculo da queda de tensão:

$$D_v(\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot l \cdot Z \cdot 100}{V_n} \quad (7)$$

Sendo:

$D_v$  = queda de tensão em %;

$V_n$  = tensão de linha do circuito em volts;

$I$  = corrente da carga, neste caso adotar corrente nominal do disjuntor em Ampère;

$l$  = comprimento do circuito em km;

$Z$  = impedância do condutor em W.

### 3.7 ELETRODUTOS

Eletroduto é o conduto que serve em uma instalação elétrica de invólucro para a passagem dos condutores do circuito. Sua principal função é proteger as fiações contra umidade, corrosões e agentes externos que possam prejudicar a instalação. Ele também exerce um papel importante ao fornecer proteção contra os perigos de incêndio resultantes de eventuais superaquecimentos dos condutores.

Eles podem ser de material metálico (mais utilizados são aço galvanizado e alumínio) e não metálicos como, PVC, polietileno e plástico com fibra de vidro. Também podendo ser rígido ou flexível, rosqueável ou soldável. Atualmente, os mais utilizados são os de PVC rígido roscáveis que apresentam bom desempenho e altos níveis de segurança.

As eletrocalhas são bandejas de metal fabricadas em chapas de aço por onde é possível passar fios e cabos de eletricidade, telefonia e informática. Sua principal finalidade é realizar toda a distribuição elétrica em alguns tipos de instalações, especialmente às comerciais e industriais. Há diferentes modelos de eletrocalhas, que podem ser fabricadas em chapas de aço de seção retangular, lisa ou perfurada, com ou sem tampa.

A NBR 5410 estabelece limites para comprimento, número de curvas por trecho e a ocupação máxima nas calhas e condutos, os quais serão vistos a seguir.

### **3.7.1 Taxa máxima de ocupação**

As dimensões internas dos eletrodutos e de suas conexões devem permitir que, após montagem da linha, os condutores possam ser instalados e retirados com facilidade. Para tanto a NBR 5410 estabelece:

- A taxa de ocupação do eletroduto, dada pelo quociente entre a soma das áreas das seções transversais dos condutores previstos, calculadas com base no diâmetro externo, e a área útil da seção transversal do eletroduto, não deve ser superior a:

- 53 % no caso de um condutor ou cabo;
- 31 % no caso de dois condutores ou cabos;
- 40 % no caso de três ou mais condutores ou cabos.

### **3.7.2 Comprimento da linha elétrica**

Com a mesma finalidade de facilitar a instalação e retirada dos condutores, a NBR 5410 também ressalta que os trechos contínuos de tubulação, sem interposição de caixas ou equipamentos, não devem exceder 15 m de comprimento para linhas internas às edificações e 30 m para as linhas em áreas externas às edificações, se os trechos forem retilíneos. Se os trechos incluírem curvas, o limite de 15 m e o de 30 m devem ser reduzidos em 3 m para cada curva de 90°. A norma, também, estabelece que em cada trecho de tubulação delimitado, de um lado e de outro, por caixa ou extremidade de linha, qualquer que seja essa combinação (caixa-caixa, caixa-extremidade ou extremidade-extremidade), podem ser instaladas no máximo três curvas de 90°

ou seu equivalente até no máximo 270°. Em nenhuma hipótese devem ser instaladas curvas com deflexão superior a 90°.

### 3.7.3 Dimensionamento dos eletrodutos

Para o dimensionamento, basta saber o número de condutores que irão passar pelo eletroduto e a maior seção nominal do condutor. Após isso, calcula-se qual será a seção ocupada e, respeitando as diretrizes expostas em 3.6.1 encontra-se através da tabela do fabricante o diâmetro do eletroduto que atende a exigência.

A tabela abaixo é apresentada pelo RIC BT como um modelo genérico para o dimensionamento dos eletrodutos com isolamento de PVC.

Tabela 8 – Ocupação máxima dos eletrodutos com isolamento de PVC

SEÇÃO NOMINAL (mm <sup>2</sup> )	NÚMERO DE CONDUTORES NO ELETRODUTO								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	DIÂMETRO NOMINAL DO ELETRODUTO (mm)								
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25
4	16	16	20	20	20	25	25	25	25
6	16	20	20	25	25	25	25	32	32
10	20	20	25	25	32	32	32	40	40
16	20	25	25	32	32	40	40	40	40
25	25	32	32	40	40	40	50	50	50
35	25	32	40	40	50	50	50	50	60
50	32	40	40	50	50	60	60	60	75
70	40	40	50	50	60	60	75	75	75
95	40	50	60	60	75	75	75	85	85
120	50	50	60	75	75	75	85	85	—
150	50	60	75	75	85	85	—	—	—
185	50	75	75	85	85	—	—	—	—
240	60	75	85	—	—	—	—	—	—

(fonte: REGULAMENTAÇÃO DAS INSTALAÇÕES CONSUMIDORAS - CEEE, 2017, p. 81)

### 3.7.4 Caixas de derivação

Caixas de derivação são os componentes de uma instalação elétrica que tem por função possibilitar a emenda dos condutores, a extensão do comprimento dos eletrodutos, facilitar a enfição e manutenção dos condutores e limitar o número de curvas entre os diversos trechos da tubulação. A NBR 5410 estabelece casos em que é necessária a utilização de caixas de derivação, podendo se destacar:

- Em todos os pontos da tubulação onde houver entrada ou saída de condutores, exceto nos pontos de transição de uma linha aberta para a linha em eletrodutos, os quais, nestes casos, devem ser rematados com buchas;
- Em todos os pontos de emenda ou de derivação de condutores;
- Sempre que for necessário segmentar a tubulação.
- A localização das caixas deve ser de modo a garantir que elas sejam facilmente acessíveis. Elas devem ser providas de tampas ou, caso alojem interruptores, tomadas de corrente e congêneres, fechadas com os espelhos que completam a instalação desses dispositivos. As caixas de saída para alimentação de equipamentos podem ser fechadas com as placas destinadas à fixação desses equipamentos;
- Os condutores devem formar trechos contínuos entre as caixas, não se admitindo emendas e derivações senão no interior das caixas. Condutores emendados ou cuja isolamento tenha sido danificada e recomposta com fita isolante ou outro material não devem ser enfiados em eletrodutos.

### **3.8 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO**

Para garantir a segurança da instalação elétrica a NBR 5410 estabelece prescrições fundamentais destinadas a garantir a segurança do usuário em decorrência de alguns danos que podem ocorrer sistema. A proteção da instalação está, principalmente, destinada contra choques elétricos, efeitos térmicos nos componentes, sobrecorrente e sobretensões. Sobrecorrente é o tipo de anomalia mais comum e ocorre quando a corrente elétrica excede o valor da corrente nominal no condutor. Ela pode ser originada por altas solicitações do circuito, acima das caracterizadas no projeto ou por um curto-circuito.

#### **3.8.2 Proteção contra sobrecorrente**

Disjuntor termomagnético é o dispositivo que garante a proteção contra sobrecorrente e curto circuito. Eles são ligados aos condutores de fase nos circuitos e tem como vantagem permitir o religamento sem necessidade de troca dos componentes. Eles são classificados pelo número de polos (polares e multipolares) e quanto a tensão de operação (de baixa tensão ou média e alta

tensão). Em instalações de baixa tensão os mais comuns de serem utilizados são os disjuntores termomagnéticos em caixa moldada (figura 9).

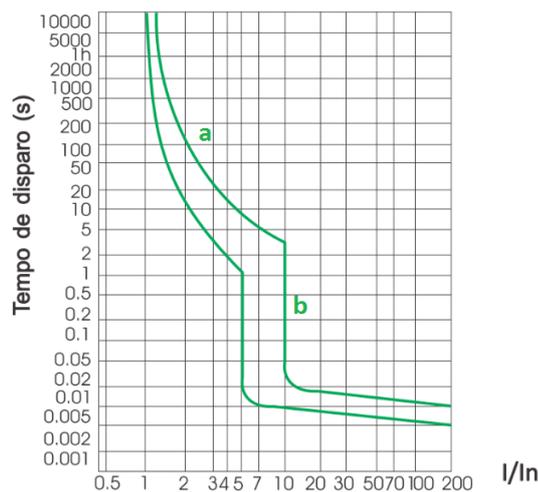
Figura 13 – Disjuntor termomagnético em caixa moldada



(fonte: ELETROMAR, CATÁLOGO 2017)

Esses dispositivos de proteção têm sua operação definida através de uma curva tempo x corrente, disponíveis nas especificações técnicas do fabricante, conforme apresentado na figura 14.

Figura 14 – Curva de atuação de um disjuntor.



(fonte: STECK, CATÁLOGO 2018)

Através dessa curva pode se determinar o tempo e o dispositivo de atuação do disjuntor para qualquer valor de corrente. Como pode ser visto na figura, o trecho “a” representa a faixa de atuação do relé térmico e no trecho “b” a faixa de atuação do relé eletromagnético, que atua para correntes acima de dez vezes a corrente nominal do disjuntor.

### 3.8.3 Dimensionamento dos disjuntores termomagnéticos

Conforme a NBR 5410 devem ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de sobrecarga nos condutores dos circuitos antes que esta possa provocar um aquecimento prejudicial à isolação, às ligações, aos terminais ou às vizinhanças das linhas. Também, a norma supracitada estabelece que deve haver uma coordenação entre as proteções contra curto circuito e contra sobrecorrente, de modo a evitar danos ao dispositivo. Para satisfazer essa condição a norma, apresenta as condições de operação que o disjuntor deve obedecer:

- a)  $I_B \leq I_n \leq I_z$  e;
- b)  $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$

Onde:

$I_B$  = corrente de projeto do circuito;

$I_z$  = capacidade de condução de corrente dos condutores, nas condições previstas para sua instalação;

$I_n$  = corrente nominal do dispositivo de proteção (ou corrente de ajuste, para dispositivos ajustáveis), nas condições previstas para sua instalação;

$I_2$  = corrente convencional de atuação, para disjuntores, ou corrente convencional de fusão, para fusíveis.

A NBR 5410 estabelece também que devam ser previstos dispositivos de proteção para interromper toda corrente de curto-circuito nos condutores dos circuitos, antes que os efeitos térmicos dessa corrente possam tornar-se perigosos aos condutores e suas ligações. Para que isso ocorra a corrente de ruptura do dispositivo de proteção ( $I_R$ ) deve ser maior que a corrente de curto circuito presumida ( $I_{cs}$ ) no ponto de sua instalação.

A norma também ressalta que a energia que passa pelo condutor em um intervalo de tempo, deve ser menor que a energia necessária para aquecer o mesmo a sua temperatura máxima de serviço contínuo, que pode ser indicado por:

$$\int_0^t i^2 \cdot dt \leq k^2 \cdot S^2 \quad (8)$$

Onde:

$\int_0^t i^2 \cdot dt$  = energia, em Joules, que o dispositivo de proteção deixa passar;

$k^2 \cdot S^2$  = energia, em Joules, capaz de elevar a temperatura do condutor a temperatura máxima para serviço contínuo. O valor de k é indicado na tabela 30 da respectiva norma e S é a seção do condutor, em milímetros quadrados.

Para curtos-circuitos de qualquer duração em que a assimetria da corrente não seja significativa, e para curtos-circuitos assimétricos de duração inferior a 5 segundos, a norma estabelece:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2 \quad (9)$$

Onde:

I = corrente de curto-circuito presumida simétrica, em ampères, valor eficaz;

t = duração do curto-circuito, em segundos.

### 3.9 ATERRAMENTO

As instalações elétricas estão sujeitas a serem utilizadas por uma infinidade de equipamentos diferentes, cada um com sua própria característica, sujeitas a falhas de isolamento de condutores ou então, com partes indevidamente energizadas. Para a segurança da instalação e do usuário o aterramento é a ligação do sistema com o plano terra. Essa ligação visa fornecer um meio alternativo, favorável e seguro, com baixíssima resistência para o percurso dessas correntes indesejáveis, protegendo assim os usuários e os aparelhos elétricos. Outro objetivo muito importante para o aterramento, mas que não será abordado no presente estudo, é propiciar um caminho de escoamento para a terra das descargas atmosféricas.

Um sistema de aterramento, basicamente, compreende os seguintes componentes:

- Terra: Superfície equipotencial, de potencial zero para as instalações elétricas;
- Eletrodo de aterramento: Condutor enterrado no solo e ligado a terra. Seus diferentes tipos são estabelecidos em norma.
- Condutor de proteção (PE): Condutor que liga as massas dos aparelhos e condutores não pertencentes a instalações elétrica ao terminal de aterramento.

- Condutor PEN: Condutor que faz a função do condutor de proteção e de neutro simultaneamente.

Os critérios para o correto dimensionamento do referido sistema podem ser encontrados nas normas:

- NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão;

- NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas, elaborada com base na IEC 1024.

### **3.9.1 Esquemas de aterramento**

A NBR 5410, para distribuição em baixa tensão, ressalta que o sistema de aterramento deve ser classificado em um dos seguintes esquemas: TN-S, TN-C, TN-C-S, TT e IT. No presente trabalho será utilizado somente o esquema TN-S.

Onde:

- Primeira letra – Situação da alimentação em relação à terra:

T: um ponto diretamente aterrado;

I: isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de Impedância;

- Segunda letra – Situação das massas da instalação elétrica em relação à terra:

T: massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação;

N: massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);

- Outras letras (eventuais) – Disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

S: funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;

C: funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

O sistema TN tem um ponto diretamente aterrado, no qual as massas são ligadas a este ponto através de um condutor de proteção. Já o sistema TT tem o ponto de alimentação da instalação diretamente aterrado, sendo as massas ligadas a eletrodos de aterramento independentes do eletrodo da alimentação. No sistema IT o ponto de alimentação não está diretamente aterrado, as massas estão aterradas diretamente.

### **3.9.2 Recomendações da concessionária para o aterramento**

A concessionária de energia elétrica destaca em sua regulamentação (RIC BT, 2017) que o eletrodo de aterramento pode ser do tipo cantoneira de aço zincado, haste de cobre, aço zincado ou aço revestido de cobre, com comprimento de 2000 mm ou 2400 mm. Permite-se usar outros tipos de eletrodo, desde que atenda as exigências da NBR 5410, conforme ANEXO A (RIC BT), e liberados pela distribuidora no momento da vistoria da entrada de energia.

O valor da resistência de aterramento não deve ser superior a 25 ohms, em qualquer época do ano. No caso de não ser atingido esse limite com eletrodo constituído de única haste, deve-se utilizar quantas forem necessárias, distanciadas dois metros, no mínimo, e interligadas através de condutor com seção mínima 16 mm<sup>2</sup>. Também é ressaltado que o condutor neutro e o condutor de proteção devem ser independentes, referenciados ao mesmo eletrodo de aterramento e permitir a utilização do sistema TN-S.

O condutor de aterramento deve ser de cobre, com isolamento para as tensões de 450/750V e atender as exigências da NBR 6148 e NBR 5410 tão curto e retilíneo quanto possível, sem emendas ou dispositivos que possam causar sua interrupção. O mesmo deve ser protegido por eletroduto de PVC rígido e para o seu dimensionamento deve ser consultado o ANEXO J (RIC BT).

O condutor neutro deve ter seção igual à dos condutores fase, ser contínuo e isento de dispositivo capaz de causar sua interrupção. O condutor neutro da entrada de energia deve ser aterrado num único eletrodo.

O condutor de proteção deve ser ligado diretamente no eletrodo de aterramento, independente do condutor neutro e disponibilizá-lo na caixa de medição e protegido mecanicamente por eletroduto em toda extensão. Para seção superior a 10mm<sup>2</sup> exige-se cabo com seção:

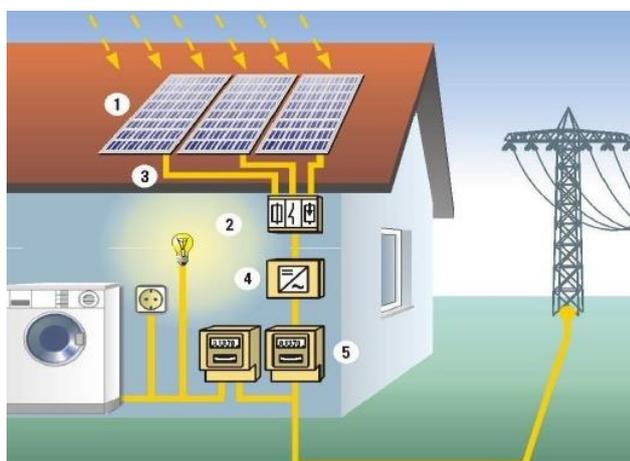
- Condutor neutro 6 a 10mm<sup>2</sup> - seção mínima igual ao neutro;
- Condutor neutro 16 a 35mm<sup>2</sup>- condutor mínimo 16mm<sup>2</sup>;
- Condutor neutro acima de 35mm<sup>2</sup> - seção mínima 50% do neutro.

## 4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema de energia solar fotovoltaica, é uma opção de geração de energia a partir da radiação solar que atinge a superfície da terra. Este método de conversão de energia apresenta grandes vantagens como sua extrema simplicidade, a inexistência de peças móveis, sua característica modular, os curtos prazos de instalação, o elevado grau de confiabilidade dos sistemas e sua baixa manutenção (RÜTHER, 2004). Além disso, a conversão fotovoltaica é silenciosa, não-poluente e utiliza uma fonte de energia renovável. Em sua maioria a energia produzida é entregue a instalação receptora, com essa suprindo suas demandas energéticas, lançando o excedente – caso haja, na rede elétrica pública. Esta é a principal diferença entre os dois tipos de sistemas: sistema ligados à rede e sistemas autônomos. Esses diferem-se quanto ao arranjo, finalidade e tipos de componentes que o integram.

No presente estudo será abordado somente o sistema de geração de energia conectado à rede elétrica. Neste capítulo serão analisadas suas principais características como: Normas brasileiras referentes à sistemas fotovoltaicos conectados à rede, principais fatores influentes, componentes utilizados, arranjos do sistema e tipos de ligação à rede pública.

Figura 15 – Exemplo de sistema de microgeração fotovoltaica ligada à rede pública



(fonte: Rinnovabile, Energia Solar Fotovoltaica, Disponível em [www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica](http://www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica))

### 4.1 NORMATIZAÇÃO

Desde 17 de abril de 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL Nº 482/2012 (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA), o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e, inclusive, fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro

e da mini geração distribuídas de energia elétrica. Há três principais diretrizes para aplicação do sistema solar fotovoltaico no Brasil, de forma a assegurar a correta ligação com a rede pública e procedimentos de ensaio de conformidade dos equipamentos. Para que se tenha o máximo de extração de energia, o mínimo de perdas e a devida segurança da instalação, bem como o correto padrão de qualidade para injetar energia na rede pública, deve se atentar para as seguintes normas e regulações:

- NBR 10899 - Energia solar fotovoltaica — Terminologia;
- NBR 16274 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho;
- NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição (2013);
- NBR 16150 - Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimentos de ensaio de conformidade (2013);
- Resolução Normativa N° 482 da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA) aprovada em 17 de abril de 2012;
- CEEE-D Instrução Técnica 81.081 - Acesso de Microgeração e Minigeração com Fontes Renováveis e Cogeração Qualificada ao Sistema de Distribuição.

#### 4.2 PRINCIPAIS FATORES INFLUENTES

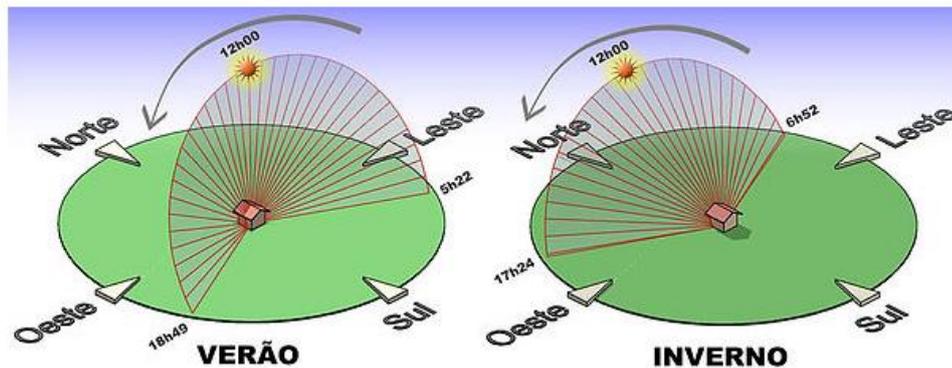
Dos fatores que mais influem na eficiência dos painéis solares pode-se destacar os efeitos da geometria entre o sol e a terra e as condicionantes meteorológicas.

Conhecer o ângulo de incidência dos raios solares com a placa solar é crucial para quantificar o potencial gerador da mesma. Para isso é importante atentar para os fatores geográficos onde a mesma será instalado como latitude e longitude, ângulo da inclinação da superfície em relação ao plano horizontal e a direção que será instalada as placas. Deve também se analisar a diferença de insolação na localidade durante as diferentes estações do ano, com insolações mais acentuadas no verão. De um modo geral, quanto mais próximo do equador, maior é a quantidade

de energia solar recebida e maior eficiência pode ser atingida na conversão. Outro fator importante para se atentar são as condicionantes meteorológicas da região, que dependendo da localização a radiação pode ser reduzida dado que apenas uma parte da quantidade total da radiação solar atinge a superfície terrestre pois a atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozônio, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição).

Assim, para que se consiga captar a máxima radiação solar que uma determinada localização possui deve-se orientar os painéis diretamente para o sol, de modo que os mesmos recebam os raios solares com ângulos normais às placas. Para isso, no caso do Brasil, o painel deve estar orientado para o Norte geográfico e, idealmente, o mesmo deve variar ao longo do ano, acompanhando o solstício de verão e de inverno, conforme exemplificado na figura 16.

Figura 16 – Variação do ângulo de radiação que atinge os painéis ao longo do ano



(fonte: Rinnovabile, Energia Solar Fotovoltaica, Disponível em [www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica](http://www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica))

### 4.3 COMPONENTES DO SISTEMA

Os componentes fundamentais de um sistema fotovoltaico ligados a rede pública são:

- Placa fotovoltaica: Responsáveis por transformar a energia solar em energia elétrica;
- Inversores: São responsáveis por transformar a corrente contínua gerada nos painéis em corrente alternada e sincronizá-la com a rede pública.
- Medidor bidirecional: Medidor de energia que quantifica quanto a instalação está consumindo ou injetando na rede.

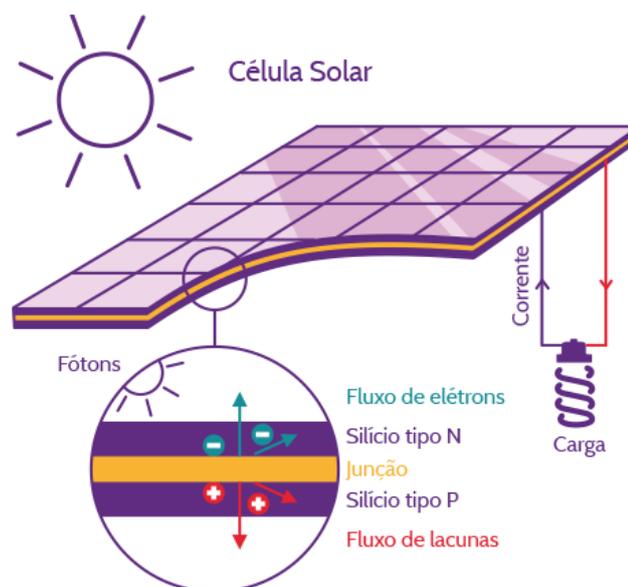
- Dispositivos de proteção: Responsáveis pela manutenção da segurança do sistema em caso de anomalias.

Nos próximos tópicos, os principais componentes de um sistema de microgeração de energia fotovoltaico serão apresentados, destacando-se as características técnicas de cada um, assim como a função que exercem no sistema.

#### 4.3.1 Célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é constituída por um material semicondutor, geralmente o silício, ao qual são adicionadas substâncias, como o Boro e o Fósforo, que são materiais dopantes, formando uma *junção pn*, onde de um lado ficam ligações positivas, e no outro, as cargas negativas, gerando assim um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de corrente. Quando um fóton incide com energia suficiente para excitar um elétron, surge uma corrente elétrica, esse processo para geração de energia em corrente contínua é chamado de Efeito Fotovoltaico. A figura 17 apresenta a representação esquemática do funcionamento da célula fotovoltaica.

Figura 17 – Efeito fotovoltaico: princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica



(fonte: Rinnovabile, Energia Solar Fotovoltaica, Disponível em [www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica](http://www.rinnovabile.com.br/energiafotovoltaica))

#### 4.3.2 Placa fotovoltaica

As placas fotovoltaicas (ou módulos fotovoltaicos) podem ser fabricadas com células de silício cristalino, monocristalino e filme fino. As células monocristalinas foram as primeiras a serem

elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal, por conta dessa característica, são os que possuem maior potência e preço mais elevado. Sua eficiência está entre os 13% e 17%. O módulo fabricado com silício policristalino, é constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano e, por isso mais barato, sendo os mais comuns atualmente. Sua eficiência fica entre 11% e 15%. Os módulos de filme fino são os que apresentam menor eficiência, pois são constituídos de silício amorfo, sua eficiência varia de 6% a 8%.

As placas são compostas por células associadas em séries e posicionadas de forma distribuída no módulo fotovoltaico, sendo constituídas para gerar de 1 até 300W<sub>p</sub> e constituem a parte produtora de energia do sistema.

Para que se possa dimensionar a quantidade de módulos necessários para uma instalação deve-se procurar no mercado as placas disponíveis e atentar para as especificações do fabricante. O ANEXO A exemplifica as especificações e as características construtivas que são de crucial importância para elaborar o projeto da instalação, sendo a partir dessas informações que é dimensionado todo o sistema.

Figura 18 – Módulo fotovoltaico policristalino de 330W



(fonte: adaptado de GCL-P6/72)

#### 4.4 INVERSORES

Como visto nos tópicos anteriores, os módulos fotovoltaicos convertem energia solar em energia elétrica, e neste caso, em corrente contínua. O inversor é o equipamento utilizado para

fazer a conversão da corrente contínua em corrente alternada, com as características exigidas pela concessionária de energia (PINHO; GALDINO, 2014). No mercado existem diversos modelos de inversores para diversos tipos de utilização com a geração de energia fotovoltaica, porém, no presente estudo será analisado somente inversores sincronizados com a rede elétrica pública, chamados de inversores *grid-tie*. Esse inversor transfere a energia produzida diretamente ao quadro de distribuição de força do local para ser utilizada pela instalação ou injetado na rede.

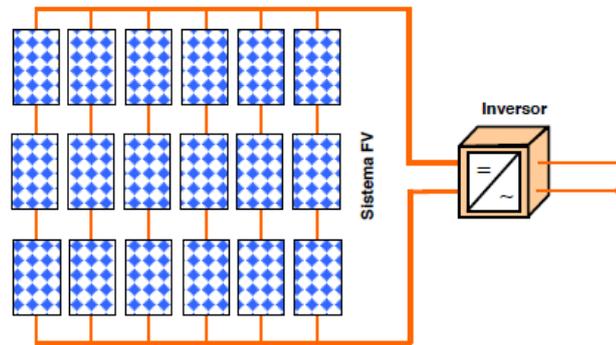
De acordo com o Pinho e Galdino (2014), os principais critérios para a avaliação no dimensionamento dos inversores são sua forma de onda, eficiência de conversão e a potência consumida. A forma de onda indica a qualidade e o custo do equipamento que é influenciada pelo método de conversão do aparelho, que dependendo da filtragem elimina harmônicos indesejáveis. A eficiência em conversão depende, principalmente, da carga demandada. Sendo assim, deve-se ter cuidado na escolha de inversores, para os casos de demanda muito variável, pois a eficiência cai drasticamente quando o inversor opera fora da carga nominal. Para casos de demanda sem grandes variações, o bom dimensionamento de consumo é suficiente para garantir a eficiência do inversor.

Num sistema solar fotovoltaico ligado à rede podem ser utilizados diferentes tipos de inversores, dependendo da configuração do painel fotovoltaico, pode se utilizar um inversor central, inversores em fileiras e inversor de várias fileiras. Mais comumente, os painéis solares fotovoltaicos são ligados a um único inversor central, porém, se o sistema possui uma potência muito elevada ou possui várias partes em locais distintos, pode se utilizar vários inversores. Nas subsecções seguintes é apresentada uma breve descrição de cada uma destas configurações.

#### 4.4.1 Inversor central

Neste tipo de configuração a associação dos módulos fotovoltaicos estão conectadas a um único inversor, conforme a figura 19. A vantagem desta configuração é que os inversores centrais oferecem uma alta eficiência e baixo custo. Porém a sua utilização deve ocorrer com módulos fotovoltaicos com as mesmas características, pois módulos com características diferentes reduzem o aproveitamento do gerador.

Figura 19 – Arranjo com inversor central

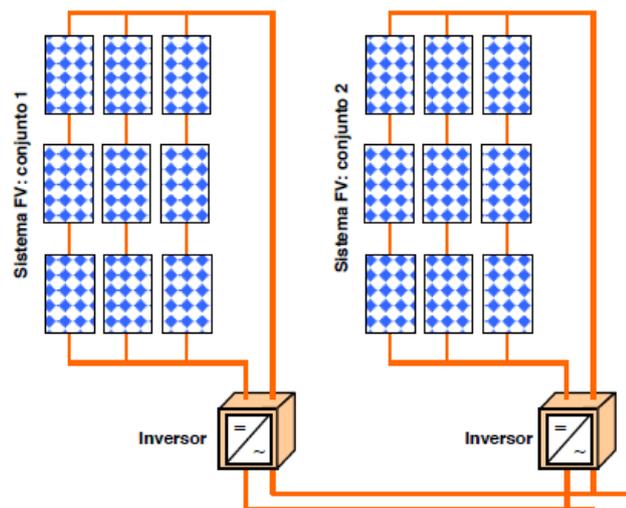


(fonte: CARNEIRO, 2009, p. 8)

#### 4.4.2 Inversor em fileira

Em sistemas fotovoltaicos de grandes dimensões, com o sistema em configuração mais afastada, pode se optar pela instalação de um inversor para cada grupo de módulos fotovoltaicos (fileiras), de modo a permitir uma melhor operação no ponto de máxima potência de cada inversor. Essa técnica reduz as perdas ocasionadas por sombreamento ou por ligações defeituosas. A figura 20 representa o arranjo do sistema com inversores em fileiras.

Figura 20 – Arranjo com inversor em fileiras

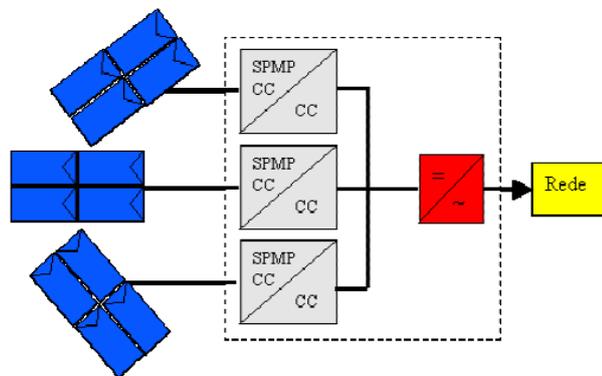


(fonte: CARNEIRO, 2009, p. 8)

#### 4.4.3 Inversor de várias fileiras

O inversor de várias fileiras combina os dois conceitos anteriores. Nesta configuração cada fileira de módulos fotovoltaicos possui um conversor de corrente contínua em corrente contínua conectadas a um único inversor central (figura 21). Esse tipo de arranjo permite que seja seguido o ponto de máxima potência de cada fileira de forma individual, através do conversor, permitindo assim que se tenha a vantagem de ambos arranjos – inversor central e de fileiras.

Figura 21 – Arranjo com inversor de várias fileiras



(fonte: CARNEIRO, 2009, p. 8)

#### 4.5 CABOS

A escolha dos cabos no sistema fotovoltaico deve ser feita separadamente. São estabelecidos critérios diferentes para o lado de corrente contínua do sistema e para o lado de corrente alternada. Seu dimensionamento segue as mesmas definições vistas no capítulo 3 conforme estabelecido pela NBR 5410. Nos próximos itens serão abordados os principais tipos de cabos utilizados.

##### 4.5.1 Cabos para trecho de corrente contínua

Os cabos das fileiras são os que conectam os módulos fotovoltaicos individuais a caixa de junção, sendo então conectados ao lado de corrente contínua do inversor. Esses cabos são destinados ao uso externo e tem como características uma maior resistência dos raios solares e das diferentes condições climáticas. É altamente recomendado que se utilize cabos monocondutores com dupla camada de isolamento, conforme figura 16. Pode-se também utilizar cabos padrões para instalações elétricas, desde que se utilize eletrodutos apropriados, evitando

problemas relacionados aos raios solares e ao clima. Seu dimensionamento é feito com base nos conceitos abordados no item 3.6

Figura 22 – Cano monopolar de camada dupla



(fonte: catálogo Prysmian, 2017)

#### 4.5.1 Cabos para trecho de corrente alternada

Os cabos que ligam o inversor à rede pública são dimensionados conforme visto no capítulo anterior (item 3.6), devendo ser protegidos por eletrodutos em toda sua extensão.

### 4.6 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Serão detalhados a seguir o conjunto dos dispositivos de proteção da central geradora conforme as definições da NBR 5410 e do RIC BT.

#### 4.6.1 Aterramento

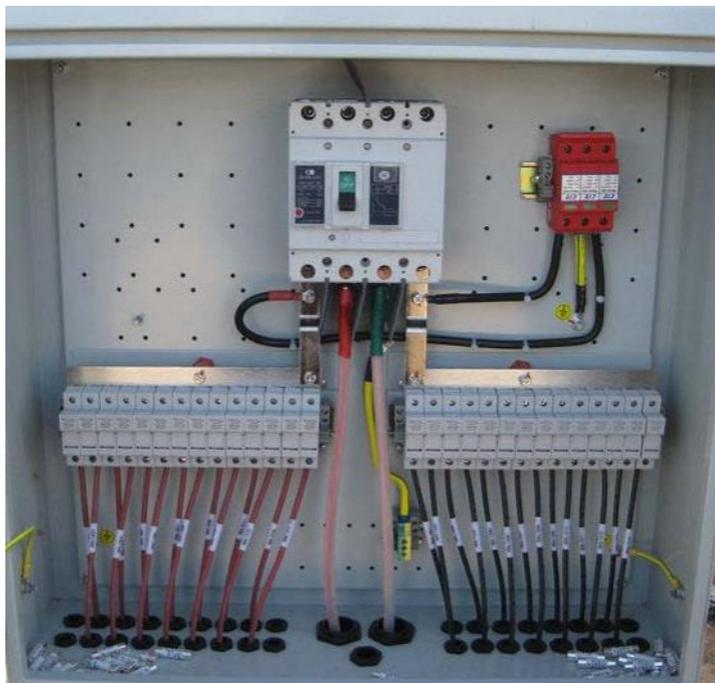
Para a proteção do trecho de corrente contínua, deve ser feito aterramento das partes metálicas dos painéis. Seu aterramento deve ser feito utilizando um condutor apropriado, conforme visto no capítulo 3 e sendo conectado à malha de aterramento da instalação.

#### 4.6.2 Caixa de junção

A caixa de junção (figura 23) tem o propósito de agrupar todos os cabos provenientes das placas fotovoltaicas possibilitando que as mesmas sejam conectadas entre si. Na caixa são alojados os

dispositivos de interrupção de corrente, fusíveis das fileiras e dispositivo de proteção contra surtos, os quais serão vistos a seguir.

Figura 23 – Caixa de junção



(fonte: Pintrest)

#### 4.6.3 Fusíveis

São utilizados fusíveis em todos os condutores ativos para proteger os módulos e os cabos das fileiras contra sobrecargas e para que seja limitada a corrente de curto circuito.

#### 4.6.4 Disjuntores

São dispositivos que atuam na proteção contra sobrecorrentes tanto no lado de corrente contínua quando no lado de corrente alternada. Quando ocorre um curto-circuito ou sobrecarga, eles atuam, automaticamente, isolando o circuito. São dimensionados conforme visto no item 3.8.2. O disjuntor de proteção para o trecho de corrente contínua é instalado na caixa de junção enquanto o do lado de corrente alternada pode já vir incluso no inversor (dependendo do modelo) ou ser instalado no quadro de distribuição da instalação.

#### 4.6.5 Proteção contra sobretensões

Para a proteção contra sobretensões induzidas por descargas atmosféricas deve ser utilizado um dispositivo DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surtos). Ele é utilizado para proteger o lado de corrente contínua. Para instalações fotovoltaicas os mesmos devem estar em conformidade com a norma IEC 60664-1 e NBR IEC 61643-1:2007.

#### 4.7 MEDIDOR DE ENERGIA

Os medidores de energia são responsáveis por quantificar a energia que está sendo produzida no sistema, quanto a instalação está consumindo e quanto está sendo injetado na rede. São utilizados pela concessionária CEEE-D em instalações com microgeração de energia os medidores de quatro quadrantes. Esse medidor tem como característica computar a energia final, isto é, a energia consumida menos a energia excedente, permitindo a instalação aderir ao sistema de compensação (conhecido como Netering). Para seguir o sistema de compensação, o consumidor deve seguir as recomendações expostas na Resolução Normativa 482 (ANEEL, 2012), que estabelece:

O consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

#### 4.8 DEFINIÇÕES DA CONCESSIONÁRIA

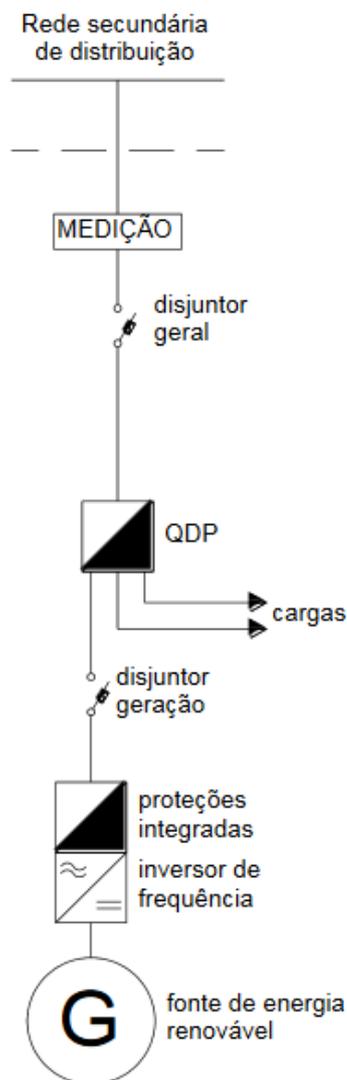
As principais diretrizes da Instrução Técnica (IT - 81.081) da concessionária para um sistema de geração distribuída que podem ser destacados são:

- Quadro de distribuição específico para a central geradora, que contém seus dispositivos de proteção;
- O DSV (Dispositivo de Seccionamento Visível) é dispensado em sistema de microgeração conectada ao sistema de distribuição através de inversor de frequência. É obrigatório nos demais casos;
- A conexão de geração através da rede de baixa tensão da CEEE-D é limitada para microgeração distribuída até 75 kW de capacidade instalada;

- A central geradora deve estar conectada ao sistema de aterramento da unidade consumidora, atendendo aos requisitos do RIC BT.

Também é apresentado na referida instrução técnica o diagrama unifilar de conexão do sistema com a rede elétrica pública, conforme pode ser visto na figura 24.

Figura 24 – Diagrama unifilar de conexão de microgeração em baixa tensão



(fonte: CEEE-D IT-81.081, 2014)

## 5 PROJETO ELÉTRICO

O presente capítulo tem por finalidade detalhar o projeto elétrico de uma edificação com base nas revisões bibliográficas vistas no capítulo 2, seguindo as diretrizes impostas pelas normas já citadas e pelas definições da concessionária de energia que atende o local. Será elaborado nos itens subsequentes o projeto elétrico da edificação, quantificando os pontos de tomada necessárias, pontos de iluminação e suas respectivas cargas. Também será determinado o sistema elétrico utilizado, a carga e a demanda da instalação, detalhamento de entrada de energia, condutores, dispositivos de proteção, circuitos de alimentação e eletrodutos.

### 5.1 EDIFICAÇÃO

A planta do empreendimento utilizado para elaboração do projeto elétrico foi cedida pela empresa Solka Engenharia. O projeto arquitetônico, apresentado na figura 25, pode ser utilizado para fins governamentais e outras atividades públicas, podendo ser estimado para uma cidade com população na faixa dos 40 mil habitantes. Dispõe de uma área total de 356 m<sup>2</sup>, 16 gabinetes, 3 banheiros, sala para ouvidoria, financeiro e telefonista. Além disso, possui um auditório com 114,7 m<sup>2</sup> que pode ser utilizado para reuniões, votações, apresentações e eventos da comunidade.

O sistema elétrico disponibilizado na região de estudo, apresentada em 6.1, é de responsabilidade da CEEE, com distribuição em 220 Volts, dispondo de entrada subterrânea de energia e medição na mureta de divisa com a calçada.

Todos os memoriais de cálculo e tabelas de dimensionamento do sistema elétricos para o empreendimento encontram-se no apêndice A, anexo D e anexo E.



## 5.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

### 5.2.1 Sistema elétrico

O sistema elétrico é disponibilizado localmente pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE-D), onde o suprimento de eletricidade para a edificação será feito a partir da rede de distribuição da concessionária local, a qual é existente na calçada em frente da edificação. O sistema previsto para ser utilizado é do tipo trifásico, nas tensões de 380/220 V.

### 5.2.2 Carga e demanda

Uma vez que este projeto elétrico será desenvolvido para a entrada de energia elétrica a partir do ramal de ligação e para a infraestrutura da rede elétrica do empreendimento, o cálculo de demanda é necessário e está presente no apêndice A.

### 5.2.3 Entrada de energia

Ramal de Serviço – a interligação elétrica do prédio com a rede de distribuição da concessionária (380/220V) deverá ser feita em linha subterrânea, iniciando no ponto de entrega situado na derivação da rede (no alto do poste) e terminando no disjuntor geral instalado dentro do painel de medição. O painel tem sala específica no pavimento térreo, conforme indicações em prancha do projeto no anexo D.

Proteção Geral – a proteção elétrica geral será feita através de disjuntor termomagnético, tripolar, corrente nominal 70 A, obtido através do Anexo J – Dimensionamento de Entrada de Serviço do RIC BT, e deverá ser instalado dentro do painel de medidores.

### 5.2.4 Medição de energia

Uma vez que alimentação é em 380/220V e a demanda é inferior a 66 kVA usa-se medição direta em Baixa Tensão conforme recomendação do RIC BT. A cabine de medição deverá seguir o padrão da concessionária e abrigar o sistema de medição e a proteção geral. O modelo básico e sua localização pode ser vista na prancha do anexo E. Vale ressaltar que como a instalação disporá de um sistema de geração de energia fotovoltaico conectado à rede, conforme visto em 3.7, o medidor será bidirecional de quatro quadrantes.

### 5.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

A distribuição interna de energia, a partir dos diversos quadros, é feita através de circuitos. Cada um destes circuitos possuirá uma proteção individual feita por disjuntor único. Essas proteções estarão instaladas nos Centros de Distribuição (CDs). O número de circuitos, suas cargas, capacidades dos disjuntores, bem como a seção dos condutores a serem utilizados, estão indicados memorial de cálculo – Apêndice A.

O projeto elétrico, descrito e apresentado em planta do anexo D, tem por finalidade a orientação geral para a execução da obra desde o ramal de ligação até o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) e, a partir deste, até os Centros de Distribuição (CDs) que estão localizados no interior do empreendimento.

#### 5.3.1 Quadro geral de baixa tensão

O circuito alimentador de energia elétrica na entrada do QGBT deverá suportar as cargas e estar de acordo com o dimensionamento para atender aos critérios de corrente nominal, de corrente de curto-circuito e de queda de tensão, conforme definido, para subsidiar a proteção elétrica, a coordenação e a seletividade, os condutores e os demais itens das instalações elétricas. O dimensionamento do mesmo é encontrado no memorial de cálculo no apêndice A.

A partir do QGBT saem os circuitos de alimentação 1 e 2 que seguem até o CD1 e CD2. O detalhe da instalação pode ser visto na prancha do anexo D.

#### 5.3.2 Identificação dos componentes

Conforme visto no item 3.6.1 todos os componentes instalados, incluindo condutores, devem ser identificados quanto à função e ao circuito em que atuam. Os condutores devem ter suas funções identificadas por cores da seguinte maneira: proteção (PE) e aterramento na cor verde ou verde/amarelo; neutro na cor azul claro; e fases nas demais cores, preferencialmente preto para as fases de circuitos de iluminação, amarelo para o retorno dos circuitos de iluminação, branco para as fases das tomadas de uso geral e vermelho para as fases das tomadas de equipamentos de uso específico (torneira elétrica, ar condicionado).

Os circuitos alimentadores terão suas fases identificadas conforme o seguinte padrão: fase R (amarelo), fase S (branco) e fase T (vermelha).

### 5.3.3 Centro de distribuição

O Centro de Distribuição (CD) é o ponto de partida dos eletrodutos, em vista disso deve estar em perfeito estado de conservação, quanto a fixação, integridade mecânica, pintura, fechaduras e dobradiças. Ademais, deve ser verificado o estado geral dos condutores e cordoalhas de aterramento, bem como os dispositivos móveis e fixos que compõem o equipamento. Aconselha-se que o CD esteja posicionado em um ponto central da instalação, o mais equidistante possível de todos os pontos terminais de uso, e de forma que permita que a saída dos eletrodutos seja em um raio horizontal de 360°. No presente trabalho foram utilizados dois CDs para que fossem distribuídos de forma mais equilibrada os circuitos que alimentam a instalação. Pode ser verificado a localização dos mesmos e seu detalhamento na prancha do projeto no anexo D.

### 5.3.4 Iluminação

Serão utilizadas luminárias em todos os ambientes. As luminárias escolhidas possuem lâmpadas fluorescentes de 1,2 m com soquete G13. Todas as lâmpadas para ambientes internos deverão ter temperatura de cor fria (acima de 4.000 K), índice de reprodução de cores (IRC) maior que 80 e fator de potência (FP) maior que 0,95. As lâmpadas tubulares escolhidas são fluorescentes com no mínimo 36 W. Lâmpadas com base E-27 devem ser LED ou fluorescente compacta com reator eletrônico integrado, de qualquer forma devem apresentar fluxo luminoso maior que 800 lumens.

O memorial de cálculo do projeto de iluminação encontra-se no Apêndice A.

### 5.3.5 Pontos de tomada

As tomadas serão do tipo 2P+T, conforme NBR 14.136, padrão 10 A ou 20 A. Serão instaladas em condutores de alumínio em alturas do piso acabado de 30 cm ou de 1,2 m. Todos os pontos de tomada serão providos com condutor de proteção, devidamente conectados ao conector ou ao equipamento específico.

Para o número de pontos por ambiente e o tipo de tomada utilizada, foi seguido as diretrizes expostas no item 3.2.1 do presente trabalho. No apêndice A encontra-se o detalhamento da quantidade de pontos e a especificação de tomadas para cada ambiente.

### 5.3.6 Circuitos

Para o dimensionamento dos circuitos existentes neste trabalho analisou-se as questões tangentes às propriedades elétricas, como a tensão, a corrente nominal do circuito, o fator de agrupamento, a corrente corrigida do circuito, a seção do condutor, a capacidade de corrente do condutor, a corrente nominal do disjuntor e a potência de projeto seguindo os critérios expostos no capítulo 3. A divisão final dos circuitos, bem como a dimensão dos condutores e disjuntores estão detalhadas no apêndice A.

### 5.3.7 Eletrodutos

Todos os eletrodutos devem ser de PVC tipo rígido roscável, com diâmetros nominais (DN) conforme especificados no projeto (exceto na subida do poste, onde deverá ser de ferro galvanizado à fogo). Para os ramais de distribuição foram previstas eletrocalhas vazadas. As dimensões e o memorial de cálculo estão presentes no apêndice A.

## 6 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nesse capítulo será elaborado o dimensionamento do sistema fotovoltaico anexo ao empreendimento citado no capítulo anterior. Será feita a análise da localização da edificação, levando em conta as revisões expostas no capítulo 4, como orientações dos painéis solares e energia recebida, estimativa de consumo de energia, dimensionamento dos módulos fotovoltaicos, inversores, condutores, dispositivos de proteção e a escolha do arranjo adotado de modo que a potência de geração esteja de acordo com o consumo estimado, também será analisado a disposição dos painéis no terreno e a estrutura utilizada como suporte.

### 6.1 LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

Para que fosse possível elaborar o dimensionamento do sistema fotovoltaico se faz necessário dados da localização do empreendimento, pois as condicionantes climáticas afetam diretamente o desempenho do sistema de geração, conforme visto em 3.2. Como a edificação é fictícia, para que se possa então analisar as condicionantes é necessária a determinação de um local. Assim, optou-se por buscar um município em um raio de 60 km de Porto Alegre que fosse capaz de comportar tal empreendimento. Dentre os possíveis locais, o escolhido para avaliar o potencial de geração fotovoltaico da instalação foi o município de Eldorado do Sul, com população de 39.000 habitantes, tendo um tamanho adequado para receber a edificação abordada no capítulo anterior. Sua localização cartográfica é de 30° 05' 02" Sul e 51° 36' 58" Oeste, com altitude média de 19 metros acima do nível do mar e área de 520 m<sup>2</sup>. A figura abaixo apresenta o raio de busca e a localização do município em questão.

Figura 26 – Município escolhido para análise do sistema fotovoltaico



(fonte: adaptado de Map of Rio Grande do Sul State, Raphael Lorenzeto de Abreu)

## 6.2 CONSUMO DE ENERGIA ESTIMADO

Para a estimativa de consumo de energia levou-se em consideração o fato de a edificação ser nova, sem histórico de consumo, e devido a isso optou-se então por estimar os mesmos com base na demanda calculada. Tendo em vista que o equipamento que mais demanda energia no empreendimento é o ar condicionado central (cerca de 50% do total) e o local está situado próximo a latitude 30°S, onde o inverno é bem definido, optou-se então por estimar 50% da demanda total para o inverno e outono e de 70% para o verão e primavera, resultando em uma média 24,83 kVA. Como se trata de um empreendimento comercial que funciona em média seis dias por semana, de segunda-feira a sábado em horário comercial (das 7:00 horas até as 19:00 horas), totalizando 12 horas por dia, o consumo médio mensal estimado da edificação será de 7.359,20 kWh/mês, como pode ser visto o memorial de cálculo no quadro a seguir.

Quadro 3 – Estimativa de consumo de energia mensal

DEMANDA CALCULADA [kVA]	41,38
70% DEMANDA VERÃO [kVA]	28,97
50% DEMANDA INVERNO [kVA]	20,69
MÉDIA DEMANDA [kVA]	24,83
FATOR DE POTÊNCIA MÉDIO	0,95
POTÊNCIA [kW]	23,59
MÉDIA HORAS/DIA [horas/dia]	12
MÉDIA DIAS/MÊS [dia/mês]	26
<b>CONSUMO MÉDIO ESTIMADO [kWh/mês]</b>	<b>7.359,20</b>

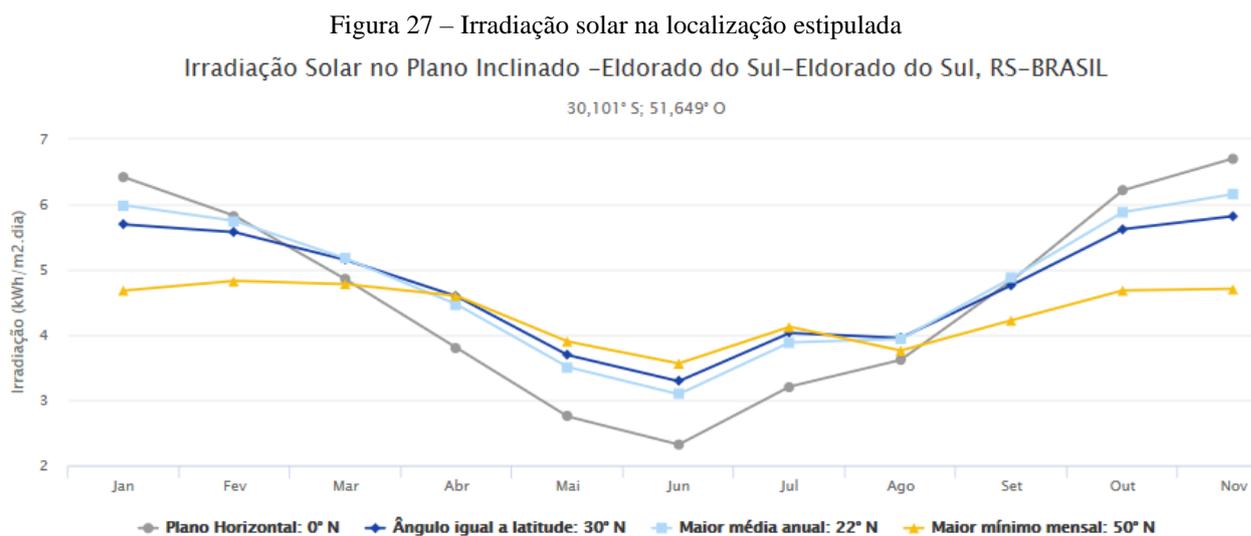
(fonte: elaborado pelo autor)

## 6.3 IRRADIAÇÃO SOLAR E INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS

Para iniciar o dimensionamento do sistema é necessário realizar uma avaliação do potencial energético solar, em outras palavras, buscar a quantidade de radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico para que a energia gerada possa ser calculada.

Pode-se representar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia através do número de horas de Sol Pleno (HSP). Esta medida mostra o número de horas equivalentes por dia em que a radiação solar permanece constante e igual a 1  $kW/m^2$ , de forma que a energia resultante seja igual à energia acumulada para o dia e local em questão.

Com a utilização do programa Google Earth obtém-se a latitude e a longitude aproximada do local em questão. Entrando-se com os valores obtidos no sistema de dados Sundata do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito, através do seu website ([www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)), onde são gerados gráficos das radiações solares diárias médias nos locais escolhidos, como mostra demonstra a figura abaixo.



(fonte: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito)

Deve se atentar também para os raios solares que chegam à terra. Em cada ponto do planeta a radiação direta incide no solo com uma inclinação diferente, variando ao longo dos dias e meses do ano, de acordo com a posição da Terra e do Sol no espaço. O ângulo azimutal é o ângulo de orientação dos raios solares em relação ao Norte geográfico, e nele se baseiam as orientações para módulos fotovoltaicos. Com base na geografia, a instalação correta de um módulo solar fotovoltaico deve levar em conta o movimento diário do Sol, dessa forma, a melhor maneira de instalar um módulo solar fixo, sem um sistema de rastreamento solar, é orientá-lo com sua face voltada para o Norte geográfico. Dessa forma, o sistema Sundata, fornece para uma mesma localização quatro tipos de diferentes inclinações e suas irradiações, como pode ser visto na tabela a seguir.

Quadro 4 – Valores de irradiação solar média na localidade em função da inclinação

INCLINAÇÃO	IRRADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA MÉDIA [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
0° N	6,42	5,83	4,85	3,8	2,75	2,32	2,53	3,21	3,62	4,84	6,22	6,71	4,42
30° N	5,69	5,58	5,15	4,59	3,69	3,29	3,52	4,03	3,95	4,77	5,62	5,82	4,64
22° N	5,99	5,75	5,17	4,47	3,51	3,09	3,32	3,89	3,94	4,87	5,88	6,16	4,67
50° N	4,68	4,83	4,78	4,6	3,9	3,56	3,77	4,13	3,76	4,23	4,68	4,71	4,3

(fonte: adaptado de Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito)

Para o dimensionamento dos painéis, foi utilizado a média anual de irradiação fornecido para a localização em questão com inclinação de 22° N, sendo que apresenta a maior valor dentre as inclinações, resultando em uma média anual de 4,67 HSP.

#### 6.4.1 Rendimento dos painéis

Para o cálculo da potência de geração é necessário que se leve em conta diversos fatores de perdas de potência. Segundo o autor Pinho e Galdino (2017), as principais perdas nos sistemas fotovoltaicos são:

- Perdas por elevada temperatura, entre 7% e 18%;
- Incompatibilidade elétrica, entre 1% e 2%;
- Acúmulos e sujeira, entre 1% e 8%;
- Cabeamento no lado de corrente contínua, entre 0,5% e 1%;
- Cabeamento no lado de corrente alternada, entre 05% e 1%;
- Perdas decorrentes do inversor, entre 2,5% e 5%.

O autor supracitado recomenda, para casos gerais de dimensionamento um valor de rendimento global em torno de 80%.

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA

#### 5.3.1 Potência necessária de geração

A potência de energia gerada necessária é encontrada dividindo-se o consumo médio diário em kWh/dia pela Horas de Sol Pleno, em horas, e pelo rendimento calculado dos painéis, conforme pode ser visto abaixo.

$$Potência\ Total_{geração} = \frac{Consumo\ Médio\ Diário}{HSP \cdot \eta} \quad (10)$$

Onde:

$Potência\ Total_{geração}$  em kW;

$Consumo\ Médio\ Diário$  em kWh/dia;

$HSP$  em horas;

$\eta$  = rendimento.

O resumo de cálculo da potência total do sistema para que se atenda o consumo estimado pode ser visto no quadro a seguir.

Quadro 5 – Potência total necessária do sistema fotovoltaico

ENERGIA NECESSÁRIA PARA GERAÇÃO [kWh/dia]	245,31
HSP [h/dia]	4,67
RENDIMENTO [%]	80
<b>POTÊNCIA TOTAL SISTEMA [kW]</b>	<b>65,66</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Ou seja, para que se consiga gerar em média 245,31 kWh/dia, com 4,67 horas de irradiação solar de 1kW/m<sup>2</sup> e rendimento dos painéis em 80% de sua capacidade, o sistema total instalado para geração de energia precisa ter uma potência de 65,66 kW.

#### 6.4.2 Pannel Escolhido

O módulo fotovoltaico escolhido para ser utilizado no projeto foi o modelo GCL-P6/72 da GCL, cuja folha de dados encontra-se no anexo A. De acordo com as especificações elétricas do fabricante em STC (Standard Test Conditions), esse módulo possui as seguintes características:

- Máxima potência = 330 W;
- Tensão de máxima potência = 37,8 V;

- Tensão de circuito aberto = 46,2 V;
- Corrente de máxima potência = 8,73 A.

Conforme visto no item 5.3.1, a potência total necessária do sistema é de 65,66 kW, e como cada painel tem 330 W, serão necessários então 199 painéis fotovoltaicos para que se consiga atingir o consumo médio diário estimado. O resumo de cálculo pode ser visto no quadro a seguir.

Quadro 6 – Quantidade necessária de painéis

POTÊNCIA DO PAINEL [kW]	0,33
POTÊNCIA TOTAL SISTEMA [kW]	65,66
<b>QUANTIDADE DE PAINEIS</b>	<b>199</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

#### 6.4.3 Inversores

As especificações técnicas dos inversores fornecem informação muito importante para o dimensionamento e a instalação dos sistemas fotovoltaicos. A configuração do sistema determina o número, o nível de tensão e a classe de potência dos inversores. Para que seja dimensionado os inversores corretos, deve-se levar em consideração a quantidade máxima de módulos que o mesmo aceita por fileira, corrente de operação, potência de geração e potência de distribuição.

##### 6.4.3.1 Número máximo de módulos fotovoltaicos por fileira

O valor da tensão de trabalho do inversor resulta do somatório das tensões individuais dos módulos que estão ligados em série numa fileira, sendo o número máximo de módulos que é possível ligar em série obtido através da seguinte equação (Pinho e Galdino, 2014):

$$N_s < \frac{V_{INV}^{m\acute{a}x}}{V_{ca}} \quad (11)$$

Sendo:

$N_s$  = número máximo de módulos;

$V_{INV}^{m\acute{a}x}$  = tensão máxima do inversor, obtida das especificações do fabricante, em Volts;

$V_{ca}$  = tensão de circuito aberto, obtida das especificações técnicas do fabricante, em Volts.

Conforme o mesmo autor a tensão de trabalho do inversor é calculado da seguinte maneira:

$$V_{\text{operação}} = N_s \cdot V_{ca} \quad (12)$$

Sendo:

$V_{\text{operação}}$  = tensão de operação do inversor, em Volts;

Levando em conta o exposto, seguiu-se para o dimensionamento dos inversores. O modelo escolhido o foi o PHB25K-DT, da marca PHB (Figura 26), cuja folha de dados encontra-se no anexo B. Suas principais especificações para fins de dimensionamento podem ser vistas no quadro a seguir:

Quadro 7 – Especificações do inversor PHB25K-DT

POTÊNCIA FV MÁXIMA [W]	32.500
TENSÃO CC MÁXIMA [V]	1000
CORRENTE CC MÁX. [A]	27

(fonte: adaptado de Especificação Técnica – PHB25K-DT)

Figura 28 – Inversor PHB25K-DT



(fonte: Especificação Técnica – PHB25K-DT)

Os dados do fabricante sobre as especificações do módulo fotovoltaico utilizados para fins de dimensionamento do inversor podem ser vistos no quadro a seguir.

Quadro 8 – Especificações do módulo fotovoltaico GCL-P6/72

POTÊNCIA MAX [W]	330
CORRENTE DE TENSÃO MÁX [A]	8,73
TENSÃO CIRCUITO ABERTO [ $V_{oc}$ ]	46,2

(fonte: adaptado de Especificação Técnica – GCL-P6)

#### 6.4.4 Arranjo do sistema

É necessário a escolha do arranjo das placas fotovoltaicas, visto que isso influencia nos valores máximos e mínimo de corrente e tensão, que são dados de entrada para o cálculo da segurança do sistema. Conforme visto anteriormente, o cálculo do número máximo de placas nas fileiras em série resultou em um máximo de 22 módulos fotovoltaicos em série. O dimensionamento do sistema foi feito com a quantidade máxima encontrada, ou seja, 22 módulos.

Para o arranjo, final foram utilizadas 3 strings paralelas dos ramos em série, como foi escolhido 22 módulos fotovoltaicos em cada ramo, o total do arranjo será de 66 módulos por inversor.

Para verificar a segurança do sistema quanto ao inversor, calculou-se a tensão, corrente e potência em cada *string*. Multiplicou-se o valor da tensão de circuito aberto do módulo pelo número de placas conectadas em série, para obter a tensão máxima. Para o cálculo da potência máxima do sistema, multiplicou-se a corrente de curto circuito pela tensão de circuito aberto e pelo número de placas do sistema. O quadro 9, abaixo, apresenta a os valores calculados e o resumo do arranjo escolhido para o sistema, bem como a quantidade de inversores necessários.

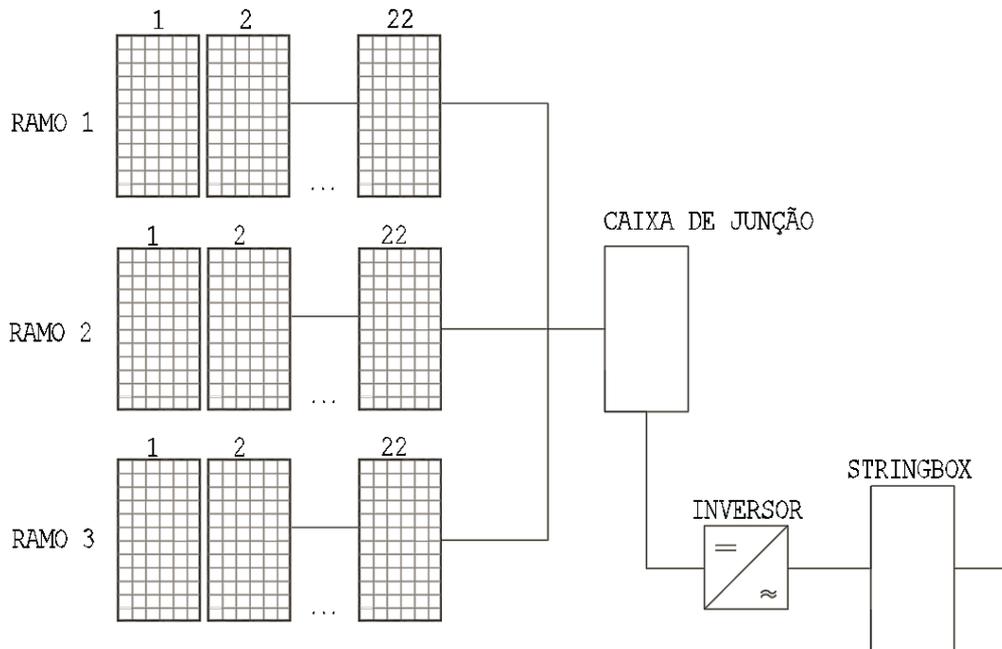
Quadro 9 – Parâmetros do arranjo escolhido

QUANTIDADE DE MÓDULOS EM SÉRIE	22
QUANTIDADE DE STRINGS EM PARALELO	3
TOTAL DE MÓDULOS POR INVERSOR	66
POTÊNCIA DE OPERAÇÃO DOS MÓDULOS EM SÉRIE [W]	7.260
POTÊNCIA TOTAL DA ASSOCIAÇÃO [W]	21.780
CORRENTE MÁXIMA DA ASSOCIAÇÃO [A]	26
TENSÃO DE OPERAÇÃO DOS MÓDULOS EM SÉRIE [V]	1.000
INVERSORES NECESSÁRIOS	3

(fonte: elaborado pelo autor)

A figura a seguir representa de maneira geral o arranjo adotado para um inversor do sistema.

Figura 29 – Arranjo de uma das strings do sistema



(fonte: elaborado pelo autor)

O anexo G apresenta o diagrama unifilar do sistema, com o detalhe dos dispositivos de proteção utilizados, bem como a representação final do arranjo escolhido.

#### 6.4.5 Outros componentes

Para o dimensionamento dos condutores que ligam os diversos componentes do sistema, seguiu-se as recomendações da NBR 5410, revisadas no capítulo 2, dividindo-se em duas partes:

1 - Trecho em corrente contínua que conectam os módulos fotovoltaicos individuais a caixa de junção, sendo então conectados ao lado CC do inversor. Esses cabos são destinados ao uso externo e tem como características uma maior resistência dos raios solares e das diferentes condições climáticas. É altamente recomendado que se utilize cabos monocondutores com dupla camada de isolamento, conforme figura 16. O seu dimensionamento seguiu as recomendações vistas em 3.6.

2 – Trecho em corrente alternada que liga o inversor, passando pela *stringbox* e indo para o disjuntor tripolar instalado no QGBT. O dimensionamento dos mesmos seguiu as recomendações vistas em 3.6

Na caixa de junção, como visto no item 3.6.2, encontram-se os fusíveis que protegem os módulos contra sobrecarga e curtos. Como serão três inversores, optou-se por três caixas de junção. Dessa forma, foram utilizados fusíveis modelos SRF-30 GPV da marca Suntime. O dispositivo de seccionamento de corrente (DSV) escolhido foi o KNS3/160-DSV, o dispositivo contra surtos (DPS) utilizado será o VCL Slim Classe I/II da marca Clamper.

Os cabos que saem do inversor passam pela *stringbox* que contém os disjuntores de proteção do lado de corrente alternada do sistema e o dispositivo de proteção contra surtos para cada fase de geração. Os disjuntores foram determinados conforme o item 3.8.2. Os condutores que partem da *stringbox* são ligados ao QGBT através de um disjuntor tripolar, conforme pode ser visto o detalhe na prancha do anexo D.

Os quadros a seguir apresentam os componentes utilizados.

Quadro 10 – Condutores do lado de corrente contínua

MÁXIMA CORRENTE [A]	26
SEÇÃO [mm <sup>2</sup> ]	4

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 11 – Condutores do lado de corrente alternada

MÁXIMA CORRENTE [A]	37
SEÇÃO [mm <sup>2</sup> ]	6

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 12 – Dispositivos de proteção na caixa de junção

FUSÍVEIS	SRF-30 gPV
DSV	KNS3/160-DSV
DPS	VCL Slim Classe I/II

(fonte: elaborado pelo autor)

Quadro 13 – Dispositivos de proteção da stringbox

Disjuntores CA	40 A
DPS	VCL Slim Classe I/II

(fonte: elaborado pelo autor)

#### 6.4.6 Estrutura de suporte

A estrutura escolhida para a instalação dos painéis, pensada com base nas características do empreendimento, foi sobre a cobertura do estacionamento, semelhante ao que pode ser visto na figura 26 e figura 27. Desse modo será possível comportar todas as placas de maneira uniforme e bem distribuídas, sem influência de pontos de sombreamento ao longo do dia. Os módulos serão fixados com as barras metálicas próprias para a instalação fotovoltaica, sendo confeccionadas permitindo que seja regulada sua inclinação, que no caso estudado é de 22° N conforme visto no item 5.3.

Figura 30 – Painéis sobre cobertura de estacionamento



(fonte: Pintrest)

Figura 31 – Estrutura de fixação dos módulos fotovoltaicos



(fonte: Pintrest)

## 7 ANÁLISE ECONÔMICA

O presente capítulo fara a análise econômica do sistema fotovoltaico dimensionado anteriormente. Para isso, será visto uma breve revisão de conceitos econômicos básicos para que se possa avaliar a atratividade do projeto.

### 7.1 INDICADORES ECONOMICOS

#### 7.1.1 *Payback* descontado

O *payback* é utilizado para a verificação quando um investimento se pagará e trará ganhos efetivos. Abreu Filho (2007, p.78) relata: “O critério consiste em somar os valores dos benefícios obtidos pela operação do projeto. O período *payback* é o tempo necessário para que esses benefícios totalizem o valor do investimento feito.” Existem dois tipos de *payback*: simples e o descontado. A diferença é que no modelo simples vai somente considerar o valor do que foi investido sem considerar o valor do dinheiro no tempo e no modelo descontado, o valor do dinheiro é levado em conta no decorrer do tempo. Neste estudo, será utilizado somente o modelo de *payback* simples para análise da viabilidade econômica.

O *payback* utilizado no presente trabalho será o *payback* descontado, utilizando-se assim de uma taxa de desconto antes de se proceder à soma dos fluxos de caixa. Em geral esta taxa de desconto será a TMA (Taxa Mínima de Atratividade). O *payback* descontado é igual ao *payback* simples, com a diferença de que considera os fluxos descontados (trazidos ao valor presente) para encontrar quando os fluxos de caixa que pagam o investimento inicial, resolvendo o problema do *payback* simples de não considerar o valor do dinheiro no tempo.

#### 7.1.2 Valor presente líquido

O valor presente líquido (VPL) é uma ferramenta muito utilizada para análise de investimento em qualquer nível de uma organização e que tem basicamente o objetivo de medir o lucro ou prejuízo real de uma operação. Abreu Filho (2007, p.83) diz: VPL é a diferença entre o valor presente do projeto e o custo do projeto na data atual. VPL positivo significa que o projeto vale mais do que custa, ou seja, é lucrativo. VPL negativo significa que o projeto custa mais do que vale, ou seja, se for implementado, trará prejuízo. Assim, um VPL positivo indica que o projeto

pode prosseguir, pois se pagará no dentro do tempo determinado além de gerar receita para o caixa da empresa, ou seja, trará lucro. Já a indicação de um VPL negativo leva ao gestor do projeto abortar imediatamente o projeto, pois ele não conseguirá pagar o investimento, trazendo prejuízo à organização. Seu cálculo é feito utilizando a equação a seguir.

$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+TMA)^n} \quad (13)$$

Sendo:

$FC_n$  = fluxo de caixa do ano  $n$ ;

$TMA$  = taxa mínima de atratividade;

$n$  = ano que está sendo contabilizado;

$N$  = período analisado.

## 7.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para analisar a viabilidade econômica, primeiramente é necessário que se faça o levantamento de custos dos materiais e mão de obra para a instalação do sistema de geração fotovoltaico. Com base no mercado atual, procurou-se avaliar o custo médio dos componentes em três diferentes fornecedores. O valor da mão de obra foi estimado em 15% o custo total da instalação, de acordo com Focer (2002). O quadro a seguir apresenta o resumo do investimento total do projeto.

Quadro 14 - Custo total do sistema fotovoltaico

DESCRIÇÃO	QUANTIDADE	PREÇO [R\$]	TOTAL [R\$]
MÓDULO FV - GCL-P6/72 330W	199	749,00	149.051,00
INVERSOR - PHB25K-DT	3	24.999,00	74.997,00
CAIXA DE JUNÇÃO CC IP65 - 1000V	3	3.199,00	9.597,00
STRINGBOX CA IP65 - 1000V	3	3.399,00	10.197,00
CABOS E CONECTORES	-	5.264,00	5.264,00
CONJUNTO DE MONTAGEM - KIT	-	45.720,15	45.720,15
MÃO DE OBRA	-	59.308,00	59.308,00
FRETE	-	15.000,00	15.000,00
<b>TOTAL</b>			<b>369.134,15</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Para que se possa avaliar a viabilidade, também é necessário analisar as tarifas praticadas pela concessionária. Atualmente, para casos comerciais na localização proposta para o

empreendimento, a tabela média de tarifa praticada pela CEEE-D já com os custos dos impostos (PIS, COFINS e ICMS) é de 0,88 R\$/kWh. Como, segundo calculado anteriormente, o consumo mensal é de 7.359,2 kWh/mês é gerado um custo de energia em torno de R\$ 6.476,80. O quadro a seguir apresenta o resumo previsto de cálculo e o valor acumulado anual.

Quadro 15- Estimativa de conta de energia

<b>CONSUMO MENSAL [kW]</b>	<b>TARIFA [R\$/kWh]</b>	<b>TOTAL [R\$]</b>
7.360,00	0,88	6.476,80
<b>TOTAL ANUAL</b>		<b>77.721,60</b>

(fonte: elaborado pelo autor)

Para a análise final da viabilidade econômica foi também levado em consideração uma vida útil de 8 anos para os inversores e de 20 anos para os módulos solares – conforme avaliam os fabricantes. Também foi estimado um custo anual de manutenção em torno de 1% do custo de implementação.

A análise final levou em conta o valor presente líquido, que foi calculado considerando a taxa SELIC de 6,71% (acumulado dos últimos 12 meses) como TMA em um horizonte de 20 anos. O fluxo de caixa será dado conforme o quadro 16, onde são considerados no fluxo de caixa a média anual da fatura de energia e os custos anuais de manutenção. Todos os valores do fluxo de caixa foram reajustados pelo índice de preços ao consumidor (IPC), 4,22% ao ano (acumulado dos últimos 12 meses).

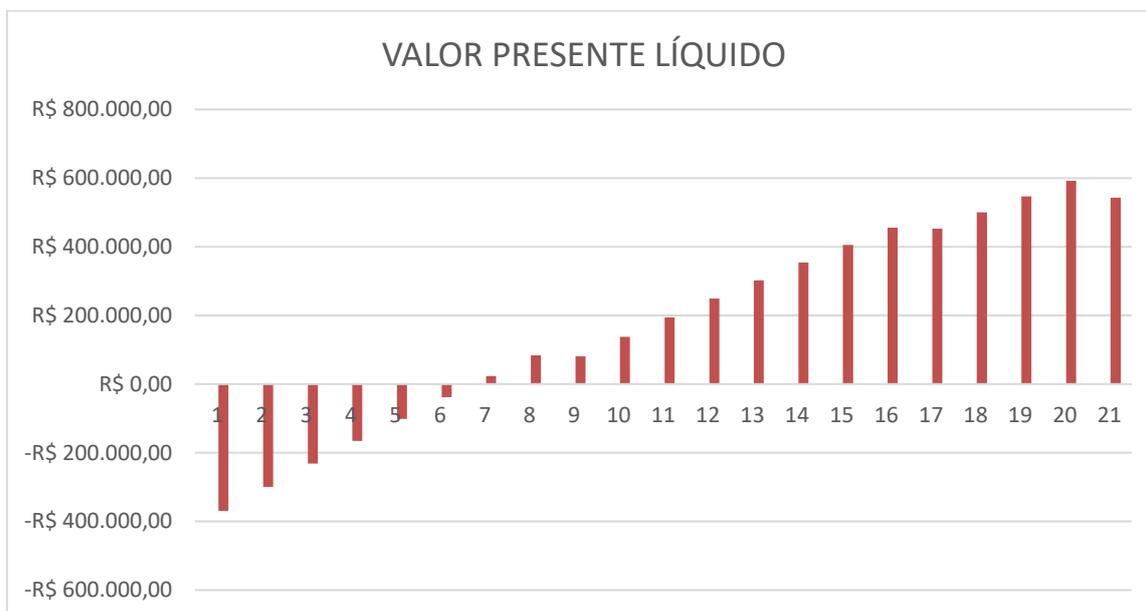
Quadro 16 - Valor presente líquido do projeto

ANO	CONTA LUZ (R\$)	INVESTIMENTO (R\$)	MANUTENÇÃO (R\$)	FLUXO DE CAIXA (R\$)	VPL (R\$)
[R\$]					
0	-	-369.134	-	-369.134	-369.134
1	77.722	0	-3.691	74.030	-299.759
2	81.001	0	-3.847	77.154	-232.003
3	84.420	0	-4.009	80.410	-165.827
4	87.982	0	-4.179	83.804	-101.196
5	91.695	0	-4.355	87.340	-38.073
6	95.565	0	-4.539	91.026	23.577
7	99.597	0	-4.730	94.867	83.789
8	103.800	-104.388	-4.930	-5.518	80.507
9	108.181	0	-5.138	103.043	137.941
10	112.746	0	-5.355	107.391	194.035
11	117.504	0	-5.581	111.923	248.820
12	122.463	0	-5.816	116.646	302.327
13	127.631	0	-6.062	121.569	354.586
14	133.017	0	-6.318	126.699	405.625
15	138.630	0	-6.584	132.046	455.472
16	144.480	-145.298	-6.862	-7.680	452.755
17	150.577	0	-7.152	143.425	500.304
18	156.931	0	-7.453	149.478	546.743
19	163.554	0	-7.768	155.786	592.099
20	170.456	-340.688	-8.096	-178.327	543.445

(fonte: elaborado pelo autor)

Para melhor visualização, o gráfico abaixo apresenta a evolução do VPL ao longo dos 20 anos, onde pode-se notar que a partir de 6º ano o fluxo de caixa se tornará positivo e o sistema começa a gerar lucro para o investidor. Também pode ser notado que no 16º e no 20º ano haverá outros investimentos de manutenção, que refletirão de forma moderada nos anos subsequentes e logo o lucro retoma o crescimento de forma significativa novamente.

Figura 32 - Representação gráfica do VPL



(fonte: elaborado pelo autor)

Nesta análise, é possível constatar que a adoção do sistema de geração de energia fotovoltaico é uma oportunidade de investimento que poderá gerar benefícios ao longo do tempo. No estudo em questão, o *payback* é alcançado no 6º ano e passa a gerar caixa positivo nos meses seguintes, portanto a viabilidade econômica para esse projeto é favorável, tendo em vista que, quando se leva em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo, o projeto se torna viável, pelo fato de que os indicadores atingiram os valores mínimos estabelecidos no cálculo do VPL.

No estudo acima, levou-se em consideração exclusivamente aspectos econômicos do projeto, visto que, nos tempos atuais os recursos se tornam cada vez mais escassos. Todavia, a análise de fatores externos, porém muito importantes, tornam o projeto ainda mais viável. Ao se pensar em desenvolvimento sustentável, projeto ambientalmente correto ou no risco de ocorrer racionamento de energia, podem contribuir com uma análise mais abrangente do projeto e com diminuição de risco no atual cenário vivenciado no País, tornando o projeto ainda mais atrativo. Não há como descartar que a geração de energia solar, poderá ter um grande incentivo pelo governo nos próximos anos, dando ainda mais segurança nos investimentos desse segmento.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil teve como objetivo, além daqueles mencionados no capítulo 2, aprimorar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso.

No trabalho foram realizadas etapas essenciais para a elaboração de um projeto elétrico e fotovoltaico, de acordo com as considerações de projeto indicadas pelas normas técnicas disponíveis.

A objetivo do projeto elétrico foi projetar a instalação de maneira eficiente, seguindo recomendações de autores conceituados no ramo, permitindo a elaboração de um projeto enxuto e eficiente. Os critérios adotados ao longo de sua confecção demonstraram que existem inúmeras maneiras de conceber uma instalação elétrica, cabendo ao projetista fazê-lo da maneira que lhe parece mais conveniente, desde que em conformidade com as regulamentações. Cada etapa do processo apresenta situações diversas que leva ao profissional a propor as soluções que melhor se adequem. Esse trabalho propõe algumas soluções e etapas aliado com os exemplos do projeto citado.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico, exige bastante pesquisa por parte do projetista devido ao fato do tema ser recente e diversas análises e estudos estarem ainda sendo feitos e comprovados. Aprofundamentos de conceitos e técnicas para determinados casos, específicos ou não, ainda carecem de detalhamentos atestados, sejam por normas regulamentadoras, sejam por instruções técnicas ou afins. Já as normas existentes carecem de esclarecimentos, tanto que ofícios circulares e notas técnicas são lançadas de forma a sanar dúvidas pertinentes. O que chamou atenção durante o dimensionamento foi a necessidade de uma potência máxima de geração muito superior a estimativa de consumo, demonstrando que o rendimento dos painéis atualmente ainda é baixo e que as condicionantes geográficas impactam de forma significativa no sistema.

Conforme comprovado na Análise Econômica, o estudo de caso desenvolvido para uma edificação da classe de consumo comercial, localizada na região de Eldorado do Sul, com demanda contratada de 41,38 kVA, com potência de sistema fotovoltaico instalada de 65,66 kW, contendo 199 módulos fotovoltaicos e 3 inversores, apresenta viabilidade econômica de implantação em um horizonte de 6 anos, com reajustes tarifários e com a degradação dos

equipamentos utilizados, demonstrando assim que a implementação do sistema é viável e interessante para o empreendimento, embora o alto valor de investimento.

## REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482 e 493**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em: 12 julho 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10899: **Energia solar fotovoltaica — Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16149: **Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274: **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISSO 8995-1: **Iluminação de Ambientes de Trabalho**. Rio de Janeiro, 2013.

COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Instrução Técnica IT – 81.081. **Acesso de microgeração e minigeração com fontes renováveis e cogeração qualificada ao sistema de distribuição**. Porto Alegre. 2014.

COTRIM, Ademaro. **Instalações Elétricas**. 5ª. Edição. Prentice-Hall. São Paulo. 2009.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 16º Edição. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2016.

FILOMENA, P. T. **Engenharia Econômica**. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.10p. Notas de Aula.

LIMA FILHO, Domingos Leite. **Projetos de Instalações Elétricas Prediais**. 12ª. Edição, Editora Érica. São Paulo. 2014.

Ministério da Fazenda. **Taxas de Juros Selic**. Brasil, 2017. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxade-juros-selic#Taxaselic>> Acessado em: 20 novembro 2018.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A (Org). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Referência para Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2014. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)> Acessado em: 9 junho 2018.

PRYSMIAN. **Instalações Elétricas Residenciais: Garanta uma instalação elétrica segura. Manual sobre Instalações elétricas.** São Paulo: dez. 2010. Disponível em: <<http://www.prysmian.com.br/export/sites/prysmian-ptBR/energy/pdfs/Manualinstalacao.pdf>> Acesso em: 2 outubro 2018.

PORTAL SOLAR. **Simulador Solar.** Disponível em:<<https://www.portalsolar.com.br/calculo-solar>>. Acesso em: 29 outubro de 2018.

RIC-BT. **Regulamento de Instalações Consumidoras de Baixa Tensão, 2017.** Disponível em: < <http://www.ceee.com.br/pportal/ceee/Component/Controller.aspx?CC=7248>>. Acesso em: 7 maio 2018.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligação à rede elétrica pública do Brasil.** LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

SOUZA, R. BLUE SOL. **Painel Solar, Preço e Como Funciona.** Disponível em:<<http://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acesso em: 27 setembro de 2018.

SPOT - Serviço Philips de Orientação Técnica - Philips. **Título: Guia de Iluminação.** Disponível em: <[http://www.luz.philips.com/latam/archives/Guia\\_Iluminacao\\_maio2007.pdf](http://www.luz.philips.com/latam/archives/Guia_Iluminacao_maio2007.pdf)> Acesso em 21 Ago. 2018.

TIBA, C.; FRAIDENRAICH N.; MOSZKOWICZ M.; CAVALCANT, E. S. C.; LYRA, F.J.M.; NOGUEIRA, A. M. B.; GALLEGOS, H. G. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos.** 2000. Recife. Ed. Universitária da UFPE. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)> Acessado em: 15 outubro 2018.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 224 p.

WILTUSCHNIG, I. P. **Instalações Elétricas.** 2016. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Notas de Aula.

## **APÊNDICE A – Memorial de cálculo do projeto elétrico**

Os cálculos a seguir são apresentados para fins de dimensionamento do projeto elétrico de acordo com a demanda calculada, seguindo as normas e revisões bibliográficas expostas no capítulo 2 e de acordo com o projeto elétrico detalhado no capítulo 5.

### **A1. Iluminação**

Para o cálculo da iluminação seguiu-se o exposto no item 3.2.1, utilizando-se do método dos lúmens. As lâmpadas escolhidas foram a Philips TLD 36W/840, com fluxo luminoso de 3350 lúmens e 36W de potência e a Philips TLD 58W/840, com fluxo luminoso de 5200 lúmens e 58W de potência. O fator de potência segundo manual do fabricante é de 0,99. Na área externa optou-se por utilizar cinco refletores de LED do tipo Super LED IP66 com 50W de potência com fluxo luminoso de 4200 lúmens. O detalhamento do método de cálculo, bem como da quantidade de pontos por ambiente, pode ser visto na tabela a seguir, onde  $E_m$  é a iluminância média exigida em norma, em lux,  $K$  é o índice de recinto, calculado com base nas dimensões da área em questão,  $F_u$  é o fator de utilização – retirado do manual do fabricante, o  $F_d$  é o fator de manutenção obtido da NBR 5413,  $\varphi$  é o fluxo luminoso da lâmpada escolhida em lúmens, retirado do manual do fabricante e  $n$  a quantidade de lâmpadas necessárias no respectivo ambiente, para que se atinja o valor exigido em norma para a atividade fim do ambiente.

ILUMINAÇÃO - MÉTODO DOS LUMENS															
LOCAL	PERÍMETRO [m]	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	Em [lux]	a	b	h'	K	LUMINÁRIA	φ [lm]	POTÊNCIA [W]	Fd	Fu	QUANTIDADE [n]	POTÊNCIA LOCAL [W]	POTÊNCIA LOCAL [VA]
SANITÁRIO FEMININO	18,50	10,22	200	3,05	3,35	2,00	1,20	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,47	2	72	74
SANITÁRIO MASCULINO	18,50	10,22	200	3,05	3,35	2,00	1,20	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,47	2	72	74
SANITÁRIO PNE	5,50	2,46	200	1,70	1,50	2,00	0,60	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,31	1	36	37
CIRCULAÇÃO 01	9,76	5,85	100	5,05	1,12	2,00	0,69	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,31	1	36	37
CIRCULAÇÃO 02	30,24	58,47	100	20,15	1,47	2,00	1,03	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,47	5	180	186
FINANCEIRO	13,38	10,69	500	2,21	4,88	2,00	1,14	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,47	3	174	176
GABINETE 01	13,70	11,45	500	2,36	4,88	2,00	1,19	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 02	13,70	11,45	500	2,36	4,88	2,00	1,19	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 03	13,70	11,45	500	2,36	4,88	2,00	1,19	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 04	13,68	11,33	500	2,36	4,88	2,00	1,19	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
OUVIDORIA	11,52	9,28	500	2,46	3,71	2,00	1,11	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,47	3	174	176
GABINETE 05	14,90	13,00	500	2,34	5,51	2,00	1,23	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 06	14,90	13,00	500	2,34	5,51	2,00	1,23	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 07	15,06	13,20	500	2,42	5,51	2,00	1,26	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
GABINETE 08	14,90	13,00	500	2,34	5,51	2,00	1,23	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
SALA DA PRESIDÊNCIA	11,77	11,22	500	2,60	5,51	2,00	1,32	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,53	3	174	176
SALA DE REUNIÃO	14,54	17,41	500	3,74	4,78	2,00	1,57	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,57	4	232	234
SANITÁRIO	5,40	2,16	200	1,20	1,80	2,00	0,54	Philips - TLD 36W/840	3.350	36	0,8	0,2	1	36	37
TELEFONISTA	7,28	4,40	500	2,24	1,80	2,00	0,75	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,31	2	116	117
PLENÁRIO	17,95	43,10	500	8,65	4,15	2,50	1,68	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,59	9	522	527
AUDITÓRIO	19,66	66,60	500	8,65	8,05	2,50	2,50	Philips - TLD 58W/840	5.200	58	0,8	0,59	14	812	820
ÁREA EXTERIOR	0,00	0,00	0	-	-	-	-	Super LED - IP66 50W	4.200	50	0,8	-	5	250	253
<b>TOTAL</b>		<b>349,96</b>											<b>74</b>	<b>4.028,0</b>	<b>4.330,7</b>

## A2. Pontos de tomadas

Seguindo as diretrizes do exposto em 3.6.2, a quantidade de pontos de tomadas encontrada pode ser vista na tabela que segue. Para o plenário e auditório, não foram seguidas as recomendações do autor Domingos (2017), como visto no item 3.6.2, devido ao fato de não ser necessária a quantidade de pontos recomendadas nesta área.

LOCAL	PERÍMETRO [m]	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	ILUMINAÇÃO [VA]	PTUG [n]	POTÊNCIA RECOM. [VA]	POTÊNCIA TOTAL [VA]
SANITÁRIO FEMININO	18,50	10,22	74	1	600	600
SANITÁRIO MASCULINO	18,50	10,22	74	1	600	600
SANITÁRIO PNE	5,50	2,46	37	1	600	600
CIRCULAÇÃO 01	9,76	5,85	37	0	0	0
CIRCULAÇÃO 02	30,24	58,47	186	2	200	400
FINANCEIRO	13,38	10,69	176	5	200	1000
GABINETE 01	13,70	11,45	176	5	200	1000
GABINETE 02	13,70	11,45	176	5	200	1000
GABINETE 03	13,70	11,45	176	5	200	1000
GABINETE 04	13,68	11,33	176	5	200	1000
OUVIDORIA	11,52	9,28	176	4	200	800
GABINETE 05	14,90	13,00	176	5	200	1000
GABINETE 06	14,90	13,00	176	5	200	1000
GABINETE 07	15,06	13,20	176	5	200	1000
GABINETE 08	14,90	13,00	176	5	200	1000
SALA DA PRESIDÊNCIA	11,77	11,22	176	4	200	800
SALA DE REUNIÃO	14,54	17,41	234	5	200	1000
SANITÁRIO	5,40	2,16	37	1	200	200
TELEFONISTA	7,28	4,40	117	3	200	600
PLENÁRIO	17,95	43,10	527	9	200	1800
AUDITÓRIO	19,66	66,60	820	3	200	600
ÁREA EXTERIOR	0,00	0,00	253	0	200	0
<b>TOTAL</b>	-	<b>349,96</b>	<b>4.331</b>	<b>79</b>	-	<b>17.000</b>

## A3. Ar condicionado

Para o correto dimensionamento do ar condicionado, deve se levar em questão as diretrizes impostas na NBR 16401 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS) que destaca diversas variáveis necessárias e importantes para a determinação desse sistema. Porém, como o presente estudo se limita a análise das características elétricas do empreendimento, buscou-se encontrar um valor aproximado de refrigeração para a edificação, de modo que fosse

possível encontrar no mercado um equipamento que atenda a necessidade e assim ter uma estimativa de potência para se utilizar no dimensionamento do projeto.

Para o cálculo do ar condicionado então, fez-se o uso da ferramenta online UltraService (www.ultraservice.com.br) que apresenta uma calculadora simplificada para determinar a carga térmica da edificação e assim procurar por um equipamento adequado para atender as características do empreendimento. O cálculo é feito em função da localização, da orientação e dimensão de portas e janelas da edificação, quantidade de pessoas e eletrônicos por ambiente, tipo de cobertura, espessura de paredes e orientação que os raios do sol atingem a estrutura, resultando no cálculo final aproximado da carga térmica gerada pela edificação em BTU (Unidade Térmica Britânica).

O resultado encontrado foi de 218.000 BTUs para a edificação de estudo. A escolha se deu por um sistema de ar condicionado central, modelo 40MZB240 da Carrier, com 240.000 BTUs de potência, excedendo em 10% a recomendação estimada. Sua potência máxima de operação é de 23,25 kW. Suas especificações técnicas encontram-se no anexo C.

#### **A4. Carga instalada**

Após computadas todas as tomadas necessárias, os pontos de iluminação e o dimensionamento do ar condicionado e suas respectivas cargas, foi feito o levantamento de potência do empreendimento seguindo as recomendações expostas no capítulo 3. A tabela a seguir, apresenta o detalhamento de cargas completo do projeto.

<b>CARGA INSTALADA [kVA]</b>	
ILUMINAÇÃO	4,33
PTUG	17,00
PTUE	0,00
AR CENTRAL	23,25
<b>TOTAL</b>	<b>44,58</b>

#### **A5. Demanda**

Seguindo as recomendações da concessionária, o cálculo da demanda pode ser verificado na tabela a seguir. Foram utilizados os critérios revisados no item 3.3.1. Os anexos citados na

tabela abaixo são encontrados no Regulamento de Instalações Consumidoras da CEEE-D, versão 1.5 de 2017, página 72 e 73.

<b>DEMANDA CALCULADA</b>	
ANEXO D - Fatores de Demanda para Iluminação e Tomadas	
CARGA [kVA]	FATOR DE DEMANDA
20,00	86%
1,33	70%
ANEXO F - Fatores de Demanda para Condicionador de Ar Comercial	
CARGA [kVA]	FATOR DE DEMANDA
23,25	100%
<b>TOTAL [kVA]</b>	<b>41,38</b>

#### **A6. Fornecimento de energia**

Como a carga instalada foi de 44,33 kVA e a demanda calculada foi maior que 32 kVA, seguindo o exposto no item 3.3.3, o tipo de fornecimento resultante encontrado através do Anexo J – Dimensionamento de entrada de serviço do RIC BT, é o C14 em 380/220V (trifásico), com medição direta, com disjuntor termomagnético de 70 A, ramal de ligação de cobre com 10 mm<sup>2</sup>, ramal de entrada em cobre isolado com 10 mm<sup>2</sup>, eletroduto com DN de 25 mm, haste de aterramento de proteção com 20 mm.

#### **A7. Circuitos**

A estimativa dos circuitos é demonstrada por meio dos dados da tabela abaixo, com base no modelo de cálculo descrito a seguir. Cada Centro de Distribuição apresenta uma quantidade determinada de circuitos que foi determinada de modo que se obtivesse o maior equilíbrio possível para a distribuição de cargas.

As tabelas citadas a seguir são todas encontradas na NBR 5410.

Para o Centro de Distribuição 1 e 2 (CD 01 e CD 02), o fator de agrupamento utilizado foi retirado da tabela 42 (Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única, página 108); a seção do condutor da tabela 37 (Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D, página 102 da NBR 5410), o modelo de referência utilizado foi A1, bem como a capacidade de corrente que depende do número de condutores, carregados e de

acordo com o material de isolamento EPR / XPLE. A queda de tensão foi calculada conforme exposto no item 3.6.1.7 e ficou dentro dos patamares estabelecidos em norma para todos os circuitos de ambos centros de distribuição. Para o cálculo da corrente corrigida (conforme visto no item 3.6.1.6) os valores de  $k_1$  e  $k_2$ , fatores de correção de temperatura e agrupamento, respectivamente, foram retirados das tabelas 40 e 42 da referida norma, considerando o pior cenário encontrado para todos os circuitos, resultando em  $k_1$  para 35°C igual a 0,94 para o fator de temperatura e  $k_2$  de 0,3 para o fator de agrupamento. Também para o cálculo dos condutores de fase foi considerado o item 6.2.6.1 da NBR 5410 que estabelece seções mínimas para os mesmos – especificados na tabela 47 (Seção mínima dos condutores, página 113). O condutor de proteção foi dimensionado a partir do exposto em 3.6.1.3, utilizando a tabela 58 (Seção mínima do condutor de proteção, página 150).

Para o cálculo dos dispositivos de proteção, seguiu-se o exposto em 3.8.3. Para o cálculo do disjuntor geral de cada CD, foi calculado o fator de demanda com base no fator de utilização retirado do RIC BT e assim determinado o respectivo disjuntor. O detalhamento de cada quadro de distribuição com seus respectivos disjuntores pode ser visto no desenho do anexo D.

CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO 01 - CD 01															
CIRCUITO	LOCAL	TENSÃO [V]	ILUMINAÇÃO [VA]	PTUG [VA]	PTUE [VA]	CARGA TOTAL DO CIRCUITO [VA]	CORRENTE DE PROJETO [A]	CORRENTE CORRIGIDA [A]	SEÇÃO DO CONDUTOR [mm <sup>2</sup> ]	QUEDA DE TENSÃO < 5%	CONDUTOR DE PROTEÇÃO [mm <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA NAS FASES [VA]			PROTEÇÃO [A]
												R	S	T	
1-I1	BANHEIRO F, M, CIRCULAÇÃO, A. EXTERIOR	220	851	-	-	851	3,9	5,9	1,5	OK	1,5	851	-	-	15
1-I2	G1, G2, G3	220	853	-	-	853	3,9	5,9	1,5	OK	1,5	-	853	-	15
1-I3	G5, G6, G7, G8	220	1.400	-	-	1.400	6,4	9,7	1,5	OK	1,5	-	1.400	-	15
1-T1	BANHEIRO F., M., TELEFONISTA	220	-	2.240	-	2.240	10,2	15,5	2,5	OK	2,5	2.240	-	-	20
1-T2	FINANCEIRO, G1, G2	220	-	2.400	-	2.400	10,9	16,6	2,5	OK	2,5	-	-	2.400	20
1-T3	G3, G4, OUVIDORIA	220	-	2.240	-	2.240	10,2	15,5	2,5	OK	2,5	-	-	2.240	20
1-T4	G5, G6, G7	220	-	2.400	-	2.400	10,9	16,6	2,5	OK	2,5	2.400	-	-	20
1-T5	G8, PRESIDÊNCIA, REUNIÃO, SANITÁRIO	220	-	2.400	-	2.400	10,9	16,6	2,5	OK	2,5	-	2.400	-	20
<b>TOTAL</b>			<b>3.103</b>	<b>11680</b>		<b>14.783</b>						<b>5.491</b>	<b>4.653</b>	<b>4.640</b>	

DISJUNTOR GERAL - CD 01		
DESCRIÇÃO	POTÊNCIA [kVA]	CORRENTE [A]
CARGA INSTALADA	14.783	22,40
POTÊNCIA DEMANDADA	13.985	21,00

FATOR DE DEMANDA - CD 01		
POTÊNCIA [kVA]	ILUMINAÇÃO E TOMADAS	POTÊNCIA DEMANDADA [kVA]
14.783	86%	12.714

CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO 02 - CD 02															
CIRCUITO	LOCAL	TENSÃO [V]	ILUMINAÇÃO [VA]	PTUG [VA]	PTUE [VA]	CARGA TOTAL DO CIRCUITO [VA]	CORRENTE DE PROJETO [A]	CORRENTE CORRIGIDA [A]	SEÇÃO DO CONDUTOR [mm <sup>2</sup> ]	QUEDA DE TENSÃO < 5%	CONDUTOR DE PROTEÇÃO [mm <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA NAS FASES [VA]			PROTEÇÃO [A]
												R	S	T	
2-I1	AUDITÓRIO	220	1.307	-	-	1.307	5,9	9,0	1,5	OK	1,5	1.307	-	-	15
2-T1	AUDITÓRIO	220	-	480	-	480	2,2	3,3	2,5	OK	2,5	-	480	-	20
2-T2	PLENÁRIO	220	-	1.440	-	1.440	6,5	9,9	2,5	OK	2,5	-	-	1.440	20
2-E1	AR CONDICIONADO	380	-	-	23.250	23.250	35,3	37,6	10,0	OK	10	7.750	7.750	7.750	70
<b>TOTAL</b>			<b>1.307</b>	<b>1.920</b>	<b>23.250</b>	<b>26.477</b>						<b>9.057</b>	<b>8.230</b>	<b>9.190</b>	

DISJUNTOR GERAL - CD 02		
DESCRIÇÃO	POTÊNCIA [kVA]	CORRENTE [A]
CARGA INSTALADA	26.477	16,7
POTÊNCIA DEMANDADA	28.628	18,0

FATOR DE DEMANDA - CD 02		
POTÊNCIA [kVA]	ILUMINAÇÃO E TOMADAS	POTÊNCIA DEMANDADA [kVA]
3.227	86%	2.775
POTÊNCIA [kVA]	AR CONDICIONADO	POTÊNCIA DEMANDADA [kVA]
23.250	100%	23.250
<b>TOTAL</b>		<b>26.025</b>

Para o Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) foi feito o cálculo considerando os fatores de demanda visto anteriormente para cada Centro de Distribuição, analisando a corrente de demanda e da mesma forma determinando o disjuntor de proteção. Para os circuitos de distribuição, utilizou-se eletrocalhas, método de referência B1 e seguiu-se a recomendação do RIC BT, página 18 que informa: os condutores dos circuitos de distribuição devem ter seção mínima de 25 mm<sup>2</sup> em 220/127V e 16 mm<sup>2</sup> em 380/220V e seção máxima de 50 mm<sup>2</sup>.

QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO - QGBT						
CIRCUITO	POTÊNCIA DE DEMANDA [kVA]	CORRENTE DEMANDADA [A]	FASES [220 V]	PROTEÇÃO [A]	CONDUTOR [mm <sup>2</sup> ]	FASES [RST]
CD 01	12.713,6	21,2	3	50	16	RST
CD 02	26.025,3	18,0	3	50	16	RST
<b>TOTAL</b>	<b>38.738,8</b>	<b>39,2</b>	<b>3</b>	<b>80</b>	<b>16</b>	<b>RST</b>

## A8. Eletrodutos

Para fins de dimensionamento dos elementos do projeto como os eletrodutos e eletrocalhas seguiu-se as diretrizes apresentadas no item 3.7.1, utilizando a taxa máxima de ocupação de 40% em todos os condutos da edificação.

Para os ramais de distribuição (entre QGBT, CD 01 e CD 02) foram utilizadas eletrocalhas vazadas, método de referência “E” conforme tabela 33 da NBR 5410, sendo as mesmas dimensionadas de acordo com o trecho mais crítico (29 condutores, com a maior seção de 16 mm<sup>2</sup>). Para os ramais de alimentação, utilizou-se eletrodutos de PVC, modelo de referência A1, considerando quatro casos distintos para cada trecho uma determinada quantidade de condutores: Trechos com 3, 6 e 9 condutores e maior seção do condutor de 2,5 mm<sup>2</sup>, eletroduto que liga o ar condicionado central ao CD 02, com 5 condutores e maior seção de 10 mm<sup>2</sup>. O detalhamento de cálculo e o resultado do dimensionamento pode ser visto na tabela a seguir.

<b>ELETRODUTOS E ELETROCALHAS</b>				
QUANTIDADE DE CONDUTORES	SEÇÃO DO MAIOR CONDUTOR [mm <sup>2</sup> ]	MÉTODO DE REFERÊNCIA	SEÇÃO NOMINAL DO ELETRODUTO [mm <sup>2</sup> ]	DIMENSÃO DA ELETROCALHA [LxA]
3	2,5	A1	16	-
5	10,0	A1	25	-
6	2,5	A1	20	-
9	2,5	A1	25	-
29	16,0	E	-	50x50

**ANEXO A – Especificação técnica do módulo fotovoltaico GCL P6/72 de  
330W**

# GCL-P6/72

ALTA EFICIÊNCIA MÓDULO MULTICRISTALINO

## ESPECIFICAÇÕES ELÉTRICAS (STC)

TIPO (STC)	GCL-P6/72 310	GCL-P6/72 315	GCL-P6/72 320	GCL-P6/72 325	GCL-P6/72 330
Potência Máxima P <sub>max</sub> (W)	310	315	320	325	330
Tensão de Potência Máxima V <sub>m</sub> (V)	37	37,2	37,4	37,6	37,8
Corrente de Potência Máxima I <sub>m</sub> (A)	8,38	8,47	8,56	8,64	8,73
Tensão de Circuito Aberto Voc(V)	45,4	45,6	45,8	46	46,2
Corrente de Curto-circuito Isc(A)	8,99	9,08	9,17	9,24	9,33
Eficiência do Módulo (%)	16,0	16,2	16,5	16,7	17,0
Tolerância da Saída de Potência P <sub>m</sub> (W)	0~+5				

Valores em Condições de Teste Normalizadas STC (Massa de Ar AM1,5, Irradiação 1000 W/m<sup>2</sup>, Temperatura da Célula 25°C).

## DADOS ELÉTRICOS (NOCT)

Potência Máxima P <sub>max</sub> (W)	224,45	227,14	231,2	234,61	237,71
Tensão de Potência Máxima V <sub>m</sub> (V)	33,6	33,8	34,1	34,3	34,5
Corrente de Potência Máxima I <sub>m</sub> (A)	6,68	6,72	6,78	6,84	6,89
Tensão de Circuito Aberto Voc(V)	42,2	42,4	42,5	42,7	42,9
Corrente de Curto-circuito Isc(A)	7,19	7,30	7,38	7,46	7,58

NOCT: Irradiância em 800 W/m<sup>2</sup>, Temperatura Ambiente 20 °C, Força do Vento 1/s

## DADOS GERAIS

Células Solares	Poly 156×156 mm (6 polegadas)
Orientação das Células	72 Células (6×12)
Dimensões do Módulo	1956×992×40 mm (77 × 39,05 × 1,57 polegadas)
Peso	22,5 kg/26 kg
Vidro	Vidro solar de alta transparência 3,2 mm (0,13 polegadas) ou 4 mm (0,16 polegadas)
Placa Traseira	Branca
Estrutura	Prata, Liga de alumínio anodizado
Caixa de Junção	Certificação Ip67
Cabos	4,0 mm <sup>2</sup> (0,006 polegadas <sup>2</sup> ), 1200 mm (47,2 polegadas)
Conector	MC4 Original ou Compatível
Força do vento/ Sobrecarga de neve	2400 Pa/5400 Pa*

\*Para mais detalhes, consultar o manual de instalação da GCLSI

## CLASSIFICAÇÕES DE TEMPERATURA

Célula Operacional Nominal Temperatura (NOCT)	45 ± 2°C
Coefficiente de Temperatura de P <sub>max</sub>	-0,41%/°C
Coefficiente de Temperatura de V <sub>oc</sub>	-0,32%/°C
Coefficiente de Temperatura de I <sub>sc</sub>	+0,055%/°C

## AVALIAÇÕES MÁXIMAS

Temperatura Operacional	-40~ +85°C
Tensão Máxima do Sistema	1000V DC(IEC)
Classificação Máxima dos Fusíveis das Séries	15A

## GARANTIA

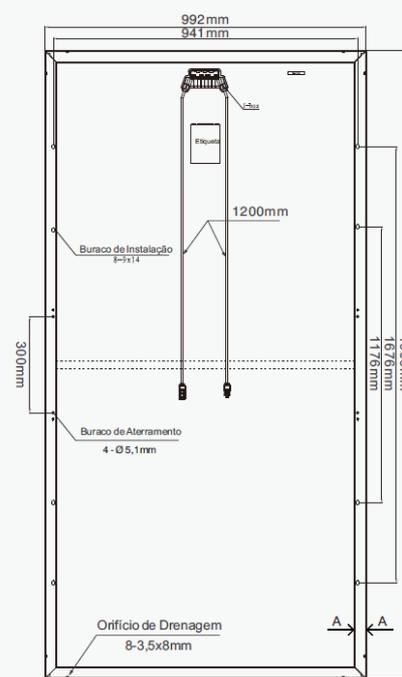
10 anos de Garantia do Produto
25 anos de Garantia de Potência linear

(Deve consultar a garantia padrão da GCL para detalhes)

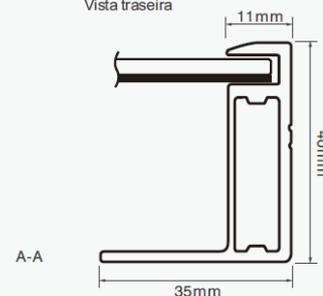
## CONFIGURAÇÃO DA EMBALAGEM

Módulos por caixa: 26 peças
Módulos por 40'HD recipientes: 624 peças

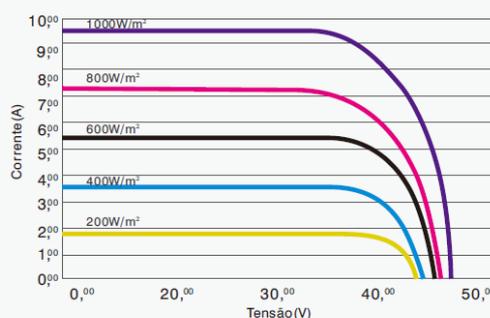
## DIMENSÃO DO MÓDULO



Vista traseira



## CURVAS I-V DO MÓDULO (330W)



Desempenho excelente sob condições de luz fracas: a uma intensidade de irradiação de 200 W/m<sup>2</sup> W/m (AM 1,5, 25 °C), 96,5% ou mais da eficiência sob STC (1000 W/m<sup>2</sup>) é conseguida.

## **ANEXO B – Especificação técnica do inversor PHB20K-DT**



## INVERSOR SOLAR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO CERTIFICADO PELO *INMETRO*

Concessões 005808/2015 e 007126/2016

### Dados Técnicos

Dados da Entrada CC	PHB14K-DT	PHB20K-DT	PHB25K-DT
Max. Potência Fotovoltáica[W]	19500	26000	32500
Max. Tensão CC [V]	800	1000	1000
Faixa de Operação SPMP [V]	260~650	260~850	260~850
Tensão CC de Partida [V]	250	250	250
Corrente CC Máxima [A]	27/27	22/22	27/27
Número de Strings em Paralelo/MPPT	6/2 (permite paralelo)	4/2 (permite paralelo)	6/2 (permite paralelo)
Conector CC	MC IV, SUNCLIX (opcional)		
Consumo em Standby [W]	10	10	10
<b>Dados da Saída CA</b>			
Potência CA Nominal [W]	14000	20000	25000
Max. Potência CA [W]	14660	20000	25000
Max. Corrente CA [A]	37	30	37
Saída Nominal CA	60Hz; 220/127Vca	60Hz; 380/220Vca	
Faixa de Operação CA	57.5~62Hz; 101.6~139.7Vca	57.5~62Hz; 176~242Vca	
THD	<5%		
Fator de Potência	Unitário (0.9 Capacitivo. / 0.9 Indutivo)		
Conexão CA	Trifásico (3F+N+T)		
<b>Eficiência</b>			
Max. Eficiência	98.4%		
Eficiência SPMP	>99.9%		
<b>Segurança do Equipamento</b>			
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado	Integrado	Integrado
Proteção Anti-ilhamento	AFD	AFD	AFD
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777.2/3		
NBR (Normas Brasileiras)	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
<b>Normas de Referência</b>			
EMC	EN 61000-6-1, EN 61000-6-2		
	EN 61000-6-3, EN 61000-6-4		
Segurança	IEC 62109-1, AS3100		
<b>Dados Gerais</b>			
Dimensões (L*A*P) [mm]	516*650*203		
Peso Líquido [kg]	40	39	40
Ambiente de Operação	Interno ou Externo		
Montagem	Fixado na parede		
Temperatura de Operação	-25~60°C (acima 45°C com derate)		
Umidade relativa	0~95%		
Altitude [m]	4000m (>3000m com derate)		
Grau de Proteção IP	IP65		
Topologia	Sem Transformador		
Ventilação	Ventilação Forçada		
Nível de Ruído [dB]	<45		
Display	5" LCD (Português)		
Comunicação	USB2.0 e RS485 (Wi-Fi opcional)		
Cor	Vermelho		
Garantia [anos]	5/10/15/20/25 (opcional)		

#### Suporte Técnico

A PHB mantém uma estrutura de equipamentos calibrados, "setups" de testes e técnicos treinados, para proporcionar aos seus clientes um rápido serviço de reparo.

#### Atende a todas as tensões do PRODIST

Atenta as divergências da rede Brasileira, a PHB oferece um software que permite alterar as faixas de operação, que permite a instalação em qualquer parte do território nacional.

Para obter mais informações sobre qualquer um de nossos produtos ou serviços, visite-nos na Web em:

[www.phb.com.br](http://www.phb.com.br)

Tel: 3835-8300

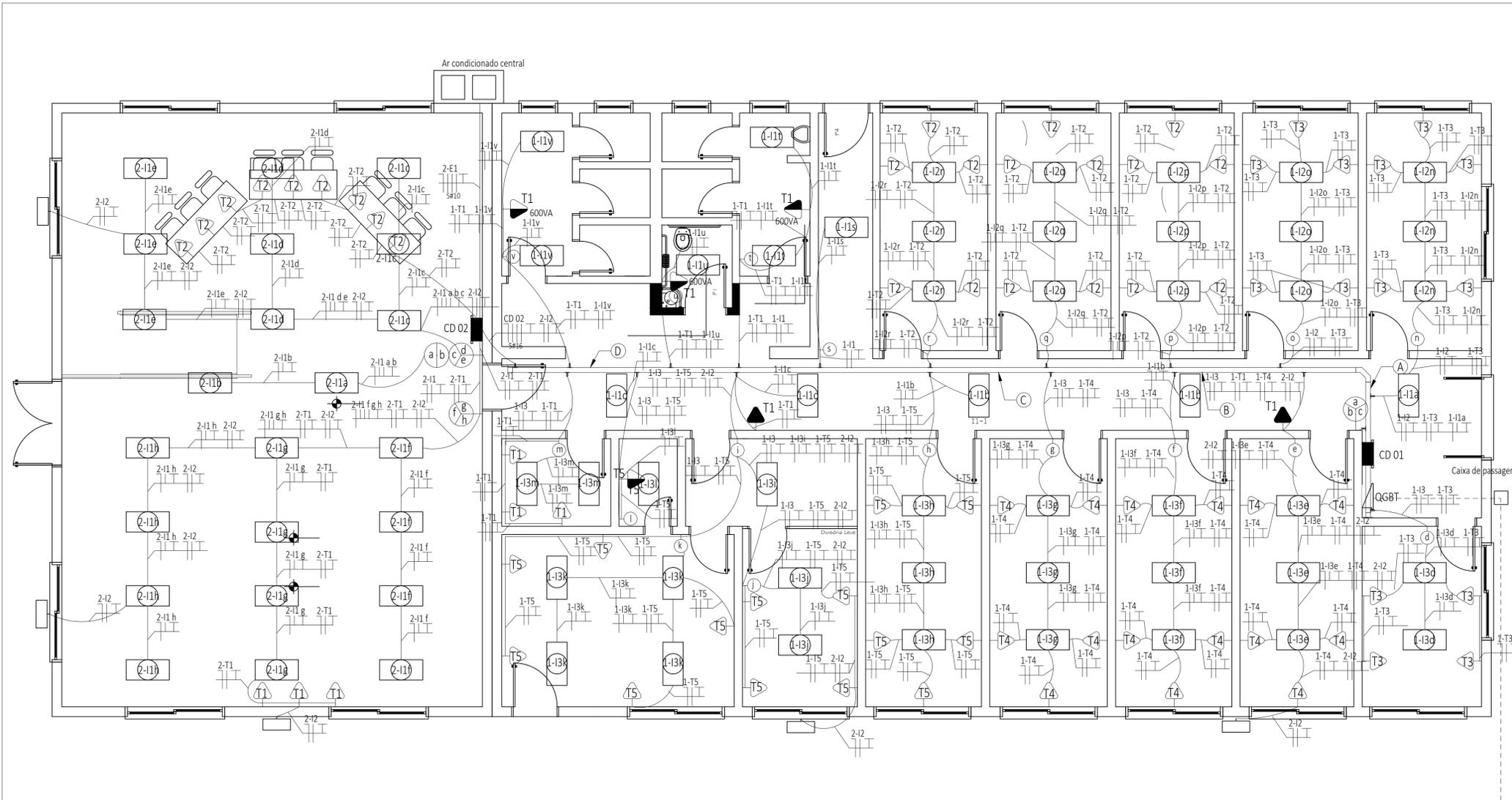
Email: [engenharia@phb.com.br](mailto:engenharia@phb.com.br)

**ANEXO C – Especificação técnica do ar condicionado central Carrier  
40MZB240**



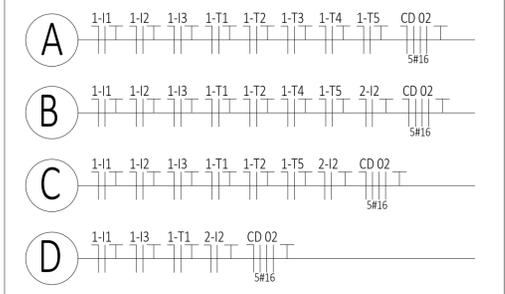
## **ANEXO D – Projeto elétrico**

# DISTRIBUIÇÃO DE CARGAS – ILUMINAÇÃO E TOMADAS (ESCALA 1/50)

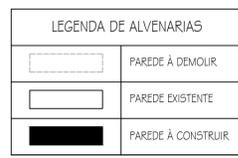
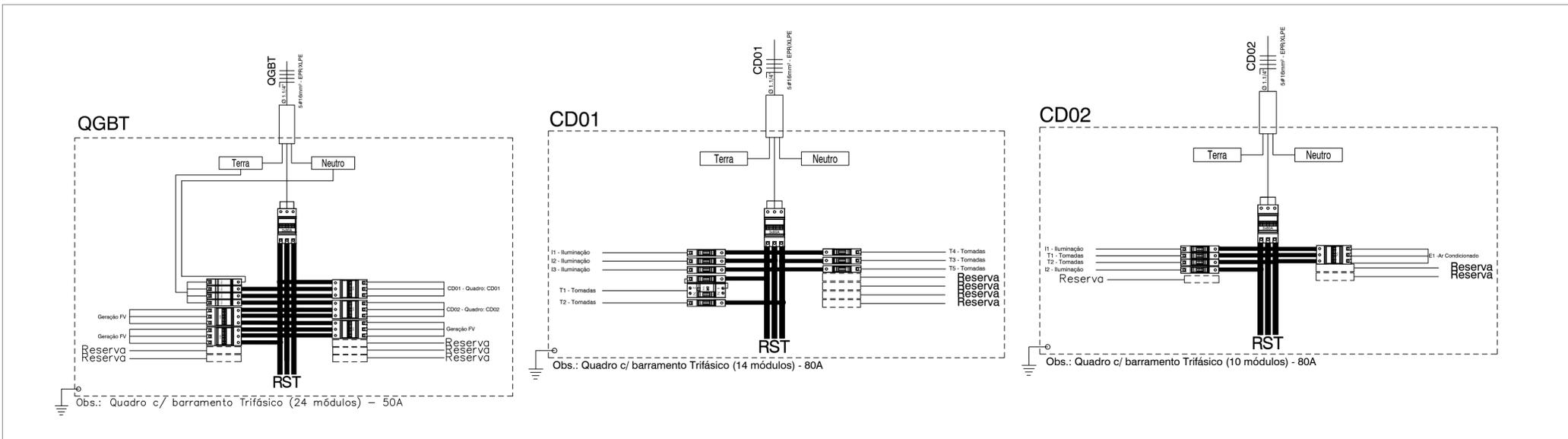


## LEGENDAS

- Tomada de uso geral, 20A instalada na parede - 30cm de altura, 100VA;
- Tomada de uso geral, 20A instalada na parede - 220cm de altura, 100VA;
- Tomada de uso geral, 20A instalada na parede - 130cm de altura, 100VA;
- Interruptor de 1 secção, 130cm de altura - retorno x;
- Interruptor de 2 secções, 130cm de altura - retornos x e y;
- Interruptor de 3 secções, 130cm de altura - retornos x, y e z;
- Luminária Phillips TLD 36W/840 - CD 02, circuito I2 e retorno x;
- Luva de acabamento para eletrocalha;
- Curva horizontal de 90° para eletrocalha metálica com tampa;
- Luva de saída de eletroduto da eletrocalha;
- Indicação dos circuitos - Neutro, Fase, Retorno e Terra, respectivamente - CD 01 e circuito T1.



## DIAGRAMAS MULTIFILARES



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

TRABALHO:  
**PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

REFERÊNCIA:  
**PROJETO ELÉTRICO - ANEXO D** DATA:  
 07/12/2018

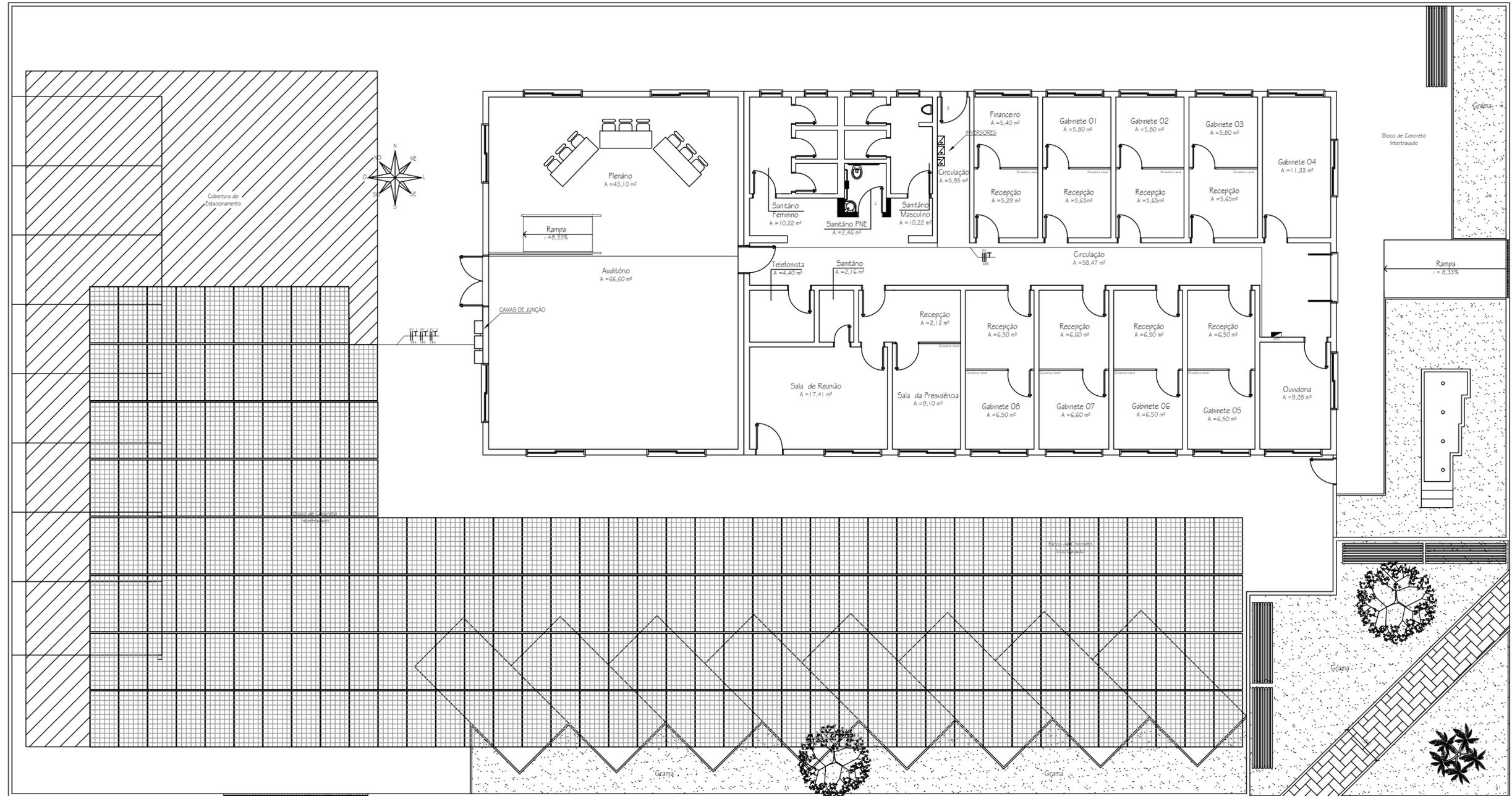
ALUNO:  
**FELIPE POLETTO BENVENGNÚ** ESCALA:  
 1:50

## **ANEXO E – Localização de entrada de energia**



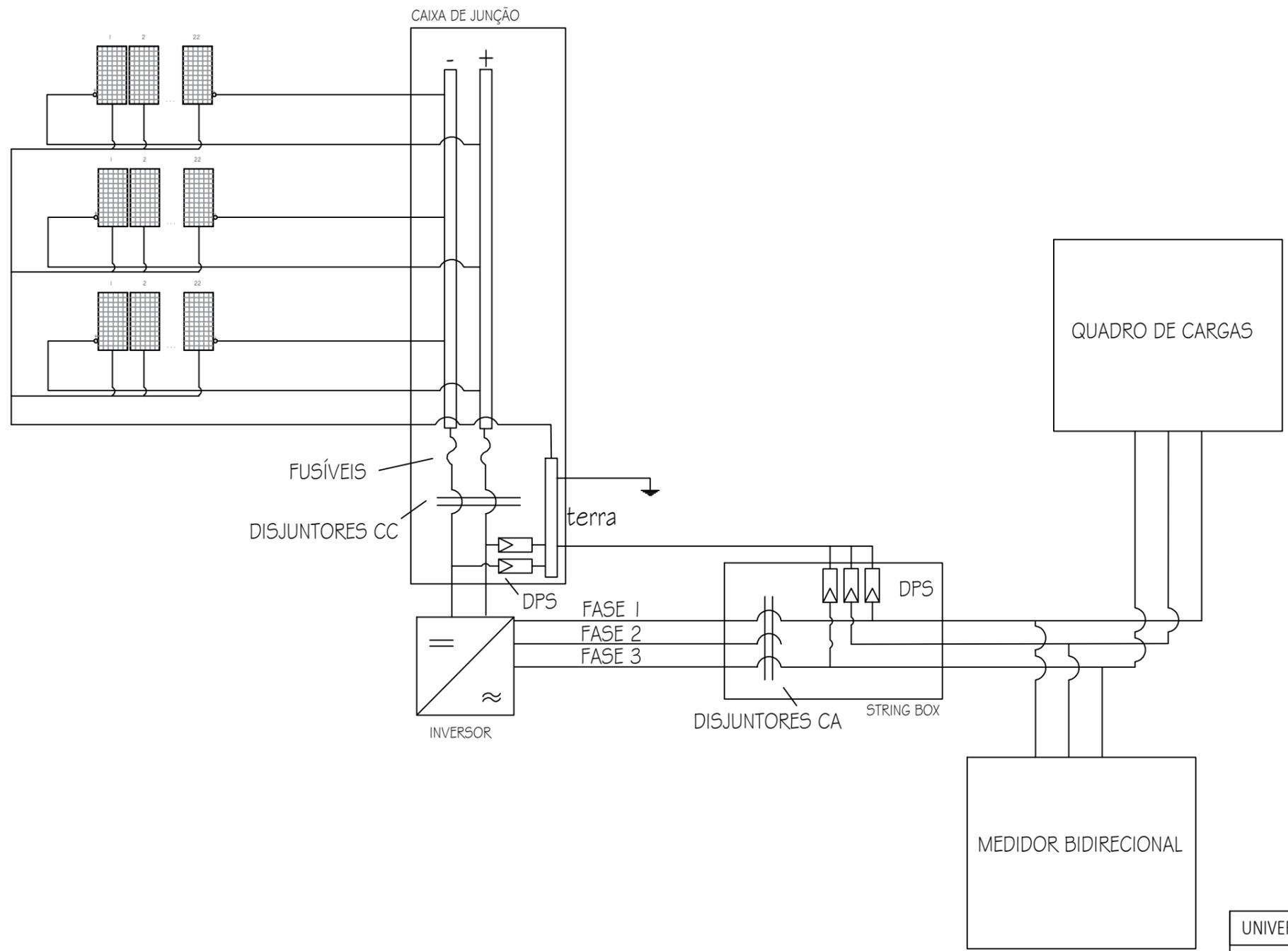
## **ANEXO F – Projeto fotovoltaico**

# SISTEMA FOTOVOLTAICO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	
REFERÊNCIA: PROJETO FOTOVOLTAICO	DATA: 07/12/2018
ALUNO: FELIPE POLETO BENVENÚ	ESCALA: 1:100

## **ANEXO G – Diagrama unifilar do sistema fotovoltaico**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO ELÉTRICO ALIADO AO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	
REFERÊNCIA: DIAGRAMA MULTIFILAR	DATA: 07/12/2018
ALUNO: FELIPE POLETTO BENVENÚ	ESCALA: SEM ESCALA