

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

PEDRO SALGADO PLENTZ

**PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO À
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA – ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA**

Porto Alegre

2019

PEDRO SALGADO PLENTZ

**PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO À
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA – ANÁLISE 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: Sérgio Luiz Cardoso da Silva

Porto Alegre

2019

PEDRO SALGADO PLENTZ

**PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO À
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA – ANÁLISE 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, Julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Fausto Bastos Líbano (UFRGS)
Dr. Pela Universidade Politécnica de Madrid

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, por ter me estimulado e fornecido tudo o que foi necessário durante a minha trajetória na Universidade.

Agradeço aos amigos que fiz durante o curso de Engenharia Civil, que tanto me ajudaram e tornaram a vivência acadêmica mais produtiva.

Agradeço às oportunidades que tive dentro da UFRGS, especialmente à EPR Consultoria, que teve papel fundamental na minha formação pessoal e profissional.

Agradeço aos professores que se esforçaram de maneira genuína para transmitir seus conhecimentos aos alunos da Universidade.

Por fim, agradeço ao Professor Sérgio Luiz Cardoso da Silva, por demonstrar imensa disponibilidade e solicitude no decorrer da orientação deste trabalho.

RESUMO

Ao passo em que o avanço da tecnologia e o crescimento populacional acarretam uma demanda cada vez maior de energia elétrica, novas fontes e formas de gerar energia são desenvolvidas com o intuito de aumentar a produção, diminuir os custos e perdas do processo, e reduzir os impactos sociais e ambientais causados. Dentre elas está a energia fotovoltaica. A geração de energia solar fotovoltaica é uma alternativa às principais fontes de produção de energia utilizadas no mundo atualmente, e diferente destas, não gera danos às pessoas ou à natureza, e utiliza um recurso infinito, a luz solar. Com a constante evolução dos estudos referentes a esse tipo de energia, a facilidade de acesso e o estímulo ao consumo e produção da mesma estão cada vez maiores, e nesse contexto surgiram alternativas como a microgeração de energia conectada à rede pública, permitindo que unidades consumidoras possam produzir a energia que consomem e serem compensadas pelo excedente gerado, evitando o desperdício e reduzindo os custos para os usuários. No Brasil também há incentivos para a microgeração de energia fotovoltaica, e para que isso seja permitido, a instalação elétrica e o sistema de geração precisam estar corretamente dimensionados e de acordo com as normas vigentes referentes ao tema, para garantir que a instalação seja eficiente e segura. O presente trabalho apresenta as etapas necessárias para a elaboração de um projeto de instalações elétricas aliado a um sistema de geração de energia fotovoltaico conectado à rede pública, e também um estudo de caso aplicando estas mesmas etapas e analisando o retorno econômico da microgeração de energia solar em uma edificação residencial.

Palavras-chave: Projeto de Instalações Elétricas. Microgeração de Energia Fotovoltaica. Viabilidade Econômica.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes e tipos de circuitos de uma instalação.....	22
Figura 2 - Tipos de condutores	24
Figura 3 - Disjuntor termomagnético tripolar.....	48
Figura 4 - Curva C de disjuntor termomagnético	49
Figura 5 - Exemplo de quadro de cargas	54
Figura 6 - Entrada de serviço subterrânea	59
Figura 7 - Sistema Off Grid.....	61
Figura 8 - Sistema On Grid	62
Figura 9 - Funcionamento de um módulo fotovoltaico	65
Figura 10 - Associações de painéis solares	67
Figura 11 - Diagrama unifilar de conexão de sistema de microgeração à rede de baixa tensão	72
Figura 12 – Edificação estudada.....	75
Figura 13 - Cômodos e ambientes	75
Figura 14 - Irradiação solar em Osório.....	88
Figura 15 - Espaçamento entre painéis solares.....	91
Figura 16 - Posicionamento dos painéis na laje da edificação	91
Figura 17 - Suporte regulável para painéis solares.....	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Seção mínima do condutor fase	26
Quadro 2 - Seção reduzida do condutor neutro	27
Quadro 3 - Seção mínima do condutor de proteção	27
Quadro 4 - Método de referência para instalação das linhas elétricas.....	30
Quadro 5 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 36 da NBR 5410).....	36
Quadro 6 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 37 da NBR 5410).....	37
Quadro 7 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 38 da NBR 5410).....	38
Quadro 8 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 39 da NBR 5410).....	39
Quadro 9 - Fator de correção para temperatura	41
Quadro 10 - Fatores de correção para agrupamento de condutores	42
Quadro 11 - Fator de demanda para iluminação e tomadas	56
Quadro 12 - Fator de demanda para aparelhos de aquecimento.....	57
Quadro 13 - Fator de demanda para aparelhos de ar condicionado.....	57
Quadro 14 - Dimensionamento da entrada de serviço.....	60
Quadro 15 - Cargas de iluminação	77
Quadro 16 - Carga de tomadas	78
Quadro 17 - Circuitos de Iluminação e tomadas	80
Quadro 18 - Dimensionamento de condutores	81
Quadro 19 – Disjuntores dos circuitos terminais.....	83
Quadro 20 - Demanda de energia	84
Quadro 21 - Quadro de cargas	86
Quadro 22 - Dimensionamento CDs	87
Quadro 23 - Irradiação solar em Osório	88
Quadro 24 - Componentes corrente contínua	93
Quadro 25 - Componentes corrente alternada	94
Quadro 26 - Custos de instalação	96
Quadro 27 - Custos de manutenção do sistema.....	96
Quadro 28 - Economia mensal gerada.....	97
Quadro 29 - VPL do projeto	98

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

NBR – Norma Brasileira

RIC – Regulamento de Instalações Consumidoras

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE SÍMBOLOS

° - Graus
°C - Graus Celsius
A – Ampere
cos ϕ – Fator de potência
D – Demanda de energia (VA)
h – Horas
HSP – Horas de sol pleno (h)
I – Corrente elétrica (A)
I_b – Corrente de projeto (A)
I_n – Corrente nominal (A)
I_z – Capacidade de condução de corrente (A)
kA – Quiloampere
kVA – Quilovoltampere
kW – Quillowatt
kWh – Quilowatt-hora
kWp – Quilowatt-pico
L – Comprimento (m)
m² – Metro quadrado
mA – Miliampere
mm – Milímetros
mm² – Milimetro quadrado
MW – Megawatt
P – Potência elétrica (W)
P_{inst} – Potência instalada
P_n – Potência nominal
R\$ – Reais
R – Resistência elétrica dos condutores (Ohm/m)
s – Segundos
X – Reatância indutiva dos condutores (Ohm/m)
v – Tensão elétrica (V)
V – Tensão elétrica (V)
V_{oc} – Tensão de circuito aberto (V)

VA – Volt-ampère

W – Watt

Wh – Watt-hora

Wp – Watt-pico

η – Rendimento

ρ – Resistividade (Ohm)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DIRETRIZES DO ESTUDO	14
2.1 QUESTÃO DE ESTUDO	14
2.2 OBJETIVO DO TRABALHO.....	14
2.3 PREMISSA.....	14
2.4 DELIMITAÇÕES.....	15
2.5 LIMITAÇÕES	15
2.6 DELINEAMENTO.....	15
3 PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	17
3.1 NORMATIZAÇÃO.....	17
3.2 PREVISÃO DE CARGA INSTALADA	18
3.2.1 CARGAS DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS.....	18
3.2.2 CARGAS MÍNIMAS DE ILUMINAÇÃO	18
3.2.3 CARGAS MÍNIMAS DE TOMADAS	19
3.3 LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO	20
3.4 DIVISÃO DA CARGA EM CIRCUITOS	21
3.4.1 TIPOS DE CIRCUITOS.....	21
3.4.2 CRITÉRIOS PARA DIVISÃO DA INSTALAÇÃO EM CIRCUITOS	22
3.5 CONDUTORES ELÉTRICOS.....	23
3.5.1 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES	25
3.5.1.1 SEÇÕES MÍNIMAS DOS CONDUTORES.....	25
3.5.1.2 CAPACIDADE DE CONDUÇÃO CORRENTE DOS CONDUTORES	28
3.5.1.3 FATORES DE CORREÇÃO DA CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE	40
3.5.1.4 QUEDA DE TENSÃO	43
3.6 ELETRODUTOS	45
3.6.1 TAXA MÁXIMA DE OCUPAÇÃO.....	46
3.6.2 COMPRIMENTO MÁXIMO DE TRECHOS DE ELETRODUTOS	46
3.6.3 CAIXAS DE DERIVAÇÃO	47
3.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	47
3.7.1 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS	48

3.7.1.1 DIMENSIONAMENTO DE DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS.....	50
3.7.2 ATERRAMENTO	50
3.7.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	52
3.7.4 DISPOSITIVOS DIFERENCIAIS RESIDUAIS	53
3.8 QUADRO DE CARGAS	53
3.9 DEMANDA DE ENERGIA.....	55
3.9.1 DEMANDA DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS	56
3.9.2 DEMANDA DE APARELHOS DE AQUECIMENTO	57
3.9.3 DEMANDA DE APARELHOS DE AR CONDICIONADO	57
3.10 FORNECIMENTO DE ENERGIA	58
3.10.1 ENTRADA DE SERVIÇO.....	58
3.10.2 DIMENSIONAMENTO DA ENTRADA DE SERVIÇO	59
4 MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR	61
4.1 NORMATIZAÇÃO.....	62
4.2 COMPONENTES DO SISTEMA.....	63
4.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	64
4.2.1.1 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS	65
4.2.1.2 ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	66
4.2.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	67
4.2.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO.....	69
4.2.3.1 ATERRAMENTO	69
4.2.3.2 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS	69
4.2.3.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	70
4.2.3.4 DISPOSITIVO DE SECCIONAMENTO VISÍVEL	70
4.2.4 MEDIDOR BIDIRECIONAL	70
4.2.5 CABOS E ELETRODUTOS.....	71
4.3 DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO.....	71
4.4 DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS	72
4.4.1 POTÊNCIA DE GERAÇÃO NECESSÁRIA	72
4.4.1.1 HORA DE SOL PLENO	73
4.4.1.2 RENDIMENTO.....	73
5 PROJETO ELÉTRICO	74
5.1 EDIFICAÇÃO ESTUDADA	74

5.2 FORNECIMENTO DE ENERGIA	76
5.3 CARGA PREVISTA	76
5.3.1 CARGA DE ILUMINAÇÃO	76
5.3.2 CARGA DE TOMADAS	78
5.4 CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO	79
5.4.1 DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS CD	79
5.4.2 CIRCUITOS TERMINAIS	79
5.4.2.1 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES	81
5.4.2.2 DIMENSIONAMENTO DE ELETRODUTOS.....	82
5.4.2.3 PROTEÇÕES DOS CIRCUITOS TERMINAIS	82
5.5 DEMANDA DE ENERGIA.....	84
5.6 FORNECIMENTO DE ENERGIA	84
5.6.1 ENTRADA DE SERVIÇO.....	84
5.6.2 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO GERAL	85
5.6.3 QUADRO DE CARGAS	85
5.6.4 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E PROTEÇÕES.....	86
6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	87
6.1 CONDIÇÕES DE IRRADIAÇÃO.....	87
6.2 DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA NECESSÁRIA	89
6.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	90
6.4 DISTANCIAMENTO ENTRE MÓDULOS.....	90
6.5 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS.....	91
6.6 INVERSOR	92
6.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E CABOS	93
6.8 ARRANJO FINAL DO SISTEMA	94
7 VIABILIDADE ECONÔMICA	95
7.1 CUSTOS.....	95
7.1.1 CUSTOS DE INSTAÇÃO E MANUTENÇÃO	95
7.1.2 TARIFA DA CONCESSIONÁRIA	96
7.2 RETORNO DO INVESTIMENTO.....	97
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
REFERÊNCIAS	101
ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO ELÉTRICO	102

ANEXO B - QUANTIFICAÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE MATERIAIS	110
ANEXO C – PROJETO ELÉTRICO DO TÉRREO.....	112
ANEXO D – PROJETO ELÉTRICO DO SUBSOLO E ENTRADA DE SERVIÇO.....	114
ANEXO E – DIAGRAMAS UNIFILARES E MULTIFILARES	116
ANEXO F – ARRANJO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	118
ANEXO G – FICHA TÉCNICA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	120
ANEXO H – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR	123

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de recursos e formas de geração de energia é algo que esteve constantemente em pauta nas últimas décadas. O constante crescimento da população e o surgimento de avanços tecnológicos que demandam cada vez mais energia elétrica acarretam o aumento das preocupações com este tema, tanto no que diz respeito à elevação do consumo quanto à necessidade mitigar os danos causados pelos processos de geração da mesma, que envolvem poluição, desmatamento, aumento do efeito estufa, impactos sociais, entre outros.

De acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), a maior parte da energia elétrica gerada no mundo é proveniente de combustíveis fósseis e outras fontes não renováveis, que além de utilizarem recursos finitos, são grandes causadoras de danos ao planeta. Dado esse contexto, novas formas de geração de energia vem sendo estudadas e há cada vez mais estímulo para a utilização de fontes sustentáveis, dentre elas a energia solar fotovoltaica.

No cenário Brasileiro houve bastante estímulos para a produção e consumo de energia solar fotovoltaica nas últimas décadas, e um dos marcos desse avanço foi a resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL, que passou a permitir a geração de energia renovável conectada à rede de distribuição através de um sistema de compensação do excedente produzido.

Os custos de implementação de um sistema de geração fotovoltaico ainda são altos, mas os crescentes estímulos a nível nacional e global e o desenvolvimento de novas tecnologias vem tornando essa solução cada vez mais atrativa, tanto do ponto de vista social e ambiental quanto do ponto de vista econômico. Por esse motivo, diversas unidades consumidoras de energia como residências, condomínios, estabelecimentos comerciais e industriais, tem buscado a implementação desse sistema.

É importante salientar que estabelecimentos que busquem essa alternativa de geração de energia solar conectada à rede elétrica devem estar adequados às normas vigentes quanto às instalações elétricas e à instalação fotovoltaica, e o correto dimensionamento e compatibilização das instalações para a otimização do fluxo de energia, bem como harmonia entre consumo e produção, é importante para que se possa extrair o máximo benefício desse tipo de sistema.

Com o intuito de estudar mais a fundo o processo de implementação e os benefícios de um sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica no que tange a parte de instalações elétricas, a seguir serão analisadas as etapas da elaboração de um projeto de instalações elétricas de baixa tensão, os critérios de análise e recomendações para a instalação de um sistema fotovoltaico, bem como o dimensionamento de ambos os sistemas e análise da viabilidade econômica da geração de energia solar de uma residência unifamiliar.

2 DIRETRIZES DO ESTUDO

A seguir serão listadas as diretrizes utilizadas para elaboração do estudo e projeto construídos neste trabalho.

2.1 QUESTÃO DE ESTUDO

O trabalho busca responder as seguintes questões: Qual a viabilidade da instalação de um sistema de geração de energia solar em uma residência? Quais são os passos e processos necessários para dimensionar e projetar esta instalação?

2.2 OBJETIVO DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo principal a elaboração de um projeto de instalações elétricas e do dimensionamento de um sistema de geração de energia fotovoltaica conectada à rede de distribuição em uma residência, bem como analisar o retorno financeiro proveniente do mesmo.

2.3 PREMISSA

Neste trabalho é assumido como premissa que um sistema de microgeração de energia fotovoltaica instalado em uma residência unifamiliar no Rio Grande do Sul é economicamente viável no longo prazo. Também é pressuposto que o preço da energia elétrica no país seja crescente ao longo dos anos, bem como os preços dos equipamentos e serviços necessários à instalação do sistema, ambos conforme as taxas estabelecidas no estudo de caso.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho se restringe à descrição de etapas e elaboração de um projeto elétrico e implementação de um sistema fotovoltaico, não sendo abordados projetos para fluxo de sinais como os de comunicação e imagem. O dimensionamento do projeto elétrico é limitado aos componentes que fazem a transmissão de energia e proteção entre a fonte e os pontos de utilização, como condutores, eletrodutos, não incluindo componentes que venham a ser utilizados na residência, como lâmpadas, motores ou outros acessórios utilizados na instalação.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) utilizar as diretrizes do Regulamento de Instalações Consumidoras da CEEE, versão 1.5 de junho de 2018 para o projeto de instalações elétricas e para a implementação do sistema de microgeração de energia fotovoltaica;
- 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 do sistema fotovoltaico somente para a instalação do estudo de caso.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho é composto das seguintes etapas:

- 1) Introdução: Uma breve introdução ao tema e ao conteúdo a ser abordado no trabalho;
- 2) Requisitos para elaboração de um projeto elétrico: Nessa etapa foram descritos os passos necessários para a realização de um projeto de instalações elétricas de baixa tensão em uma

edificação, considerando principalmente as recomendações da NBR 5410 e o regulamento da concessionária de energia, mas também levando em conta a comodidade e praticidade da instalação para a o usuário;

3) Requisitos para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico: Nesta etapa foram estabelecidos os requisitos para implementação de um sistema de microgeração fotovoltaica considerando as recomendações da ANEEL, do regulamento da concessionária e da NBR 16274;

4) Dimensionamento de projeto elétrico em um estudo de caso: Os estudos vistos na etapa 2 foram aplicados em um estudo de caso, e os resultados obtidos e os componentes dimensionados foram relacionados nesta etapa do trabalho;

5) Dimensionamento de um sistema fotovoltaico e análise econômica aplicada em estudo de caso: As recomendações e passos para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico vistos na etapa 3 foram aplicadas no estudo de caso envolvido, trazendo como resultado as características, quantidades e arranjo dos componentes do sistema, também avaliando os custos da implementação e a viabilidade econômica da mesma;

6) Considerações finais: Foram apresentadas as conclusões referentes ao estudo e análises desenvolvidos.

3 PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Este capítulo tem como objetivo descrever os passos necessários para a elaboração de um projeto de instalações elétricas de baixa tensão.

O projeto de instalações elétricas tem como objetivo descrever e ilustrar de forma clara, todos os materiais utilizados, localizações e configurações dos mesmos, possibilitando a execução in loco. O objetivo da execução do projeto de instalações elétricas é garantir a transferência de energia entre a fonte de distribuição da rede concessionária até cada ponto de utilização de equipamentos que utilizem energia elétrica, proporcionando comodidade e segurança para o usuário da edificação.

Para a elaboração deste capítulo foram utilizados principalmente os conhecimentos adquiridos na disciplina da Instalações Elétricas Prediais e as normas técnicas associadas ao tema.

3.1 NORMATIZAÇÃO

Para garantir o funcionamento das instalações elétricas conforme padrão nacional estabelecido, de forma a garantir a viabilidade e segurança da instalação, é recomendada a utilização das seguintes normas:

- NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004): Instalações Elétricas de Baixa tensão;
- Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D ou norma regulamento da concessionária responsável pelo fornecimento da energia local.

Respeitando as recomendações da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), os elementos gráficos em planta devem ser elaborados de forma a seguir diretrizes da Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC):

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

3.2 PREVISÃO DE CARGA INSTALADA

As cargas em uma instalação elétrica são dimensionadas para abastecer os equipamentos e aparelhos que serão utilizados na edificação de forma a prover o conforto e acessibilidade à utilização do empreendimento. A NBR 5410 divide as cargas de uma instalação elétrica em duas categorias e estabelece a previsão mínima para o dimensionamento de cada uma delas: a categoria de iluminação e a categoria de tomadas. Enquanto a iluminação deve ser prevista com uma potência mínima para promover a utilização e acesso aos ambientes na ausência de luz solar, as cargas de tomadas são dimensionadas para atender a utilização de quaisquer equipamentos elétricos que possam ser utilizados na instalação. É claro, embora haja os critérios mínimos de dimensionamento, que em sua maioria se baseiam na área e perímetro dos ambientes da residência, equipamentos fixos, como ar condicionados, chuveiros, entre outros, que consomem uma quantidade considerável de energia, devem ter suas posições e potências pré-estabelecidas de acordo com critérios de comodidade ou conforme a preferência do proprietário. Nos tópicos a seguir serão descritos os principais critérios para definição da quantidade de pontos e potências das cargas a serem instaladas em uma edificação em baixa tensão.

3.2.1 CARGAS DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS

Para dimensionamento das cargas de iluminação e tomadas instaladas na residência foram utilizados os critérios da NBR 5410, bem como adicionados pontos e cargas extras com o intuito de garantir maior comodidade na utilização da instalação. Os critérios para definição da quantidade mínima de pontos de iluminação e tomadas para o dimensionamento de uma instalação elétrica residencial serão descritos a seguir.

3.2.2 CARGAS MÍNIMAS DE ILUMINAÇÃO

Para instalações elétricas em estabelecimentos não comerciais, a carga de iluminação mínima deve ser dimensionada conforme a NBR 5410, que estabelece as seguintes condições:

- Em cada cômodo deve ser previsto pelo menos um ponto fixo de luz no teto, comandado por interruptor. *Admite-se que o ponto de luz fixo no teto seja substituído por ponto na parede em

espaços sob escada, depósitos, despensas, lavabos e varandas, desde que de pequenas dimensões e onde a colocação do ponto no teto seja de difícil execução ou não conveniente.

- Carga mínima de 100 VA para cômodos com área de até 6m²;
- Em cômodos com mais de 6m², carga mínima de 100VA para os primeiros 6m² e 60 VA para cada 4m² inteiros excedentes.

Além dos critérios mínimos, deve-se dar atenção à utilização dos ambientes, tanto internos quanto externos, e prever pontos de iluminação que garantam o conforto do usuário. Para garantir a qualidade da iluminação em ambientes de trabalho, deve-se seguir recomendações da NBR/ISO 8995.

3.2.3 CARGAS MÍNIMAS DE TOMADAS

A NBR 5410 estabelece a necessidade mínima de pontos de tomadas de uso geral (TUG) e cargas por pontos para cada ambiente conforme o perímetro de cada espaço, definindo as seguintes condições:

Segundo o item 9.5.2.2.1, quanto à quantidade de pontos de tomada, deve haver:

- Pelo menos um ponto de tomada próximo ao lavatório em banheiros;
- Um ponto para cada 3,5m, ou fração, de perímetro em copas, cozinhas e áreas de serviço, havendo pelo menos dois pontos de tomadas de corrente acima da bancada da pia;
- Um ponto para cada 5m, ou fração, de perímetro em salas e dormitórios, devendo os pontos estarem o mais uniformemente espaçados possível.

As potências de tomadas devem ser atribuídas conforme os equipamentos previstos para utilização, respeitando também os critérios mínimos estabelecidos pela norma:

- Em banheiros, cozinhas, copas, copas-cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos, no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até três pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, considerando-se cada um desses ambientes separadamente. Quando o total de tomadas no conjunto desses ambientes for superior a seis pontos, admite-se que o critério de

atribuição de potências seja de no mínimo 600 VA por ponto de tomada, até dois pontos, e 100 VA por ponto para os excedentes, sempre considerando cada um dos ambientes separadamente;

- No mínimo 100 VA por ponto de tomada para demais cômodos.

- 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 aos pontos de tomada desses ambientes deve ser atribuída uma potência de no mínimo 1000 VA;

Além das tomadas de uso geral, também devem ser previstas tomadas de uso específico (TUE), sendo dimensionadas para equipamentos que estarão sempre conectados a determinados pontos, como equipamentos de refrigeração, motores, entre outros. Assim como no dimensionamento das cargas de iluminação, o dimensionamento das cargas de tomadas deve levar em consideração, além dos critérios mínimos, as necessidades do usuário da edificação.

3.3 LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO

Após o dimensionamento das cargas a serem instaladas na edificação conforme critérios mínimos e de conforto de cada ambiente, é necessário definir como esses pontos serão distribuídos e alimentados. A alimentação dos pontos de iluminação e tomadas ocorre através dos centros de distribuição (CDs), que recebem a energia da rede de distribuição e a transmitem para os circuitos terminais. O critério para melhor posicionamento do centro distribuição é que o mesmo fique equidistante das cargas previstas na edificação, levando em consideração a potência das mesmas, ou seja, mais próximo de cargas maiores e mais distante de cargas menores. Isso faz com que o dimensionamento dos condutores e eletrodutos seja otimizado. E além disso, também devem ser respeitados critérios de segurança, estética e comodidade, de forma que haja fácil acesso ao CD, que ele não destoe do ambiente e não esteja em local de frequente presença humana ou em áreas molhadas, evitando oferecer riscos em caso de imprevisto ou falha no sistema. Para traçar os eixos de posicionamento ideal do CD, deve-se buscar os centros de carga nos eixos vertical e horizontal de cargas da planta, que neste caso chamaremos de eixos X e Y, respectivamente. Para encontrar tais centros deve-se utilizar a média das distâncias dos pontos ponderadas pelas suas respectivas cargas, através das seguintes equações:

$$X = \frac{\sum Xi * Pi}{\sum Pi} \text{ e } Y = \frac{\sum Yi * Pi}{\sum Pi}$$

Onde X_i e representa a distância entre uma carga “i” e um referencial qualquer estabelecido como ponto zero do eixo X, e Y_i representa a distância do referencial do eixo Y, analogamente. Já P_i representa a potência total da carga prevista no ponto “i”.

Após encontradas as coordenadas do centro de cargas, deve-se posicionar o CD de forma a atender os demais critérios de segurança, estética e comodidade.

3.4 DIVISÃO DA CARGA EM CIRCUITOS

Os circuitos de uma instalação são constituídos por conjuntos de condutores que conduzem corrente elétrica desde a rede de distribuição até os pontos de utilização. A divisão em circuitos permite que em caso de falhas ou necessidade de manutenção, os mesmos sejam seccionados individualmente sem interferir no funcionamento de outros equipamentos ou pontos de carga.

Após dimensionamento, as cargas projetadas para a instalação elétrica devem ser divididas em circuitos, de modo a facilitar a manutenção dos pontos de carga, promover segurança à instalação e dividir os ambientes da residência.

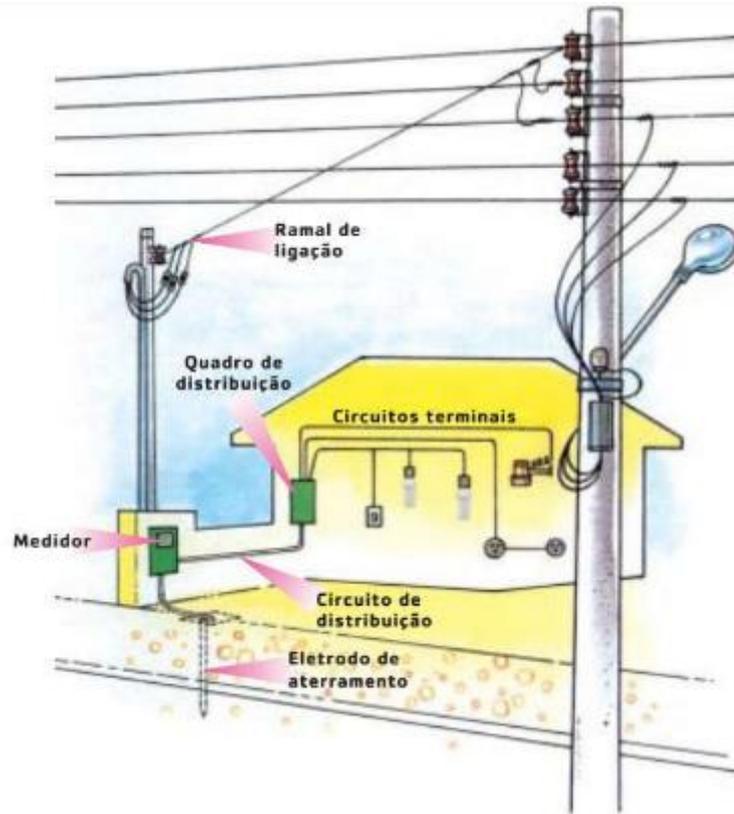
3.4.1 TIPOS DE CIRCUITOS

Uma instalação elétrica residencial é composta por dois tipos de circuitos, que tem função de transmitir a energia proveniente do fornecimento da concessionária até os pontos de utilização da residência. Os componentes que interligam os circuitos serão melhor descritos posteriormente. Os tipos de circuito são os seguintes:

- Circuitos de Distribuição: Ligam o quadro do medidor aos centros de distribuição da residência (CDs), diretamente ou passando por um quadro geral de baixa tensão (QGBT).
- Circuitos Terminais: Ligam o centro de distribuição aos pontos de utilização (iluminação e tomadas).

Compreende-se melhor a função de cada circuito a partir da figura a seguir.

Figura 1 - Componentes e tipos de circuitos de uma instalação



(fonte: <http://www.portaleletricista.com.br/qual-a-importancia-do-diagrama-eletrico-em-uma-instalacao-eletrica/>)

3.4.2 CRITÉRIOS PARA DIVISÃO DA INSTALAÇÃO EM CIRCUITOS

Conforme visto anteriormente, a divisão da instalação em circuitos tem como objetivo proporcionar segurança e praticidade na utilização da edificação, tornando ambientes e equipamentos independentes quando há desligamento por falhas ou necessidade de manutenção. Logo, devem ser respeitados os critérios técnicos expostos a seguir, mas também deve-se pensar na comodidade do usuário para realização de eventuais manutenções. A NBR 5410 estabelece algumas restrições quanto à divisão e capacidade de condução de corrente dos circuitos. São eles:

- Os pontos de tomada de cozinhas, copas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos devem ser atendidos por circuitos exclusivamente destinados à alimentação de tomadas desses locais;
- 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. Em locais de habitação são permitidos circuitos comuns à iluminação e tomadas desde que as seguintes restrições sejam cumpridas:
 - a) A corrente do circuito comum não deve ser superior a 16A;
 - b) A totalidade dos pontos de iluminação não pode ser alimentada somente por um circuito caso o mesmo seja comum (iluminação e tomadas);
 - c) A totalidade de pontos de tomadas, excluídos os utilizados para áreas molhadas (copas, cozinhas, áreas de serviço, lavanderias e locais análogos), não pode ser alimentada por um só circuito caso o mesmo seja comum (iluminação e tomadas)
- 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;
- Todo ponto de utilização previsto para alimentar equipamento com corrente nominal superior a 10A deve constituir um circuito independente.

3.5 CONDUTORES ELÉTRICOS

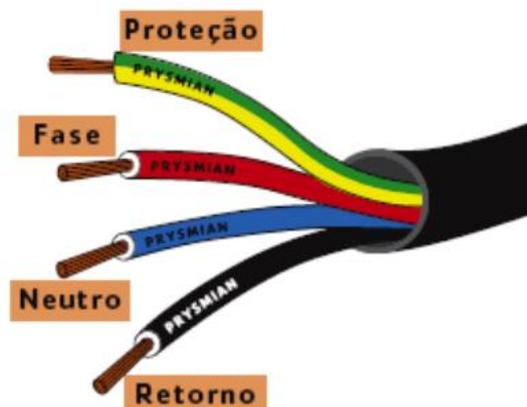
Um condutor elétrico é um material que tem capacidade de conduzir energia elétrica ou transmitir sinais elétricos. Em uma instalação elétrica os condutores são constituídos de uma camada metálica de condução e uma camada de isolamento, e estes são responsáveis pela condução de energia elétrica da rede de distribuição aos pontos de utilização, bem como a dissipação de correntes indesejadas, com o intuito de proteção, como no caso de descargas atmosféricas ou choques elétricos. Para garantir a capacidade de condução, de forma que a isolamento resista à temperatura gerada pela corrente nos condutores, as seções dos mesmos devem ser dimensionadas para atender às cargas previstas nas condições de instalação. Estes e demais critérios para o dimensionamento serão descritos posteriormente.

Conforme ilustrado na Figura 2, em uma instalação elétrica são utilizados condutores com diferentes funções. O condutor de proteção tem como objetivo conectar as massas dos equipamentos sujeitos à passagem de energia à terra, de forma que eventuais fugas ou excessos de correntes não interfiram no funcionamento de equipamentos ou causem danos aos usuários. Os condutores fase e neutro formam o circuito elétrico quando conectados às cargas da instalação. Por fim, o condutor retorno é utilizado para o mecanismo dos interruptores de cargas de iluminação, seccionando do condutor fase. Na ativação do interruptor, o condutor retorno passa a funcionar como fase e forma um circuito junto ao condutor neutro.

Quanto a identificação dos condutores, a NBR 5410 estabelece as seguintes recomendações:

- Qualquer condutor isolado, cabo unipolar ou veia de cabo multipolar utilizado como condutor neutro deve ser identificado conforme essa função. Em caso de identificação por cor, deve ser usada a cor azul-claro na isolação do condutor isolado ou da veia do cabo multipolar, ou na cobertura do cabo unipolar.
- Qualquer condutor isolado, cabo unipolar ou veia de cabo multipolar utilizado como condutor de proteção deve ser identificado de acordo com essa função. Em caso de identificação por cor, deve ser usada a dupla coloração verde-amarela ou a cor verde (cores exclusivas da função de proteção), na isolação do condutor isolado ou da veia do cabo multipolar, ou na cobertura do cabo unipolar.

Figura 2 - Tipos de condutores



(fonte: Catálogo Prysmian)

Os condutores para instalações elétricas de baixa tensão são comumente fabricados de materiais de alta condutividade, como o cobre e alumínio. Quanto a sua flexibilidade, podem ser sólidos, rígidos ou flexíveis, sendo enquadrados em classes numeradas de 1 a 6, da classe de maior rigidez para a classe de maior flexibilidade. Todos os condutores são envolvidos por uma camada de isolamento, que garante maior resistência a esforços mecânicos, isola os condutores dos demais e protege contra contatos acidentais. Essa isolamento pode ser feita com diferentes materiais, a depender dos aspectos demandados pela instalação, porém, em instalações residenciais com baixa demanda, é comum a utilização da isolamento de cloreto de polivinila (PVC), material de baixo custo e que atende à maioria das situações. Também podem ser utilizadas isolações emborrachadas, de etileno-propileno (EPR) ou polietileno reticulado (XLPE), que suportam maiores valores de corrente. As camadas de isolamento também podem ser diferidas quanto à tensão de isolamento do condutor, que deve ser adequada ao método de instalação do mesmo.

3.5.1 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES

Visto que cada condutor tem uma função específica na instalação, é preciso dimensionar cada um deles de forma a garantir eficácia e segurança na passagem de corrente elétrica para os pontos de carga a serem utilizados. A NBR 5410 estabelece os critérios a seguir para garantir a conformidade das seções dos condutores com as condições de instalação dos mesmos e com as correntes dimensionadas para o projeto.

3.5.1.1 SEÇÕES MÍNIMAS DOS CONDUTORES

Para o condutor fase, a NBR 5410 estabelece uma seção mínima a depender da utilização do circuito que abrange o condutor e do material do cabo utilizado. Tais restrições são encontradas na tabela 47 da norma, exposta no Quadro 1. As especificações dos condutores de retorno devem atender aos mesmos critérios dos condutores fase para circuitos de iluminação.

Quadro 1 - Seção mínima do condutor fase

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm ² - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força ²⁾	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu ³⁾
	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 ⁴⁾	
Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais		0,75 Cu	
¹⁾ Seções mínimas ditadas por razões mecânicas ²⁾ Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força. ³⁾ Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm ² . ⁴⁾ Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm ² .			

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 113)

Para o condutor neutro, a NBR 5410 estabelece as seguintes restrições:

- 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%.
- Quando, num circuito trifásico com neutro ou num circuito com duas fases e neutro, a taxa de terceira harmônica e seus múltiplos for superior a 33%, pode ser necessário um condutor neutro com seção superior à dos condutores de fase.
- Num circuito trifásico com neutro e cujos condutores de fase tenham uma seção superior a 25 mm², a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores de fase, sem ser inferior aos valores indicados no Quadro 2, que expõe a tabela 48 da norma, em função da seção dos condutores de fase, quando as três condições seguintes forem simultaneamente atendidas:

- a) o 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 conforme 5.3.2.2.

Quadro 2 - Seção reduzida do condutor neutro

Seção dos condutores de fase mm ²	Seção reduzida do condutor neutro mm ²
$S \leq 25$	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 115)

Para o condutor de proteção, a NBR 5410 permite estabelecer a seção mínima em função da seção do condutor fase, seguindo o Quadro 3, que expõe a tabela 58 da norma.

Quadro 3 - Seção mínima do condutor de proteção

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

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 150)

O dimensionamento dos condutores de proteção também deve atender aos seguintes requisitos:

- Todo circuito deve dispor de condutor de proteção, em toda sua extensão.
- Um condutor de proteção pode ser comum a dois ou mais circuitos, desde que esteja instalado no mesmo conduto que os respectivos condutores de fase.

3.5.1.2 CAPACIDADE DE CONDUÇÃO CORRENTE DOS CONDUTORES

O dimensionamento das seções deve levar em conta a corrente esperada existente em cada condutor em funcionamento, uma vez que maiores correntes geram maior aquecimento nos condutores, exigindo seções maiores.

Para determinação da corrente esperada nos condutores é necessário calcular a corrente de projeto de cada circuito, através das seguintes fórmulas:

$$\text{Corrente em circuito monofásico: } I_b = \frac{P_n}{v \cdot \cos\phi \cdot \eta};$$

$$\text{Corrente em circuito bifásico: } I_b = \frac{P_n}{V \cdot \cos\phi \cdot \eta};$$

$$\text{Corrente em circuito trifásico: } I_b = \frac{P_n}{3 \cdot v \cdot \cos\phi \cdot \eta};$$

$$\text{Corrente em circuito trifásico equilibrado: } I_b = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi \cdot \eta},$$

Onde:

I_b = corrente de projeto do circuito, em ampères;

P_n = potência nominal do circuito, em watts;

v = tensão entre fase e neutro, em volts;

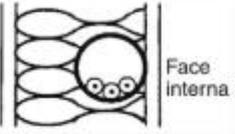
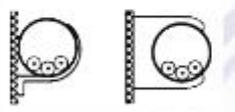
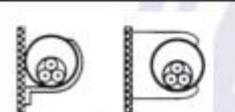
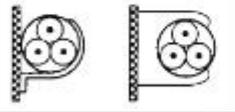
V = tensão entre fases, em volts;

$\cos\phi$ = fator de potência;

η = rendimento.

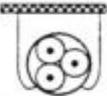
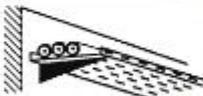
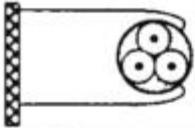
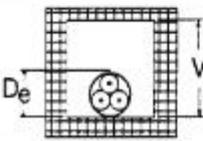
Após a determinação da corrente de projeto dos circuitos pode-se estabelecer as seções preliminares dos condutores através das tabelas 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410, onde deve-se entrar com o método de referência e a quantidade de condutores carregados para determinar a capacidade de condução de corrente conforme a seção de cada condutor, dependendo do material constituinte e de sua isolação. O método de referência deve ser estabelecido conforme a forma e local de instalação dos condutores, através da tabela 33 da NBR 5410, exibida no Quadro 4.

Quadro 4 - Método de referência para instalação das linhas elétricas

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
1	 Face interna	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	A1
2	 Face interna	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante ²⁾	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
7		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A		Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C

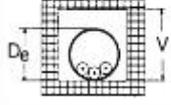
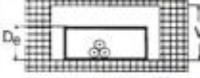
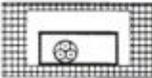
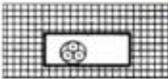
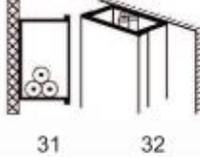
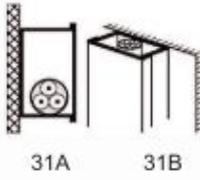
(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

Quadro 4 (Continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ³⁾
11B		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
12		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não-perfurada, perfilado ou prateleira ³⁾	C
13		Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical ⁴⁾	E (multipolar) F (unipolares)
14		Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocalha aramada ou tela	E (multipolar) F (unipolares)
15		Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)
16		Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
17		Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso(s) por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G
21		Cabos unipolares ou cabos multipolares em espaço de construção ⁵⁾ , sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutos abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção ^{5) 6)}	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

Quadro 4 (Continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{5) 7)}	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
23		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{5) 7)}	B2
24		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁵⁾	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
25		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁵⁾	B2
26		Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria ⁵⁾	$1,5 \leq V < 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
27		Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria	B2
31 32		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
31 ^a 32 ^a		Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

Quadro 4 (Continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
33		Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada embutida no piso	B1
34		Cabo multipolar em canaleta fechada embutida no piso	B2
35		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B1
36		Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B2
41		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical ⁷⁾	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Condutores isolados em eletroduto de seção circular contido em canaleta ventilada embutida no piso	B1
43		Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada embutida no piso	B1
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante ²⁾	A1

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

Quadro 4 (Continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
52		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53		Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a)	D
61A		Cabos unipolares em eletroduto (de seção não-circular ou não) ou em canaleta não-ventilada enterrado(a) ⁶⁾	D
63		Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional ⁹⁾	D
71		Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1
72 72A		72 - Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede 72A - Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede	B1 B2
73		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta	A1

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

Quadro 4 (Continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo	Descrição	Método de referência ¹⁾
74		Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de janela	A1
75 75A		75 - Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta embutida em parede 75A - Cabo multipolar em canaleta embutida em parede	B1 B2
<p>¹⁾ Método de referência a ser utilizado na determinação da capacidade de condução de corrente. Ver 6.2.5.1.2.</p> <p>²⁾ Assume-se que a face interna da parede apresenta uma condutância térmica não inferior a 10 W/m².K.</p> <p>³⁾ Admitem-se também condutores isolados em perfilado, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.4.1.</p> <p>⁴⁾ A capacidade de condução de corrente para bandeja perfurada foi determinada considerando-se que os furos ocupassem no mínimo 30% da área da bandeja. Se os furos ocuparem menos de 30% da área da bandeja, ela deve ser considerada como "não-perfurada".</p> <p>⁵⁾ Conforme a ABNT NBR IEC 60050 (826), os poços, as galerias, os pisos técnicos, os condutos formados por blocos alveolados, os forros falsos, os pisos elevados e os espaços internos existentes em certos tipos de divisórias (como, por exemplo, as paredes de gesso acartonado) são considerados espaços de construção.</p> <p>⁶⁾ De é o diâmetro externo do cabo, no caso de cabo multipolar. No caso de cabos unipolares ou condutores isolados, distinguem-se duas situações:</p> <ul style="list-style-type: none"> – três cabos unipolares (ou condutores isolados) dispostos em trifólio: De deve ser tomado igual a 2,2 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado; – três cabos unipolares (ou condutores isolados) agrupados num mesmo plano: De deve ser tomado igual a 3 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado. <p>⁷⁾ De é o diâmetro externo do eletroduto, quando de seção circular, ou altura/profundidade do eletroduto de seção não-circular ou da eletrocalha.</p> <p>⁸⁾ Admite-se também o uso de condutores isolados, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.6.1.</p> <p>⁹⁾ Admitem-se cabos diretamente enterrados sem proteção mecânica adicional, desde que esses cabos sejam providos de armação (ver 6.2.11.6). Deve-se notar, porém, que esta Norma não fornece valores de capacidade de condução de corrente para cabos armados. Tais capacidades devem ser determinadas como indicado na ABNT NBR 11301.</p> <p>NOTA Em linhas ou trechos verticais, quando a ventilação for restrita, deve-se atentar para risco de aumento considerável da temperatura ambiente no topo do trecho vertical.</p>			

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 90-95)

A seguir estão expostas as tabelas 36, 37, 38 e 39 da NBR 5410, representadas pelos Quadros 5, 6, 7 e 8, respectivamente, utilizadas para a determinação da capacidade de condução de condutores (I_z) com isolamento em PVC, EPR e XLPE para todos os métodos de referência. A seção escolhida para o condutor deve respeitar a seguinte restrição:

$$- I_b \leq I_z$$

Onde:

I_b = Corrente de projeto calculada;

I_z = Capacidade de condução de corrente encontrada nas tabelas.

Quadro 5 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 36 da NBR 5410)

Tabela 36 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D

Condutores: cobre e alumínio
 Isolação: PVC
 Temperatura no condutor: 70°C
 Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	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
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1 000	767	679	698	618	1 012	906	827	738	1 125	996	792	652
Alumínio												
16	48	43	44	41	60	53	54	48	66	59	62	52
25	63	57	58	53	79	70	71	62	83	73	80	66
35	77	70	71	65	97	86	86	77	103	90	96	80
50	93	84	86	78	118	104	104	92	125	110	113	94
70	118	107	108	98	150	133	131	116	160	140	140	117
95	142	129	130	118	181	161	157	139	195	170	166	138
120	164	149	150	135	210	186	181	160	226	197	189	157
150	189	170	172	155	241	214	206	183	261	227	213	178
185	215	194	195	176	275	245	234	208	298	259	240	200
240	252	227	229	207	324	288	274	243	352	305	277	230
300	289	261	263	237	372	331	313	278	406	351	313	260
400	345	311	314	283	446	397	372	331	488	422	366	305
500	396	356	360	324	512	456	425	378	563	486	414	345
630	456	410	416	373	592	527	488	435	653	562	471	391
800	529	475	482	432	687	612	563	502	761	654	537	446
1 000	607	544	552	495	790	704	643	574	878	753	607	505

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 101)

Quadro 6 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 37 da NBR 5410)

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: EPR ou XLPE

Temperatura no condutor: 90°C

Temperaturas de referência do ambiente: 30°C (ar), 20°C (solo)

Seções nominais mm ²	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	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	56	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122
50	158	141	145	130	198	175	175	154	209	179	173	144
70	200	179	183	164	253	222	221	194	269	229	213	178
95	241	216	220	197	306	269	265	233	328	278	252	211
120	278	249	253	227	354	312	305	268	382	322	287	240
150	318	285	290	259	407	358	349	307	441	371	324	271
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1 122	923	711	596
800	885	792	805	721	1 158	1 020	952	837	1 311	1 074	811	679
1 000	1 014	908	923	826	1 332	1 173	1 088	957	1 515	1 237	916	767
Alumínio												
16	64	58	60	55	79	71	72	64	84	76	73	61
25	84	76	78	71	105	93	94	84	101	90	93	78
35	103	94	96	87	130	116	115	103	126	112	112	94
50	125	113	115	104	157	140	138	124	154	136	132	112
70	158	142	145	131	200	179	175	156	198	174	163	138
95	191	171	175	157	242	217	210	188	241	211	193	164
120	220	197	201	180	281	251	242	216	280	245	220	186
150	253	226	230	206	323	289	277	248	324	283	249	210
185	288	256	262	233	368	330	314	281	371	323	279	236
240	338	300	307	273	433	389	368	329	439	382	322	272
300	387	344	352	313	499	447	421	377	508	440	364	308
400	462	409	421	372	597	536	500	448	612	529	426	361
500	530	468	483	426	687	617	573	513	707	610	482	408
630	611	538	556	490	794	714	658	590	821	707	547	464
800	708	622	644	566	922	830	760	682	958	824	624	529
1 000	812	712	739	648	1 061	955	870	780	1 108	950	706	598

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 102)

Quadro 7 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 38 da NBR 5410)

Tabela 38 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G

Condutores: cobre e alumínio

Isolação: PVC

Temperatura no condutor: 70°C

Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	798	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1 000	1 292	1 073	1 346	1 079	1 296	1 528	1 448
Alumínio							
16	73	61	73	62	65	84	73
25	89	78	98	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	183	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447
300	439	381	497	434	455	557	519
400	528	458	600	526	552	671	629
500	608	528	694	610	640	775	730
630	705	613	808	711	740	895	840
800	822	714	944	832	875	1050	1000
1 000	948	823	1 092	965	1 015	1 213	1 161

¹⁾ Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 103-104)

Quadro 8 - Capacidade de condução de corrente (Tabela 39 da NBR 5410)

Tabela 39 — Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F e G
Condutores: cobre e alumínio
Isolação: EPR ou XLPE
Temperatura no condutor: 90°C
Temperatura ambiente de referência: 30°C

Seções nominais dos condutores mm ²	Métodos de referência indicados na tabela 33						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ¹⁾				
	Dois condutores carregados	Três condutores carregados	Dois condutores carregados, justapostos	Três condutores carregados, em trifólio	Três condutores carregados, no mesmo plano		
					Justapostos	Espaçados	
	Método E	Método E	Método F	Método F		Método F	Horizontal Método G
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Cobre							
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1 085	1 008
500	1 030	859	1 083	946	998	1 253	1 169
630	1 196	995	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362
800	1 396	1 159	1 460	1 252	1 328	1 696	1 595
1 000	1 613	1 336	1 683	1 420	1 511	1 958	1 849
Alumínio							
16	91	77	90	76	79	103	90
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	409	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	654	566	740	663	694	856	792
500	756	652	856	770	806	991	921
630	879	755	996	899	942	1 154	1 077
800	1 026	879	1 164	1 056	1 106	1 351	1 266
1 000	1 186	1 012	1 347	1 226	1 285	1 565	1 472

¹⁾ Ou, ainda, condutores isolados, quando o método de instalação permitir.

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 104-105)

3.5.1.3 FATORES DE CORREÇÃO DA CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE

Após o dimensionamento preliminar é necessário ajustar a capacidade de condução de corrente dos condutores a fatores de correção que levam em consideração a quantidade o agrupamento de circuitos e a temperatura ambiente, visto que estes fatores podem acarretar o aumento da temperatura dos condutores diante da condução da corrente definida anteriormente, exigindo mais dos fios condutores. O fator de correção para adequação à temperatura ambiente pode ser determinado através da Tabela 40 da NBR 5410, exposta a seguir no Quadro 9. Deve ser considerada a temperatura do meio que circunda os condutores enquanto os mesmos não estão carregados.

Quadro 9 - Fator de correção para temperatura

Tabela 40 — Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não-subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas

Temperatura °C	Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE
Ambiente		
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
35	0,94	0,96
40	0,87	0,91
45	0,79	0,87
50	0,71	0,82
55	0,61	0,76
60	0,50	0,71
65	–	0,65
70	–	0,58
75	–	0,50
80	–	0,41
Do solo		
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	–	0,60
70	–	0,53
75	–	0,46
80	–	0,38

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 106)

Os fatores correção para o agrupamento de circuitos devem ser determinados através das tabelas 42, 43, 44 e 45 da NBR 5410, conforme o método de referência e configuração da instalação.

O Quadro 10 ilustra a tabela 42 da norma, para condutores agrupados em feixe ou no mesmo plano.

Quadro 10 - Fatores de correção para agrupamento de condutores

Tabela 42 — Fatores de correção aplicáveis a condutores agrupados em feixe (em linhas abertas ou fechadas) e a condutores agrupados num mesmo plano, em camada única

Ref.	Forma de agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares												Tabelas dos métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	9 a 11	12 a 15	16 a 19	≥20	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	36 a 39 (métodos A a F)
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70				36 e 37 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				38 e 39 (métodos E e F)
5	Camada única sobre leito, suporte etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

NOTAS

- Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.
- Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.
- O número de circuitos ou de cabos com o qual se consulta a tabela refere-se
 - à quantidade de grupos de dois ou três condutores isolados ou cabos unipolares, cada grupo constituindo um circuito (supondo-se um só condutor por fase, isto é, sem condutores em paralelo), e/ou
 - à quantidade de cabos multipolares que compõe o agrupamento, qualquer que seja essa composição (só condutores isolados, só cabos unipolares, só cabos multipolares ou qualquer combinação).
- Se o agrupamento for constituído, ao mesmo tempo, de cabos bipolares e tripolares, deve-se considerar o número total de cabos como sendo o número de circuitos e, de posse do fator de agrupamento resultante, a determinação das capacidades de condução de corrente, nas tabelas 36 a 39, deve ser então efetuada:
 - na coluna de dois condutores carregados, para os cabos bipolares; e
 - na coluna de três condutores carregados, para os cabos tripolares.
- Um agrupamento com N condutores isolados, ou N cabos unipolares, pode ser considerado composto tanto de N/2 circuitos com dois condutores carregados quanto de N/3 circuitos com três condutores carregados.
- Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com dispersão geralmente inferior a 5%.

(fonte: ABNT NBR 5410:2004, p. 108)

Após determinação dos fatores de correção pertinentes a situação, deve-se corrigir a capacidade de condução de corrente (I_z) estabelecida anteriormente em 3.5.1.2, multiplicando a mesma por ambos os fatores de correção, e, caso necessário, adequar as seções dos condutores. Por fim, as seções devem respeitar o seguinte critério:

$$- I_b \leq I_d \leq I_zc$$

Onde:

I_{zc} = Capacidade de condução de corrente corrigida, $I_z * FC(\text{Temperatura}) * FC(\text{Agrupamento})$;

I_d = Corrente nominal do disjuntor (O estudo de disjuntores será abordado posteriormente)

I_b = Corrente de projeto calculada.

3.5.1.4 QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão é um fenômeno que ocorre na condução de energia elétrica e é agravado conforme a maior resistência elétrica e distância percorrida pelos condutores até chegarem nos pontos de utilização. As seções dos condutores devem ser suficientemente grandes para que a resistência elétrica dos condutores não cause quedas de tensão maiores que as permitidas pelas normas.

A NBR 5410, no item 6.2.7.1, estabelece os limites de queda de tensão em:

- 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%.

Além das restrições da NBR 5410, o Regulamento de Instalações Consumidoras (RIC BT) também estabelece valores máximos aceitáveis, sendo eles:

- 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.

O cálculo da queda de tensão pode ser feito através das seguintes fórmulas:

$$\text{Queda de tensão em circuitos monofásicos: } \Delta V\% = \frac{2 \cdot \rho \cdot L \cdot IB}{A \cdot V} \times 100;$$

Onde:

$\Delta V\%$ = Queda de tensão com relação a tensão original, em %;

ρ = resistividade dos condutores, em Ohm.mm²/m;

L = distância entre a fonte de energia e o ponto de utilização, em m;

A = seção reta dos condutores, em mm²;

V = tensão fase-fase no circuito;

IB = corrente de projeto.

$$\text{Queda de tensão em circuitos trifásicos: } \Delta V\% = \frac{\sqrt{3} \cdot IB \cdot L \cdot Z}{V} \times 100$$

Onde:

$$Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} \text{ Ohm/km};$$

R = resistência elétrica dos condutores, em Ohm/m;

X = reatância indutiva dos condutores, em Ohm/m;

Os valores de X e R para fios e cabos isolados em PVC podem ser encontrados no Anexo X do RIC BT.

3.6 ELETRODUTOS

Eletrodutos são condutos com função de proteger os fios condutores da instalação contra agentes externos que possam danificar a isolação dos condutores ou prejudicar de alguma forma a boa condução de energia elétrica, como a umidade, corrosão, deformação mecânica da estrutura, entre outros. Também mantém os condutores isolados de forma a evitar danos a outros componentes da residência, instalação, ou até mesmo a humanos, em eventuais acidentes causados por curtos, descargas atmosféricas ou outros imprevistos.

Podem ser constituídos de materiais metálicos, como o aço galvanizado e o alumínio, ou não metálicos, como o PVC e o polietileno, sendo esses os materiais de utilização mais comum. Ainda em relação à sua construção, podem ser rígidos ou flexíveis, rosqueáveis ou soldáveis, variando a escolha conforme as exigências da instalação.

A NBR 5410, no item 6.2.11.1, estabelece que:

- Para instalações elétricas abrangidas pela NBR 5410 só é permitida a utilização de eletrodutos não-propagantes de chama;
- Os eletrodutos devem suportar os esforços de deformação característico da construção, bem como solicitações mecânicas, químicas, elétricas e térmicas a que estiverem submetidos nas condições da instalação;
- Nos eletrodutos devem ser instalados somente condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares;
- 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.

A norma também estabelece outras restrições que serão abordadas com mais profundidade a seguir.

3.6.1 TAXA MÁXIMA DE OCUPAÇÃO

Para garantir a facilidade na instalação de fios e cabos após a montagem dos eletrodutos, a NBR 5410 estabelece, no item 6.2.11.1.6, os seguintes limites de ocupação, calculados pela razão entre somatório das áreas das seções transversais de cabos ou fios utilizados pela área interna da seção transversal do eletroduto:

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

Para a determinação dos diâmetros de eletrodutos a serem utilizados na instalação, após determinadas as seções de todos os condutores (incluindo a isolação), deve ser calculada a área ocupada em cada trecho pelos circuitos agrupados e comparada com as dimensões comerciais disponíveis para eletrodutos do material e tipo de ligação desejada. O RIC BT disponibiliza no Anexo O e no Anexo P os diâmetros padrões comerciais para eletrodutos rígidos de PVC e Aço-carbono, respectivamente.

Embora o RIC BT também disponibilize, no Anexo Q e no Anexo R, tabelas para dimensionamento de eletrodutos, de forma conservadora, conforme a maior seção de condutor de cada trecho, é recomendável fazer o dimensionamento com base na área da seção transversal de cada condutor individualmente (incluindo a isolação), garantindo que não haja superdimensionamento.

3.6.2 COMPRIMENTO MÁXIMO DE TRECHOS DE ELETRODUTOS

Trechos retilíneos 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 linhas externas às edificações. Para trechos não retilíneos, são reduzidos 3 m de comprimento máximo para cada curva de 90° instalada. Caso não seja possível a utilização de caixa intermediária em determinado trecho, deve-se aumentar o diâmetro nominal do eletroduto em um grau (diâmetros comerciais) para cada 6m ou fração excedentes ao comprimento limite inicial, tendo como base o diâmetro dimensionado para a taxa máxima de ocupação.

Para trechos com curvas em suas interligações, delimitados por caixas, extremidades, ou mistos, o número máximo de curvas fica limitado a 3, sendo que cada curva não pode ter deflexão maior que 90°, totalizando no máximo 270° de curvatura entre o início e o fim do trecho.

3.6.3 CAIXAS DE DERIVAÇÃO

As caixas de derivação têm a função de interligar os condutos, bem como proporcionar acesso para enfição, manutenção e emenda dos condutores, e de acordo com o item 6.2.11.1.9 da NBR 5410, devem ser empregadas:

- 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 norma também estabelece que 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 isolação tenha sido danificada e recomposta com fita isolante ou outro material não devem ser enfiados em eletrodutos.

3.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Para garantir a segurança da instalação elétrica, de seus componentes e usuários, a NBR 5410 estabelece medidas de proteção para mitigar ou anular os efeitos de eventuais imprevistos como sobrecorrentes, sobretensões e fugas de corrente. Se os dispositivos de proteção não forem adequadamente instalados conforme as necessidades de projeto, problemas como o excesso de

corrente devido a um número muito grande de aparelhos conectados a um circuito, curtos-circuitos, descargas atmosféricas ou o contato inadvertido de seres humanos com a rede elétrica em funcionamento podem causar choques elétricos graves, estragar aparelhos e até originar incêndios. Por isso é importante o dimensionamento correto de todos os dispositivos de proteção de uma instalação elétrica.

3.7.1 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS

Os disjuntores termomagnéticos são os dispositivos responsáveis prevenir danos a instalação devido a sobrecorrentes ou curtos-circuitos. Eles atuam seccionando os circuitos quando a corrente elétrica nos mesmos atinge níveis críticos. Também possuem função de manobra, podendo ser utilizados para seccionamento dos circuitos para realização de manutenções. São categorizados com relação a quantidade de polos e a tensão da instalação.

Os disjuntores termomagnéticos comumente utilizados em instalações elétricas de baixa tensão funcionam através de relés térmicos e magnéticos, sendo a condução de corrente nos condutores ligados aos polos do disjuntor interrompida diante de ativação de um dos relés, conforme intensidade da corrente. A Figura 3 exibe um disjuntor tripolar, que pode ser utilizado para a proteção de um circuito trifásico, por exemplo.

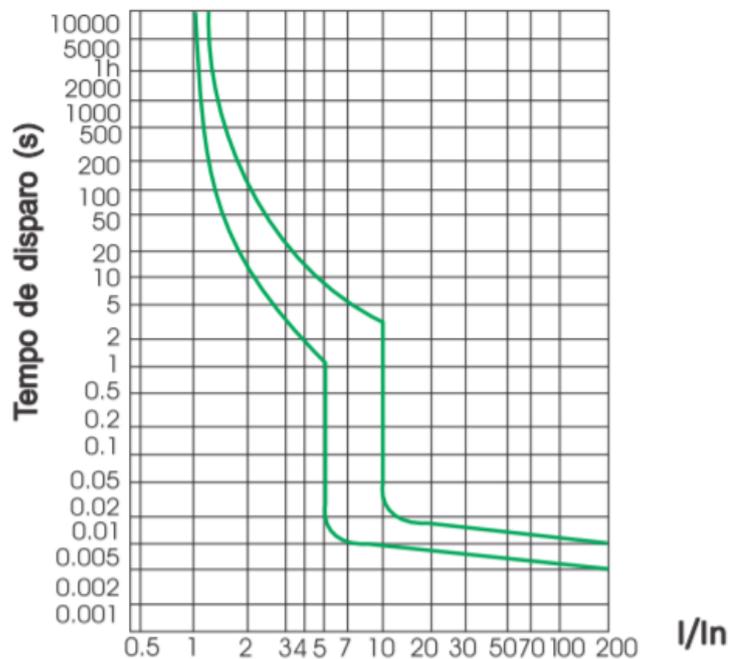
Figura 3 - Disjuntor termomagnético tripolar



(fonte: STECK, CATÁLOGO 2013)

Disjuntores podem ser divididos em curvas de atuação B, C e D, dependendo da intensidade da corrente de curto circuito esperada que venha a passar pelo dispositivo. Equipamentos como motores podem precisar de uma corrente de partida maior que sua corrente de nominal, portanto é necessário um disjuntor com uma tolerância maior. Na Figura 4 podemos observar uma curva C de um disjuntor, onde o interruptor térmico é ativado para uma faixa de corrente que ultrapasse a corrente nominal do disjuntor em situação comum de sobreaquecimento, e o interruptor eletromagnético, com atuação mais rápida, desarma o disjuntor para correntes de curto circuito.

Figura 4 - Curva C de disjuntor termomagnético



(fonte: STECK, CATÁLOGO 2013)

3.7.1.1 DIMENSIONAMENTO DE DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS

A NBR 5410 estabelece que para garantir a devida proteção aos condutores elétricos, os disjuntores devem possuir sua corrente nominal numa faixa entre a corrente de projeto do circuito e a capacidade de corrente suportada pelo condutor, considerando os fatores de correção vistos anteriormente no dimensionamento de condutores, ou seja, devem satisfazer o seguinte critério:

$$- IB \leq In \leq Izc$$

Onde:

IB = corrente de projeto do circuito;

Iz = capacidade de condução de corrente dos condutores corrigida;

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

Os disjuntores termomagnéticos também devem ser capazes de suportar correntes de falta ou de curto-circuito, que possuem valores muito mais altos e precisam de interrupção imediata antes de causar danos ao equipamento devido ao aumento da temperatura. O valor da corrente de curto circuito depende da potência de fornecimento da concessionária. O RIC BT estabelece a necessidade de capacidade de interrupção mínima de 10kA para instalações em 220/127V e de 5kA para instalações em 380/220V.

3.7.2 ATERRAMENTO

Outro elemento importante para a proteção das instalações elétricas é o aterramento, que consiste na disponibilização de um caminho alternativo para as correntes indesejadas nos condutores e equipamentos. O sistema é constituído por um condutor, chamado de condutor de proteção, que, em instalações residenciais, é originado abaixo da medição, conectado a um eletrodo enterrado, e interliga as carcaças de equipamentos à terra. Esse sistema faz com que as partes metálicas não carregadas dos equipamentos estejam conectadas a uma superfície de potencial nulo através de uma interface com resistência elétrica muito baixa, assim, formando um caminho alternativo para correntes indesejadas e protegendo os equipamentos e usuários

que possam entrar em contato com estes. O condutor neutro também é conectado ao eletrodo de aterramento para desviar correntes de retorno indesejadas para o aterramento, evitando que cheguem à rede de distribuição.

O RIC BT estabelece algumas recomendações para o sistema de aterramento:

- O eletrodo de aterramento pode ser do tipo cantoneira de aço zincado, haste de cobre, aço zincado ou aço revestido de cobre, comprimento 2000mm ou 2400mm. Permite-se usar outros tipos de eletrodo, desde que atenda a NBR 5410, conforme ANEXO A do RIC BT, e liberados pela distribuidora no momento da vistoria da entrada de energia;

- A resistência do sistema de aterramento não deve ser superior à 25 Ohms, em quaisquer condições de instalação. Se necessário, podem ser utilizadas mais hastes, com espaçamento mínimo de dois metros, interligadas através de condutor com seção mínima de 16mm².

- 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, e deve ser protegido por eletroduto de PVC rígido, com dimensionamento conforme o Anexo J do RIC BT;

- O condutor neutro deve ter seção igual a dos condutores fase, ser contínuo e isento de dispositivo capaz de causar sua interrupção. Na entrada de energia o mesmo deve ser aterrado num único eletrodo;

- O condutor de proteção deve ser protegido por eletroduto em toda a sua extensão e deve ser ligado diretamente no eletrodo de aterramento, independente do condutor neutro e disponibilizado na caixa ou painel de medição. Sua seção deve variar em função do condutor neutro seguindo as restrições:

a) Condutor fase 6 a 10mm² - seção mínima igual ao fase;

b) Condutor fase 16 a 35mm² - seção mínima igual a 16mm²;

c) Condutor fase acima de 35mm² - seção mínima igual a 50% do fase.

3.7.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

Os dispositivos de proteção contra surtos, chamados de DPS, tem função de proteger o sistema contra sobretensões oriundas de descargas atmosféricas ou manobras de circuito na rede de distribuição. Eles funcionam através de componentes elétricos que detectam surtos de tensão na rede e os desviam para o aterramento antes que cheguem em equipamentos e componentes elétricos ligados à rede.

A NBR 5410, no seu item 5.4.2.1, estabelece a necessidade de proteção contra sobretensões quando:

- a) a instalação for alimentada por linha total ou parcialmente aérea, ou incluir ela própria linha aérea, e se situar em região onde há risco de ocorrência de descargas atmosféricas indiretas na linha aérea ou próxima dela (conforme condição AQ2 da tabela 15 da NBR 54010);
- b) a instalação se situar em região em que há risco de ocorrência de descargas atmosféricas diretas na instalação (conforme condição AQ3 da tabela 15 da NBR 54010).

Assumindo-se a utilização de dispositivos DPS para a proteção contra sobretensões, a NBR 5410 também estabelece as seguintes restrições quanto a localização dos mesmos:

- Quando o objetivo for a proteção contra sobretensões de origem atmosférica transmitidas pela linha externa de alimentação, bem como a proteção contra sobretensões de manobra, os DPS devem ser instalados junto ao ponto de entrada da linha na edificação ou no quadro de distribuição principal, localizado o mais próximo possível do ponto de entrada;
- Quando o objetivo for a proteção contra sobretensões provocadas por descargas atmosféricas diretas sobre a edificação ou em suas proximidades, os DPS devem ser instalados no ponto de entrada da linha na edificação;
- Quando os DPS forem instalados, conforme os critérios acima, junto ao ponto de entrada da linha elétrica na edificação ou no quadro de distribuição principal, o mais próximo possível do ponto de entrada, eles serão dispostos no mínimo como mostra a figura 13 da norma em questão.

3.7.4 DISPOSITIVOS DIFERENCIAIS RESIDUAIS

Os dispositivos diferenciais residuais, chamados de dispositivos DR, têm a função de evitar danos a seres humanos, e danos a equipamentos elétricos e incêndios, devido a eventuais fugas de corrente. As fugas podem ser originadas devido a isolamentos defeituosos nos condutores, toques acidentais, uso de equipamentos elétricos em áreas molhadas, entre outros. Os dispositivos DR interrompem a condução de corrente nos condutores ligados a ele ao identificarem fugas de corrente, ou seja, correntes indesejadas que são desviadas do caminho previsto pelo circuito. A identificação dessas correntes se dá através da diferença existente entre as correntes existentes nos condutores fase e no condutor neutro diante uma corrente de fuga.

Os dispositivos DR podem ser divididos entre DDR (Disjuntor diferencial residual) e IDR (Interruptor diferencial residual), sendo que os DDR também fazem o papel de disjuntores termomagnéticos, protegendo contra sobrecorrentes, e os IDR protegem somente contra correntes residuais, devendo estar conectados a disjuntores termomagnéticos e adequados às correntes nominais dos mesmos. Os dispositivos também variam quanto à quantidade de polos de para ligação de condutores, quanto a corrente nominal de funcionamento e quanto ao limite de corrente residual para seccionamento do circuito. A corrente nominal deve ser dimensionada da mesma forma que os disjuntores termomagnéticos, permitindo o bom funcionamento dentro das condições estabelecidas em projeto. Já a corrente residual máxima suportada permitida pode ir de 10mA a mais de 1000mA, sendo que os dispositivos com limite de até 30mA tem o intuito de proteger seres humanos de choques elétricos diretos, e dispositivos com corrente de disparo acima de 300mA tem função de proteção de patrimônio contra danos ou incêndios.

3.8 QUADRO DE CARGAS

Após estabelecida a divisão dos circuitos da instalação, as dimensões de seus condutores e as proteções a serem instaladas em cada um deles, é necessário elaborar um quadro de distribuição de cargas, que terá como objetivo compilar essas informações de maneira acessível e de fácil entendimento para a melhor compreensão da instalação. No quadro de cargas devem estar contidas as seguintes informações:

- Número ou identificação de cada circuito;
- Potência do circuito, em VA;
- Distribuição da potência entre as fases do sistema em caso de fornecimento bifásico ou trifásico;
- Corrente de projeto de cada circuito;
- Disjuntores e dispositivos de proteção utilizados em cada circuito;
- Seção, em mm², dos condutores fase, neutro e de proteção de cada circuito.

A Figura 5 apresenta um exemplo de quadro de cargas.

Figura 5 - Exemplo de quadro de cargas

	Circuito	Potência (VA)	Fases			I _b (A)	I _d (A)	IDR(A) 30mA	Condutores (mm ²)		
			R	S	T				F	N	T
ILUMINAÇÃO	1	940	940			4,272727	10	-	1,5	1,5	1,5
	2	1320		1320		6,00	10	-	2,5	2,5	2,5
	3	1500			1500	6,82	10	-	2,5	2,5	2,5
	4	160	160			0,73	10	25	1,5	1,5	1,5
	5	160		160		0,73	10	25	1,5	1,5	1,5
	6	160	160			0,73	10	25	1,5	1,5	1,5
	7	200	200			0,91	10	25	1,5	1,5	1,5
	8	920		920		4,18	10	-	1,5	1,5	1,5
TOMADAS	9	1000	1000			4,55	10	-	2,5	2,5	2,5
	10	2000		2000		9,09	13	-	2,5	2,5	2,5
	11	800	800			3,64	10	-	2,5	2,5	2,5
	12	2000	2000			9,09	13	-	2,5	2,5	2,5
	13	1000		1000		4,55	10	-	2,5	2,5	2,5
	14	1100			1100	5,00	10	25	2,5	2,5	2,5
	15	1900	1900			8,64	13	25	4,0	4,0	4
	16	6000		6000		27,27	40	40	10,0	10,0	10
	17	1800			1800	8,18	10	25	4,0	4,0	4
	18	6000	6000			27,27	40	40	10,0	10,0	10
	19	1900		1900		8,64	13	25	4,0	4,0	4
	20	6000			6000	27,27	40	40	10,0	10,0	10
	21	1400	1400			6,36	10	25	2,5	2,5	2,5
	22	1400		1400		6,36	10	25	2,5	2,5	2,5
	23	3375			3375	15,34	20	25	4,0	4,0	4
	24	1400	1400			6,36	10	25	2,5	2,5	2,5
	25	1200		1200		5,45	10	-	2,5	2,5	2,5
	26	2000			2000	9,09	13	-	2,5	2,5	2,5

(fonte: Elaborado pelo autor)

3.9 DEMANDA DE ENERGIA

Após o dimensionamento das cargas e pontos de iluminação e tomadas conforme os critérios da NBR 5410, além da adequação para maior conforto da utilização da residência, obtêm-se o valor total da carga instalada. Entretanto, no uso cotidiano das instalações a carga instalada não é completamente utilizada simultaneamente, visto que em situações normais não há momento em que todas os equipamentos e lâmpadas estão em uso ao mesmo tempo. Dito isso, não há necessidade de fornecimento de energia considerando toda a carga instalada na residência, mas considerando a demanda de energia prevista, que é definida pelos critérios estabelecidos pelo Regulamento de Instalações Consumidoras de baixa tensão da concessionária, sendo no caso estudado definido pela CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica do Rio Grande do Sul). O cálculo da demanda deve ser feito conforme o item 7.2.1 deste regulamento, dado pela seguinte fórmula:

$$D(\text{kVA}) = (a + b + c + d + e + f)$$

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 do RIC BT;

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

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 do RIC BT;

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

*Os anexos utilizados para cálculo da demanda do caso estudado serão exibidos a seguir, e os demais podem ser encontrados no Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D

3.9.1 DEMANDA DE ILUMINAÇÃO E TOMADAS

O fator de demanda utilizado para ponderação das cargas de tomadas e iluminação deve ser determinado conforme regulamento da concessionária. No caso estudado foi utilizada o Quadro 11, exibindo o Anexo D do Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D.

Quadro 11 - Fator de demanda para iluminação e tomadas

DESCRIÇÃO	CARGA NIMA (W/m ²)	FATOR DE DEMANDA%			
Bancos	50	86			
Clubes e semelhantes	20	86			
Igrejas e semelhantes	15	86			
Lojas e semelhantes	30	86			
Restaurantes e semelhantes	20	86			
Auditórios, salões para exposições e semelhantes	15	86			
Barbearias, salões de beleza e semelhantes	30	86			
Garagens, depósitos, áreas de serviço e semelhantes	5	86			
Oficinas	30	100 para os primeiros 35 para o que exceder de	20kW 20kW		
Posto de abastecimento	20	100 para os primeiros 40 para o que exceder de	40kW 40kW		
Escolas e semelhantes	30	86 para os primeiros 50 para o que exceder de	12kW 12kW		
Escritórios e salas	50	86 para os primeiros 70 para o que exceder de	20kW 20kW		
Hospitais e semelhantes	20	40 para os primeiros 20 para o que exceder de	50kW 50kW		
Hotéis e semelhantes	20	50 para os primeiros 40 para os seguintes 30 para o que exceder de	20kW 80kW 100kW		
Residências	30	Potência P (kW)			
		0 < P ≤ 1	86	8 < P ≤ 9	40
		1 < P ≤ 2	80	9 < P ≤ 10	37
		2 < P ≤ 3	74	10 < P ≤ 11	35
		3 < P ≤ 4	66	11 < P ≤ 12	33
		4 < P ≤ 5	58	12 < P ≤ 13	31
		5 < P ≤ 6	52	13 < P ≤ 14	30
		6 < P ≤ 7	47	14 < P ≤ 15	29
		7 < P ≤ 8	43	15 < P	28

(fonte: RIC BT 2017 – CEEE-D, p. 72)

3.9.2 DEMANDA DE APARELHOS DE AQUECIMENTO

O fator de demanda utilizado para ponderação das cargas de aparelhos de aquecimento deve ser determinado conforme regulamento da concessionária. No caso estudado foi utilizada o Quadro 12, exibindo o Anexo I do Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D.

Quadro 12 - Fator de demanda para aparelhos de aquecimento

NÚMERO DE APARELHOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
FATOR DE DEMANDA (%)	100	75	70	66	62	59	56	53	51	49	47	45	43
NÚMERO DE APARELHOS	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25 ou mais	
FATOR DE DEMANDA (%)	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	

(fonte: RIC BT 2017 – CEEE-D, p. 74)

3.9.3 DEMANDA DE APARELHOS DE AR CONDICIONADO

O fator de demanda utilizado para ponderação das cargas de aparelhos de ar condicionado deve ser determinado conforme regulamento da concessionária. No caso estudado foi utilizada o Quadro 13, exibindo o Anexo E do Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D.

Quadro 13 - Fator de demanda para aparelhos de ar condicionado

POTÊNCIA INSTALADA EM APARELHOS (kVA)	FATOR DE DEMANDA (%)
1 a 10	100
11 a 20	85
21 a 30	80
31 a 40	75
41 a 50	70
51 a 75	65
Acima de 75	60

fonte: RIC BT 2017 – CEEE-D, p. 73)

3.10 FORNECIMENTO DE ENERGIA

O fornecimento de energia elétrica acontece através da entrada de serviço e é determinado pelo regulamento da concessionária em função da demanda calculada pelas cargas instaladas na unidade consumidora, podendo haver variações dos componentes necessários conforme o tipo de instalação. Há três tipos de fornecimento de energia previstos no regulamento RIC BT, da CEEE, utilizado no caso estudado:

- a) Tipo A – monofásico – dois condutores (uma fase e o neutro): para carga instalada menor ou igual a 10kW em instalações com tensão de fase 220V, ou menor ou igual a 15kW em instalações com tensão de fase de 380V;
- b) Tipo B – bifásico – três condutores (duas fases e o neutro): para carga instalada maior do que 10kW e menor ou igual a 15kW em instalações com tensão de fase 220V, ou maior do que 15kW e menor ou igual a 25kW em instalações com tensão de fase de 380V;
- c) Tipo C – trifásico – quatro condutores (três fases e o neutro): para carga instalada maior do que 15kW e menor do que 75kW em instalações com tensão de fase 220V, ou maior do que 25kW e menor do que 75kW em instalações com tensão de fase de 380V.

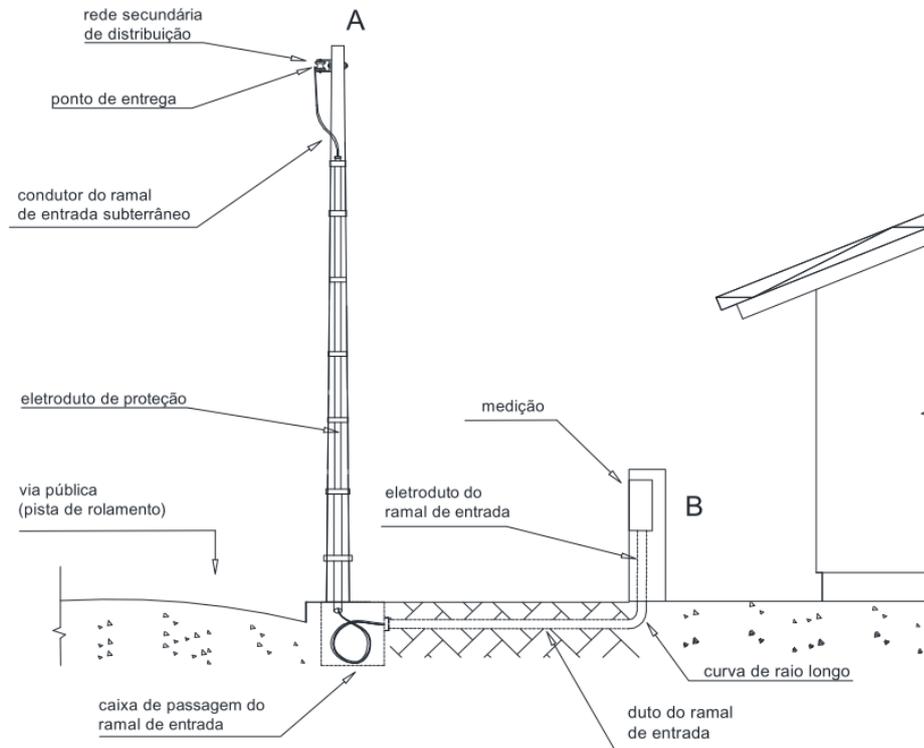
3.10.1 ENTRADA DE SERVIÇO

A entrada de serviço de uma instalação de baixa tensão é constituída pelos equipamentos e condutores desde a rede de distribuição secundária da concessionária até o equipamento de medição. A Figura 6 representa uma entrada de serviço com distribuição subterrânea com poste da via pública instalado no mesmo lado da rua da propriedade, e através da mesma podem ser ilustrados os principais componentes, sendo eles:

- Ponto de entrega: Ponto de chegada da energia da concessionária, da rede pública, para a unidade de consumo particular. No caso da ilustração a entrega já é iniciada no próprio poste da rede pública;
- Ramal de entrada: Sistema composto por condutores e eletrodutos que ligam o ponto de entrada ao painel de medição da residência;

- Medição: Local onde é medido o consumo de energia e são instalados os disjuntores gerais da instalação.

Figura 6 - Entrada de serviço subterrânea



(fonte: RIC BT 2017 – CEEE-D, p. 124)

3.10.2 DIMENSIONAMENTO DA ENTRADA DE SERVIÇO

O dimensionamento da entrada de energia deve respeitar os critérios estabelecidos pela concessionária. No caso estudado foi utilizado o anexo J do Regulamento de Instalações Consumidoras, versão 1.5 de 2017 – CEEE-D exibido no Quadro 14.

Quadro 14 - Dimensionamento da entrada de serviço

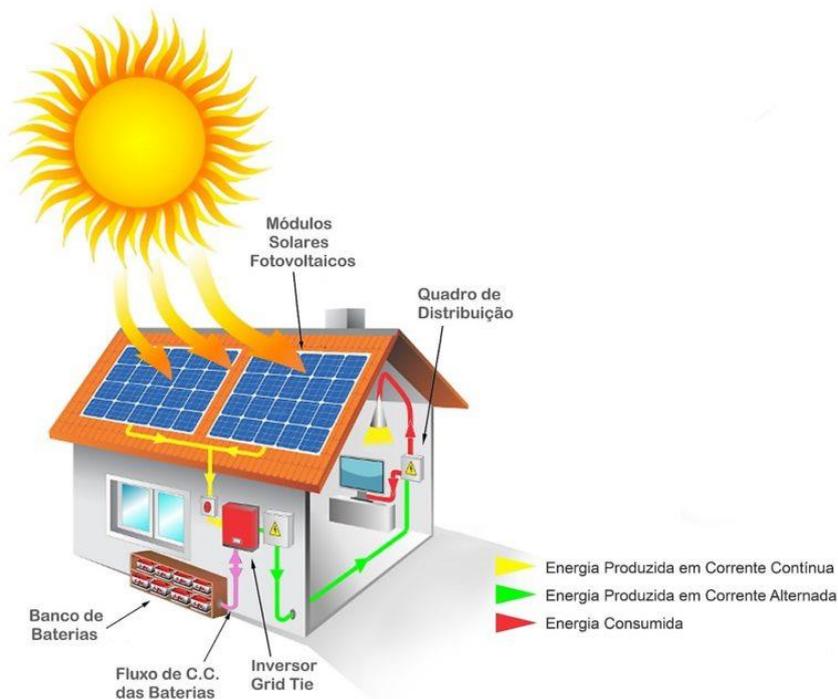
FORNECIMENTO		CARGA INSTALADA C (KW)	DEMANDA CALCULADA D (KVA)	TIPO DE MEDIÇÃO	PROTEÇÃO		CONDUTOR (mm²)				ELETRODUTO DN (mm)		LIMITE MÁXIMO DE POTÊNCIA												
TENSÃO (V)	TIPO				DISJUNTOR TERMOMAGNÉTICO (A)	RAMAL DE LIGAÇÃO	RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO	PROTEÇÃO	RAMAL DE ENTRADA	ATERRAMENTO PROTEÇÃO	MAIOR MOTOR OU SOLDA A MOTOR (CV)				CARGA INDIVIDUAL RESISTIVA (KW)									
												COBRE		ALUMÍNIO		COBRE ISOLADO		AÇO	PVC		FN	FF	FFF	FN	FF
												COBRE	ALUMÍNIO	COBRE ISOLADO	AÇO	PVC	FN	FF	FFF	FN	FF				
220/127	A1	C ≤ 10	-	DIRETA	50	10	D-10	10	10	10	20	25	20	1	-	-	5,4	-							
	B1	10 < C ≤ 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 ≤ 27	70	10	Q-16	25	10	16	32	40	20	2	5	20	7,5	13								
	C3		27 < D ≤ 38	100	16	Q-25	35	10	16	32	40	20	3	7,5	25										
	C4		38 < D ≤ 47	125	25	Q-35	50	16	25	40	50	25	5	7,5	30										
	C5		47 < D ≤ 57	150	35	Q-50	70	25	35	50	60	25	7,5	10	30										
	C6		57 < D ≤ 66	175	RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO	95	25	50	50	60	32	7,5	12	30											
	C7		66 < D ≤ 76	200		120	35	70	65	75	40	7,5	15	30											
	C8		76 < D ≤ 86	225		150	50	95	100	100	40	7,5	15	30											
	C9		86 < D ≤ 95	250		185	50	95	100	100	40	7,5	15	30											
	C10	95 < D ≤ 115	300	240		70	120	100	100	50	7,5	20	30												
C11	115 < D ≤ 150	400	Ver nota 10	2X150		50	150	2x65	2x75	50	7,5	25	30												
C12	150 < D ≤ 225	600	Ver nota 10	2x300	70	300	2x85	2x100	75	7,5	30	30													
380/220	A2	C ≤ 15	-	DIRETA	50	10	D-10	10	10	10	20	25	20	3	-	-	8,8	-							
	B2	15 < C ≤ 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 ≤ 46	70	10	Q-16	25	10	16	32	40	20	5	10	30										
	C15		46 < D ≤ 66	100	16	Q-25	35	10	16	32	40	20	7,5	12	40										
	C16		66 < D ≤ 82	125	25	Q-35	50	16	25	40	50	25	7,5	12	50										
	C17		82 < D ≤ 99	150	35	Q-50	70	25	35	50	60	25	7,5	15	50										
	C18		99 < D ≤ 132	200	RAMAL DE ENTRADA SUBTERRÂNEO	120	35	70	65	75	40	7,5	20	50											
	C19		132 < D ≤ 200	300		240	70	120	100	100	50	7,5	20	50											
	C20	200 < D ≤ 300	450	Ver nota 10		2x185	70	185	2x75	2x85	50	7,5	30	50											

(fonte: RIC BT 2017 – CEEE-D, p. 75)

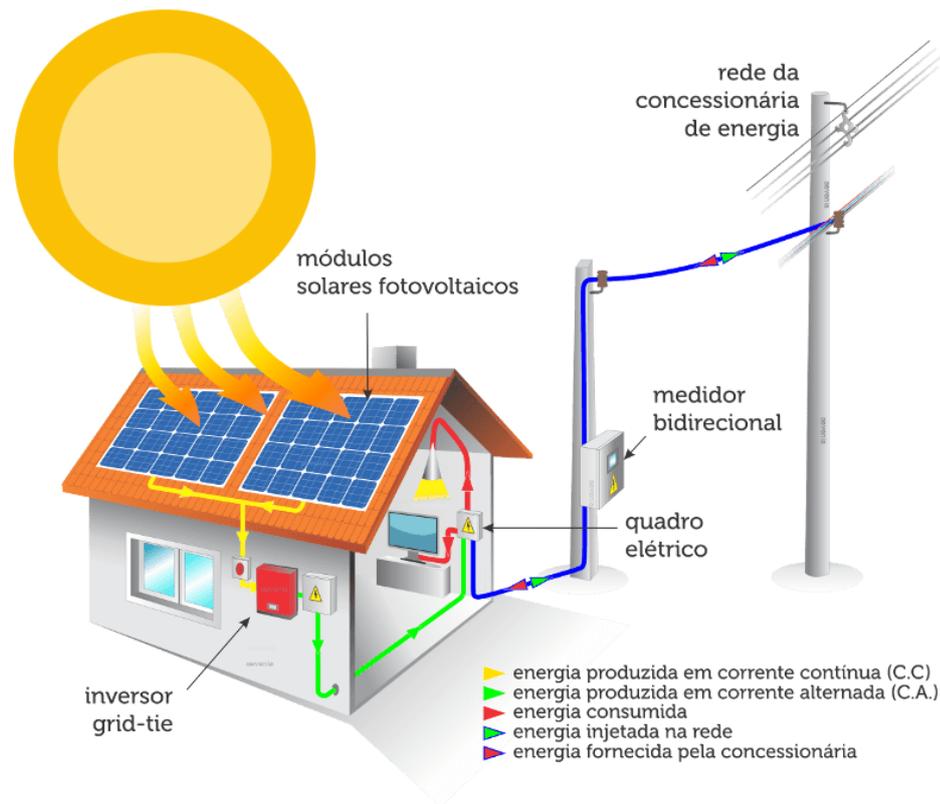
4 MICROGERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

A geração de energia solar consiste em um sistema de captação da radiação solar que converte luz em energia elétrica. É um sistema que utiliza energia renovável, não emite odor nem sons, além de trazer um bom retorno econômico dependendo do contexto de sua aplicação. Por esses motivos cada vez mais pessoas tem buscado gerar a sua própria energia, ou uma parte dela, em suas residências ou estabelecimentos comerciais. Existem duas grandes categorias de geração de energia solar para consumo próprio: O sistema ligado à rede pública (*On Grid*), e o sistema desconectado da rede (*Off Grid*), que geralmente funciona por meio de baterias recarregáveis. Enquanto o sistema *Off Grid* funciona de forma autônoma, o sistema *On Grid* funciona simultâneo à distribuição de energia pela rede da concessionária, suprindo a demanda do usuário quando há geração de energia solar suficiente, e enviando energia à rede público quando há geração excedente, ou seja, maior que a demanda. Quando a energia gerada é menor que a demanda do usuário, o consumo ocorre naturalmente através do fornecimento da rede de distribuição. Nas Figuras 7 e 8 estão ilustradas os de geração *Off Grid* e *On Grid*, respectivamente.

Figura 7 - Sistema *Off Grid*



(fonte: <http://gridsolaris.com.br/portal/servicos-2/sistema-off-grid/>)

Figura 8 - Sistema *On Grid*

(fonte: <http://www.universalautomacao.com.br/post/sistema-fotovoltaico-energia-solar.html>)

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), segundo a resolução 482/12, permite a utilização da geração de energia distribuída, ou seja, conectada à rede de distribuição, desde que gerada através de fontes renováveis, sendo classificada como microgeração para potências de até 75kW e como minigeração para potências de até 5MW (3MW para fontes hídricas). Nesse capítulo serão estudados sistemas fotovoltaicos conectados à rede enquadrados na categoria de microgeração.

4.1 NORMATIZAÇÃO

A decisão 482/12, que entrou em vigor em 17 de abril de 2012, e posteriormente foi revisada pela resolução 687/2015, permite que unidades consumidoras gerem a sua própria energia e forneçam o excedente à rede de distribuição, desde que através de fontes renováveis, respeitando os limites de potência citados anteriormente. Para garantir o correto funcionamento das instalações de microgeração, bem como o fornecimento adequado para a rede pública, é

importante seguir orientações e restrições estabelecidas nas seguintes normas e regulamentações:

- 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);
- Resolução Normativa N° 482 da ANEEL (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA) aprovada em 17 de abril de 2012;
- CEEE-D Instrução Técnica IT-11.01.081- Acesso de Microgeração e Minigeração ao Sistema de Distribuição.

4.2 COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema de microgeração de energia solar é composto por quatro elementos ou conjuntos de elementos principais:

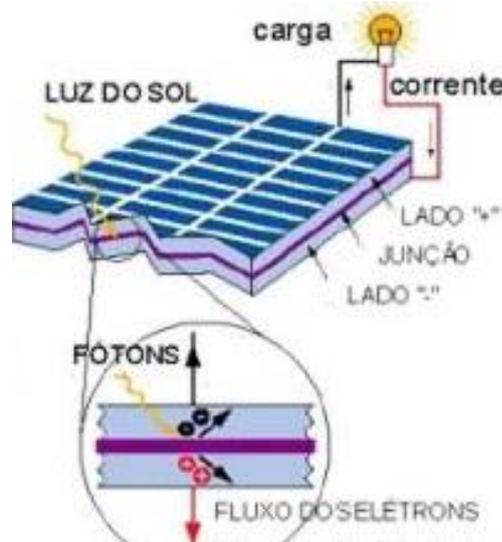
- Módulos fotovoltaicos: Responsáveis pela conversão de luz solar em energia elétrica, em corrente contínua;
- Inversores: Responsáveis por transformar corrente contínua em corrente alternada, de forma que possa ser utilizada pelos pontos de consumo e absorvida pela rede da concessionária;
- Dispositivos de proteção: Responsáveis por proteger os componentes do sistema fotovoltaico e também da instalação que recebe energia do mesmo em caso de falhas;
- Medidor bidirecional: Responsável por fazer a medição da quantidade de energia que é requisitada (consumo) ou injetada (geração) na rede de distribuição.

Além dos componentes principais, nos próximos tópicos também serão discutidos elementos como os cabos, que fazem a condução de energia, e outros acessórios pertinentes à utilização do sistema.

4.2.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos fotovoltaicos são associações de diversas células fotovoltaicas, dispositivos capazes de produzir corrente elétrica a partir da radiação solar. Estas células são dispositivos compostos por materiais semicondutores, ou seja, materiais que quando aquecidos ou combinados com outros materiais são capazes de conduzir eletricidade. Para a fabricação das células comumente se utiliza o silício, que é um semicondutor abundante na crosta terrestre. Os átomos de silício formam ligações estáveis de forma a não permitirem a movimentação de elétrons. Entretanto, a camada de silício é dividida em duas camadas, que são tratadas com a adição de outros elementos, o fósforo e o boro. O tratamento com fósforo causa a adição de elétrons a uma das camadas de silício, enquanto a adição de boro ocasiona a remoção de elétrons da outra camada, criando espaços vazios chamados buracos. A configuração resultante é chamada de junção P/N, que gera um campo elétrico com sentido do lado positivo (com falta de elétrons) para o lado negativo (com sobra de elétrons). Quando elétrons da camada negativa são atingidos por fótons, os mesmos são deslocados de sua ligação, ficando livres para se movimentarem e deixando um “buraco vazio” no seu lugar. Devido ao campo elétrico proveniente da junção P/N, o elétron livre se movimenta no sentido do campo, enquanto o buraco se movimenta no sentido contrário. Os elétrons são deslocados para fora da camada de silício pelo lado negativo e são transportados através de um circuito externo para a camada positiva, onde há buracos para comportá-los, gerando então a corrente elétrica. A Figura 9 ilustra o processo descrito.

Figura 9 - Funcionamento de um módulo fotovoltaico



(fonte: <http://www.technics-rj.com.br/energiarenovavel/>)

O material constituinte das células determina a eficiência de conversão de energia das mesmas, que fica na faixa de 10% a 20% para dispositivos comerciais. Estas células são então agrupadas em série, de forma que a tensão de operação de um módulo é dada pelo somatório das tensões geradas nas células. Os módulos mais comumente comercializados podem possuir potências nominais que variam de 1W até mais de 300W, ou seja, em condições ideais de funcionamento podem produzir estes valores de potência. As condições de funcionamento ideais não representam as condições reais das instalações, havendo várias perdas relacionadas aos equipamentos e a insolação, portanto é importante levar em consideração esses fatores no momento do dimensionamento, que será melhor abordado nos próximos tópicos.

4.2.1.1 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS

Conforme visto no tópico anterior, a geração de energia ocorre através da incidência de fótons nas células fotovoltaicas, logo, é muito importante que o posicionamento dos módulos seja feito de forma a garantir o maior aproveitamento dos raios solares. O posicionamento deve variar conforme a latitude e longitude do empreendimento, de forma que o painel fique direcionado para o sol pela maior quantidade de tempo e que a incidência dos raios solares ocorra perpendicularmente aos módulos. Idealmente, devido à inclinação da terra e ao seu movimento

ao redor do sol, painéis localizados no hemisfério norte devem apontar para o sul geográfico e painéis localizados no hemisfério sul devem apontar para o norte geográfico, com inclinações variando conforme a latitude, diminuindo o ângulo de inclinação com o plano terrestre conforme a maior proximidade da linha do equador.

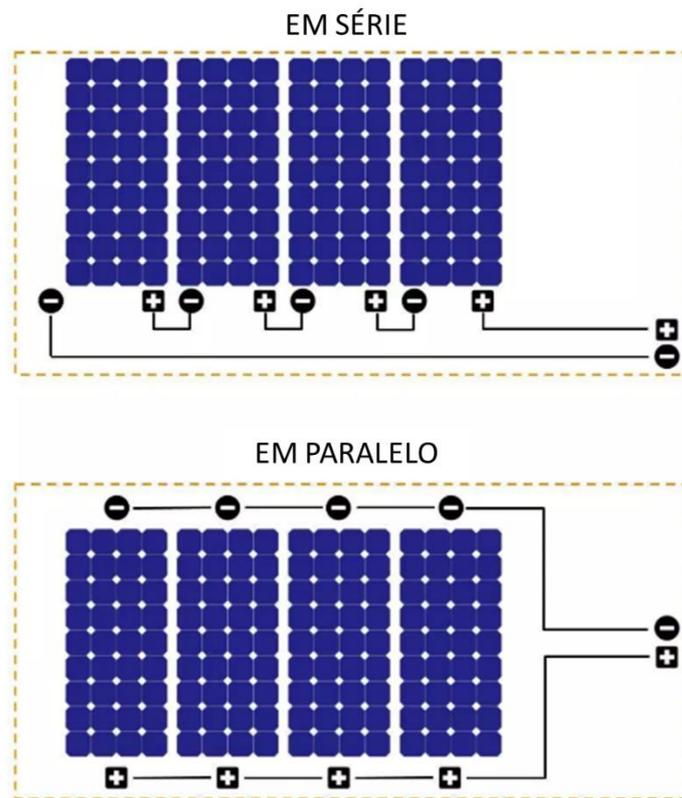
Além da inclinação dos painéis, também devem ser analisadas as condições meteorológicas, relevo, vegetação e outros objetos e empreendimentos presentes na região. Gases atmosféricos, por exemplo, podem refletir ou dispersar parte da radiação solar, enquanto outros elementos próximos aos painéis podem gerar sombra em determinados horários, acarretando um dimensionamento errado do sistema caso não sejam considerados.

Em sistemas conectados à rede, onde a geração de energia extra é absorvida pela concessionária, o melhor posicionamento é aquele onde ocorra a maior absorção de energia solar ao longo do ano. Porém, em sistemas desconectados da rede, pode ser mais viável dimensionar e posicionar o sistema solar de forma a gerar energia no período de maior demanda, conforme utilização de aparelhos de aquecimento ou resfriamento. Cada sistema deve ser avaliado conforme as suas peculiaridades e é importante fazer um estudo aprofundado das condições de instalação para garantir o máximo desempenho.

4.2.1.2 ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Em um sistema de microgeração de energia solar é necessária a associação de diversos módulos de células fotovoltaicas para gerar uma quantidade razoável de energia. Essa associação pode ocorrer de três formas: em série, em paralelo ou em um combinado de associações em série e em paralelo. Em uma associação em série, a conexão ocorre entre o polo positivo e o polo negativo de cada painel e a tensão gerada por cada painel é somada às tensões dos demais painéis, enquanto a corrente se mantém a mesma. Já em uma associação em paralelo, onde os polos de cada painel são conectados individualmente no circuito do inversor, as correntes são somadas e a tensão se mantém a mesma. Ambos os tipos de associação estão ilustrados na Figura 10.

Figura 10 - Associações de painéis solares



(fonte: Mojo And Frientes: <http://mojoandfriends.com/2018/04/15/campervan-conversion-how-to-install-solar-panels-on-your-campervan/>)

A escolha da associação ideal depende das características dos painéis e inversores utilizados, bem como as restrições da rede de distribuição, no caso de sistemas On Grid, ou de baterias, por exemplo, no caso de sistemas Off Grid. Caso necessário podem ser combinados os dois tipos de associação para obter-se os valores de correntes e tensões de funcionamento adequados para o sistema.

4.2.2 INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Os inversores de frequência são os equipamentos responsáveis por transformar a corrente contínua que é gerada nos circuitos conectados aos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, de modo que a mesma possa ser absorvida pela unidade consumidora, rede de

distribuição, baterias ou por equipamentos específicos atrelados ao sistema. Neste estudo serão abordadas características somente quanto aos inversores conectados à rede.

Os inversores tradicionalmente comercializados podem ser monofásicos ou trifásicos, disponíveis em diferentes tensões, que devem ser adequadas ao fornecimento de energia. Um inversor monofásico com tensão de 220V, por exemplo, pode ter seus polos conectados a duas fases de uma rede com tensão entre fases de 220V, ou em uma fase e no neutro de uma rede com tensão entre fases de 380V. Inversores monofásicos costumam atender associações de módulos fotovoltaicos com potências de até 5kW, enquanto sistemas com potência maior costumam utilizar inversores trifásicos ou associações de inversores monofásicos.

De maneira geral, segundo o Pinho e Galdino (2014), os inversores podem ser divididos em quatro grandes categorias:

- Inversores centrais: Operam com potências que chegam a milhares de kWp, e são geralmente utilizados em usinas fotovoltaicas, onde há uma grande quantidade de módulos operando com as mesmas características e sob as mesmas condições de insolação;
- Inversores *Multistring*: Inversores com conexões para múltiplas strings (fileiras de painéis fotovoltaicos associados) de forma a otimizar a conversão de energia mesmo quando as strings não fornecem todas a mesma potência devido a condições diferentes de instalação ou irradiação nos painéis;
- Inversores de *String*: Inversores menores com capacidade de converter a corrente oriunda de uma *string* de módulos fotovoltaicos, geralmente adequados a instalações com potência de até 10kWp;
- Micro inversores: Inversores diretamente associados aos módulos fotovoltaicos, formando um sistema único de geração de energia em corrente alternada. São utilizados para sistemas de micro e minigeração de energia e possuem maior custo por Wp do que os inversores desconectados dos módulos.

4.2.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

O correto dimensionamento de um sistema de microgeração de energia solar, assim como uma instalação elétrica residencial, necessita de dispositivos de proteção para evitar a ocorrência de falhas ou danos causados pelas mesmas, garantir a otimização na geração e conversão da energia, bem como adequar a instalação aos padrões exigidos pela concessionária. Além dos componentes tradicionais de proteção, como os disjuntores, aterramento e dispositivos de proteção contra surtos, a ANEEL também exige a instalação de dispositivo de seccionamento visível, chamado de DSV, para garantir a desconexão do sistema gerador em procedimentos de manutenção da rede. Devem também ser respeitadas as restrições da concessionária estabelecidas na CEEE - IT-11.01.081, instrução técnica para acesso a microgeração e minigeração ao sistema de distribuição da CEEE-D.

4.2.3.1 ATERRAMENTO

Os circuitos e equipamentos do sistema fotovoltaico devem ser conectados ao sistema de aterramento da instalação elétrica de forma a garantir a equipotencialização de todos os corpos condutores do sistema gerador. O aterramento deve seguir os mesmos critérios estabelecidos pelo RIC BT citados no item 3.7.2, também sendo necessário aterrar os componentes da geração de energia em corrente contínua. Deve-se atentar as peculiaridades e instruções dos equipamentos utilizados para a geração e conversão de energia.

4.2.3.2 DISJUNTORES TERMOMAGNÉTICOS

Os disjuntores para a proteção contra sobrecorrentes devem ser dimensionados conforme o item 3.7.1.1, respeitando os limites de condução de corrente dos condutores, bem como a corrente de curto circuito nos geradores na condição de maior irradiância. Deve-se atentar às características de funcionamento dos disjuntores instalados para proteção dos condutores atuando sob corrente contínua (entre os módulos e o inversor) e os condutores operando sob corrente alternada (na saída do inversor).

4.2.3.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

Segundo recomendações do Pinho e Galdino (2014), os dispositivos de proteção contra surtos devem ser instalados antes e depois do inversor de frequência, protegendo o lado da corrente alternada e da corrente contínua. Devem ser instalados próximos aos terminais do inversor, e caso a distância entre o inversor e o gerador fotovoltaico seja superior a 10 m também devem ser instalados DPS na extremidade do cabeamento oposta ao inversor. No caso de grandes distâncias entre o inversor e o medidor a mesma instrução deve ser seguida.

4.2.3.4 DISPOSITIVO DE SECCIONAMENTO VISÍVEL

Como citado anteriormente, é necessária a instalação de um dispositivo de seccionamento visível a jusante do disjuntor do sistema fotovoltaico, podendo ser operado manualmente pela concessionária. A IT-11.01.081 do CEEE estabelece que o uso de DSV é dispensado para instalações que sejam conectadas à distribuição através de inversores de frequência.

4.2.4 MEDIDOR BIDIRECIONAL

Em unidades consumidoras com sistema de microgeração fotovoltaica conectada à rede é necessária a realização de medição bidirecional, para quantificar a energia proveniente da rede que é consumida pela unidade e a energia excedente que é gerada pelo sistema e absorvida pela rede. Sendo a medição bidirecional, a cobrança da energia é feita considerando a diferença entre energia consumida e a injetada, sendo que a energia injetada excedente em um período de faturamento pode ser utilizada para compensar a energia consumida em períodos subsequentes. Quanto a instalação ou substituição de medidores para medição bidirecional, a IT-11.01.081 da CEEE estabelece que:

- A medição bidirecional pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais, um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a energia elétrica ativa injetada no sistema de distribuição, se esta for a alternativa de menor custo ou caso seja solicitado pelo titular da unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída;

- O custo da substituição do medidor de energia elétrica convencional por medidor eletrônico bidirecional, quando necessário para a implementação do sistema de compensação de energia elétrica, é de responsabilidade do consumidor nos casos de minigeração e de geração compartilhada.

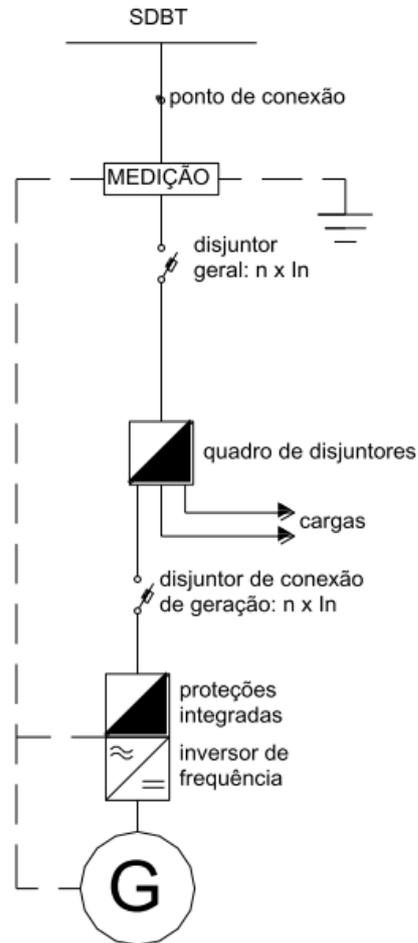
4.2.5 CABOS E ELETRODUTOS

Os cabos e eletrodutos utilizados na instalação devem seguir as orientações citadas nos itens 3.6.1 e 3.6.3, respectivamente, garantindo o desempenho na condução da corrente gerada pelo sistema, bem como proteção contra intempéries. Cabos conectados aos painéis e entre os módulos e inversores comumente ficam expostos, devendo ser dimensionados com isolamento apropriada para as condições de instalação.

4.3 DIAGRAMA UNIFILAR DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO

A instrução técnica IT-11.01.081 do CEEE disponibiliza um esquema unifilar de conexão entre os elementos do sistema de microgeração fotovoltaica conectado à rede de distribuição de baixa tensão. O diagrama, exibido na Figura 11, serve de complemento às orientações citadas anteriormente, devendo-se respeitar tanto as orientações da concessionária quanto as orientações de fabricantes dos equipamentos quanto ao melhor aproveitamento da geração de energia e proteção do sistema.

Figura 11 - Diagrama unifilar de conexão de sistema de microgeração à rede de baixa tensão



(fonte: CEEE-D - IT-11.01.081, p.20)

4.4 DIMENSIONAMENTO DA QUANTIDADE DE MÓDULOS

A quantidade de módulos depende de fatores como posicionamento e disponibilidade de energia solar, e o rendimento dos painéis, que serão discutidos nos próximos tópicos.

4.4.1 POTÊNCIA DE GERAÇÃO NECESSÁRIA

A potência de geração necessária de um sistema fotovoltaico deve ser calculada conforme o consumo de energia na unidade, características da insolação na região e rendimento dos componentes do sistema, através da seguinte fórmula:

$$\text{Potência Necessária} = \frac{\text{Consumo médio diário de energia}}{\text{HSP} * \eta}$$

Onde:

Consumo médio diário de energia = Consumo diário estimado ou calculado com base nas faturas da concessionária, em kWh/dia;

HSP = Hora de Sol Pleno, em h/dia

η = Rendimento dos painéis

4.4.1.1 HORA DE SOL PLENO

O valor de Hora de Sol Pleno representa quantidade de horas de irradiação constante a 1000W/m² em determinado local, e este valor equivale a irradiação média no período, dada em kW/m². Como explicado anteriormente, a insolação varia conforme a localização do empreendimento, e os valores de irradiação para determinadas inclinações são calculados com o uso de equipamentos específicos para estes fins. Para instalações no Brasil pode-se usar o programa SunData, disponível no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (www.cresesb.cepel.br), que possui uma extensa base de dados com informações da irradiação média anual no plano inclinado para diferentes latitudes e longitudes. Através do SunData também é possível verificar qual a inclinação mais apropriada para os painéis.

4.4.1.2 RENDIMENTO

O rendimento do sistema é dado pela porcentagem da potência dos painéis que realmente pode ser aproveitada após as perdas envolvidas na instalação. Segundo Pinho e Galdino (2014), o rendimento pode ser dado considerando duas formas de redução da potência:

- Redução da potência nos módulos fotovoltaicos com relação ao seu valor nominal devido a acúmulos de sujeiras nas placas, degradação física permanente ao longo do tempo, perdas

devido à temperatura e falhas na fabricação. Para módulos compostos de c-Si (silício cristalino) este valor é padronizado em 0,75;

- Redução da potência devido a perdas no sistema, incluindo cabeamento, inversores, entre outros. É recomendada a atribuição de 0,9 para este valor.

Dessa forma, o rendimento é dado pelo produto dos fatores de redução, e por padrão pode ser definido em 0,675, ou 67,5%. Lembrando que este rendimento se refere ao sistema como um todo, uma vez que as células fotovoltaicas possuem rendimentos bastante inferiores a esses, como comentado anteriormente, logo, para o cálculo do rendimento do sistema considera-se que os painéis são capazes de produzir energia conforme a potência nominal comercializada.

5 PROJETO ELÉTRICO

Este capítulo tem como objetivo apresentar o detalhamento de um projeto elétrico desenvolvido conforme as orientações dispostas nos capítulos anteriores na parte referente a Instalações Elétricas em baixa tensão. Serão apresentados desde a determinação dos pontos de carga até o dimensionamento da entrada de serviço, levando em consideração os detalhes e desenhos necessários para a execução do projeto em uma situação real. Maiores informações e recomendações quanto à execução do projeto podem ser verificadas no memorial descritivo contido no Anexo A. A quantificação e orçamentação dos materiais pode ser verificada no Anexo B.

5.1 EDIFICAÇÃO ESTUDADA

A edificação estudada, ilustrada na Figura 22, é uma residência unifamiliar localizada no município de Osório, no estado do Rio Grande do Sul, que conta com uma área de 340m² dividida entre dois pavimentos.

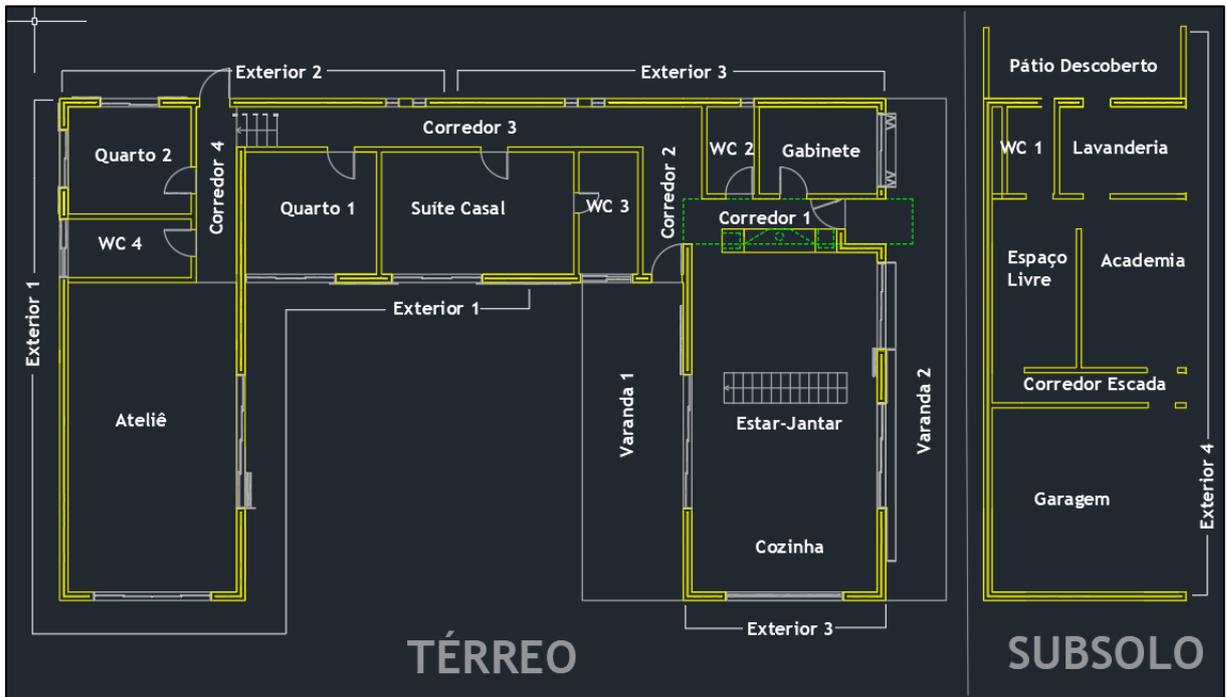
Figura 12 – Edificação estudada



(fonte: Elaborado pelo autor)

A Figura abaixo ilustra a planta baixa de ambos os pavimentos da edificação, bem como seus cômodos e ambientes, externos e internos, da forma como foram tratados no projeto.

Figura 13 - Cômodos e ambientes



(fonte: Elaborado pelo autor)

5.2 FORNECIMENTO DE ENERGIA

O fornecimento de energia é realizado pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), que dispõe de poste ligado à rede de distribuição primária à frente da calçada ligada a residência. A distribuição para esta região é trifásica 380/220V.

5.3 CARGA PREVISTA

A carga prevista foi dimensionada conforme os critérios da NBR 5410, e também foram projetados pontos além dos mínimos para prover a comodidade necessária à residência. A relação de pontos e cargas dimensionados serão expostas nos itens a seguir. O posicionamento e potência das cargas pode ser verificado nas plantas dos Anexos B e C.

5.3.1 CARGA DE ILUMINAÇÃO

As potências e a quantidade de pontos de iluminação dimensionadas para a edificação estão dispostos no Quadro 15.

Quadro 15 - Cargas de iluminação

CARGA ILUMINAÇÃO								
TÉRREO								
Ambiente	Área (m ²)	Perímetro (m)	Potência Mínima (VA)	Pontos de iluminação (1)	Potência Iluminação (1)	Pontos de iluminação (2)	Potência Iluminação (2)	Potência Utilizada (VA)
Estar-Jantar	42,07	26,2981818	640	4	120	2	100	680
Varanda 1	17,5	26,33333333	220	2	120			240
Varanda 2	22,5	26,5	340	2	120	1	100	340
Gabinete	9,1	12,2	100	1	100			100
Suíte Casal	20,81	18,7027397	280	2	120	2	100	440
Quarto 1	14,33	15,1520548	220	1	220			220
Quarto 2	11,68	13,7	160	1	160			160
Corredor 1	6,46	12,2703704	100	1	100			100
Corredor 2	4,43	9,783333333	100	1	100			100
Corredor 3 - Biblio	15,78	28,7	220	2	100			200
Corredor 4	6,3	12,9	100	1	100			100
Ateliê	46,25	28,5	700	8	100			800
WC 4	6,4	10,8068493	100	1	100	1	60	160
WC 2	3,64	8	100	1	100	1	60	160
WC 3	6,75	10,9986301	100	1	100	1	60	160
Cozinha	13,75	16	160	2	100			200
Exterior Esquerda	-	-	-	7	100			700
Exterior Cima	-	-	-	2	100			200
Exterior Direita	-	-	-	2	100			200
Corredor Escada	-	-	-	1	100			100
SUBSOLO								
Ambiente	Área (m ²)	Perímetro (m)	Potência Mínima (VA)	Pontos de iluminação (1)	Potência Iluminação (1)	Pontos de iluminação (2)	Potência Iluminação (2)	Potência Utilizada (VA)
Espaço Livre	15,42	16,1377419	220	2	120			240
Academia	13,48	15,3464646	160	2	120			240
Garagem	31,65	22,5090909	460	2	230			460
Pátio Descoberto	12,85	16,85	160	1	160			160
WC 1	3,64	8	100	1	100	1	60	160
Lavanderia	9,1	12,2	100	1	120			120
Exterior Garagem	-	-	-	2	120			240
TOTAL								6980

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.3.2 CARGA DE TOMADAS

As potências e a quantidade de pontos de tomadas uso geral e de uso específico, dimensionadas para a edificação estão dispostos no Quadro 16.

Quadro 16 - Carga de tomadas

CARGA DE TOMADAS										
TÉRREO										
Ambiente	Perímetro (m)	TUG's Mínimos	Potência Mínima (VA)	TUG's Utilizados (1)	Potência TUG's (1) (VA)	TUG's Utilizados (2)	Potência TUG's (2) (VA)	Tomada de uso específico	Potência TUE	Potência Utilizada (VA)
Estar-Jantar	26,29818	6	600	4	100	2	300			1000
Varanda 1	26,33333	1	100	2	100					200
Varanda 2	26,5	1	100	2	100					200
Gabinete	12,2	3	300	2	100	1	600			800
Suíte Casal	18,70274	4	400	4	100	1	600	Ar Condicionado	2000	3000
Quarto 1	15,15205	4	400	3	100	1	600	Ar Condicionado	2000	2900
Quarto 2	13,7	3	300	2	100	1	600	Ar Condicionado	2000	2800
Corredor 1	12,27037	3	300	1	100					100
Corredor 2	9,783333	2	200	1	100					100
Corredor 3	28,7	6	600	2	100					200
Corredor 4	12,9	3	300	1	100					100
Ateliê	28,5	6	600	4	100	2	300			1000
WC 4	10,80685	4	1900	1	100	3	600	Chuveiro	6000	7900
WC 2	8	3	1800			3	600	Chuveiro	6000	7800
WC 3	10,99863	4	1900	1	100	3	600	Chuveiro	6000	7900
Cozinha	16	5	2000	4	100	4	600	Máquina de Lavar Louça	3375	6175
Exterior 1	-	-	-	1	100					100
SUBSOLO										
Ambiente	Perímetro (m)	TUG's Mínimos	Potência Mínima (VA)	TUG's Utilizados (1)	Potência TUG's (1) (VA)	TUG's Utilizados (2)	Potência TUG's (2) (VA)	Tomada de uso específico	Potência TUE	Potência Utilizada (VA)
Espaço livre	16,13774	4	400	4	500					2000
Academia	15,34646	4	400	3	100	1	600			900
Garagem	22,50909	5	500	4	100	1	400			800
Pátio Descoberto	16,85	1	100	1	100					100
WC 1	8	3	1800	3	600			Chuveiro	6000	7800
Lavanderia	12,2	4	1900	3	600	1	100	Máquina de Lavar Roupas	1875	3775
									TOTAL	57650

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.4 CENTROS DE DISTRIBUIÇÃO

Para a distribuição de energia na residência foram previstos dois centros de distribuição (CD), um em cada pavimento. O posicionamento dos mesmos, circuitos contidos em cada um deles e proteções associadas serão expostos nos próximos itens.

5.4.1 DETERMINAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS CD

O processo acima foi executado para cada um dos pavimentos da edificação, onde os referenciais foram estabelecidos nos vértices à esquerda e abaixo da planta, e a partir daí foram calculadas as distâncias de cada um dos pontos de carga. Após cálculo das localizações dos centros de carga, foram determinadas as localizações do CD com base em critérios de comodidade e segurança, deixando-os fora de áreas molhadas e em locais de fácil acesso, que também permitissem uma melhor distribuição dos circuitos. A localização dos Centros de Distribuição pode ser verificada nas plantas dos Anexos B e C.

5.4.2 CIRCUITOS TERMINAIS

A divisão de circuitos foi determinada conforme os critérios da NBR 5410, também levando em consideração a praticidade para seccionamento dos mesmos quando necessário. Os circuitos contidos em cada ambiente, bem como as potências e correntes dimensionadas, estão dispostos no Quadro 17. A distribuição dos circuitos pode ser verificada nas plantas dos Anexos B e C.

Quadro 17 - Circuitos de Iluminação e tomadas

		Circuito	Itens	Cômodo	Potência (VA)	V
CD1 - TÉRREO	ILUM	1	Iluminação	Gabinete, Corr.1, Corr.2, Varanda	940	220
		2	Iluminação	Suite, Quarto 1, Quarto 2, Corr.3, Corr.4	1320	220
		3	Iluminação	Ateliê, Exterior	1500	220
		4	iluminação	WC 3	160	220
		5	iluminação	WC 4	160	220
		6	iluminação	WC 2	160	220
		7	iluminação	Cozinha	200	220
		8	Iluminação	Estar-Jantar, Varandas	920	220
	TOMADAS	9	TUG	Quarto 1	1000	220
		10	TUE (Ar Cond)	Quarto 1	2000	220
		11	TUG	Quarto 2	800	220
		12	TUE (Ar Cond)	Quarto 2	2000	220
		13	TUG	Gabinete e Corredores	1000	220
		14	TUG	Ateliê e exterior	1100	220
		15	TUG	WC 4	1900	220
		16	TUE (Chuveiro)	WC 4	6000	220
		17	TUG	WC 2	1800	220
		18	TUE (Chuveiro)	WC 2	6000	220
		19	TUG	WC 3	1900	220
		20	TUE (Chuveiro)	WC 3	6000	220
		21	TUG (2x 100 + 2x 600)	Cozinha	1400	220
		22	TUG (2x 100 + 2x 600)	Cozinha	1400	220
		23	TUE (Lava Louças)	Cozinha	3375	220
		24	TUG	Estar e Varandas	1400	220
		25	TUG	Suíte Casal e Corredor 3	1200	220
		26	TUE (Ar Cond)	Suíte Casal	2000	220
CD2 - SUBSOLO	ILUM	s1	Iluminação	Esp. Livre, Academia, Garagem, Pátio	1340	220
		s2	iluminação	WC 1, Lavanderia	280	220
	TOMADAS	s3	TUG	Acad, Garag., Pátio	1800	220
		s4	TUG	WC1	1800	220
		s5	TUE (Chuveiro)	WC1	6000	220
		s6	TUG	Lavanderia	1900	220
		s7	TUE (Lava Roupas)	Lavanderia	1875	220
		s8	TUG	Espaço Livre	2000	220

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.4.2.1 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES

Os condutores dos circuitos de distribuição foram dimensionados conforme os critérios de seção mínima, capacidade de corrente e queda de tensão. Foram considerados fatores de agrupamento do item 3.6.1.3 e uma temperatura de 35°C para a correção da capacidade de condução. Foram escolhidos condutores de cobre com isolamento em PVC e dimensionados conforme o método de referência B1 da Tabela 36 da NBR 5410. Os resultados do dimensionamento estão expostos no Quadro 18.

Quadro 18 - Dimensionamento de condutores

		Circuito	Potência (VA)	Ib(A)	Fator de Agrupamento	Iz(A)	Seção mín.(mm ²)	Seção Tab. 36 (mm ²)	Queda de tensão (ΔV%)	Seção Adotada	Izc (A)
CD1 - TÉRREO	ILUM	1	940	4,27	0,65	6,99	1,5	1,5	0,9%	1,5	10,6925
		2	1320	6,00	0,65	9,82	1,5	1,5	1,5%	2,5	14,664
		3	1500	6,82	0,65	11,16	1,5	1,5	1,7%	2,5	14,664
		4	160	0,73	0,7	1,11	1,5	1,5	0,0%	1,5	11,515
		5	160	0,73	0,65	1,19	1,5	1,5	0,1%	1,5	10,6925
		6	160	0,73	0,7	1,11	1,5	1,5	0,1%	1,5	11,515
		7	200	0,91	0,65	1,49	1,5	1,5	0,2%	1,5	10,6925
		8	920	4,18	0,65	6,84	1,5	1,5	1,1%	1,5	10,6925
	TOMADAS	9	1000	4,55	0,65	7,44	2,5	2,5	0,5%	2,5	14,664
		10	2000	9,09	0,65	14,88	2,5	2,5	0,8%	2,5	14,664
		11	800	3,64	0,65	5,95	2,5	2,5	1,0%	2,5	14,664
		12	2000	9,09	0,65	14,88	2,5	2,5	1,2%	2,5	14,664
		13	1000	4,55	0,7	6,91	2,5	2,5	0,8%	2,5	15,792
		14	1100	5,00	0,65	8,18	2,5	2,5	0,7%	2,5	14,664
		15	1900	8,64	0,8	11,48	2,5	2,5	0,3%	4	24,064
		16	6000	27,27	0,8	36,27	2,5	6	0,3%	10	42,864
		17	1800	8,18	0,8	10,88	2,5	2,5	0,5%	4	24,064
		18	6000	27,27	0,8	36,27	2,5	6	0,2%	10	42,864
		19	1900	8,64	0,8	11,48	2,5	2,5	0,8%	4	24,064
		20	6000	27,27	0,8	36,27	2,5	6	0,7%	10	42,864
		21	1400	6,36	0,7	9,67	2,5	2,5	1,2%	2,5	15,792
		22	1400	6,36	0,7	9,67	2,5	2,5	0,7%	2,5	15,792
		23	3375	15,34	0,7	23,31	2,5	2,5	0,5%	4	21,056
		24	1400	6,36	0,65	10,42	2,5	2,5	0,2%	2,5	14,664
		25	1200	5,45	0,7	8,29	2,5	2,5	1,0%	2,5	15,792
		26	2000	9,09	0,7	13,82	2,5	2,5	0,1%	2,5	15,792
CD2 - SUBSOLO	ILUM	s1	1340	6,09	0,7	9,26	1,5	1,5	0,6%	1,5	11,515
		s2	280	1,27	0,7	1,93	1,5	1,5	0,3%	1,5	11,515
	TOMADAS	s3	1800	8,18	0,7	12,43	2,5	2,5	0,8%	2,5	15,792
		s4	1800	8,18	0,8	10,88	2,5	2,5	0,2%	4	24,064
		s5	6000	27,27	0,8	36,27	2,5	6	0,2%	10	42,864
		s6	1900	8,64	0,7	13,13	2,5	2,5	0,3%	2,5	15,792
		s7	1875	8,52	0,7	12,95	2,5	2,5	0,3%	2,5	15,792
		s8	2000	9,09	0,8	12,09	2,5	2,5	0,3%	2,5	18,048

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.4.2.2 DIMENSIONAMENTO DE ELETRODUTOS

Os eletrodutos foram dimensionados conforme critério de proteção e de ocupação máxima estabelecidos no item 3.7.4, considerando as dimensões de eletrodutos estabelecidas pelo Anexo O do RIC-BT. Por conta da maior praticidade construtiva, serão utilizados eletrodutos de PVC tipo rígido com DN 25mm em quase todos os circuitos terminais, com exceção de um trecho onde será utilizado eletroduto com DN 32mm. As dimensões dos eletrodutos dimensionados estão dispostas nas plantas do Anexo C e E.

5.4.2.3 PROTEÇÕES DOS CIRCUITOS TERMINAIS

As proteções para os circuitos de iluminação e tomadas foram dimensionadas conforme as orientações estabelecidas no item 3.8. Os disjuntores termomagnéticos e interruptores diferenciais residuais escolhidos estão relacionados no Quadro 19. O dispositivo de proteção contra surtos escolhido tem suporte tensões de 275V e correntes de surto de 45kA. O dispositivo DPS deverá ser instalado junto ao QDG, conforme diagrama do Anexo E. Os interruptores diferenciais residuais deverão ser instalados nos CD 1 e CD 2, somente nos barramentos dos circuitos necessários, conforme diagramas do Anexo E.

Quadro 19 – Disjuntores dos circuitos terminais

		Circuito	Potência (VA)	Izc (A)	Disjuntor Termomag. (A)	IDR - 30mA (A)
CD1 - TÉRREO	ILUM	1	940	10,6925	10	-
		2	1320	14,664	10	-
		3	1500	14,664	10	-
		4	160	11,515	10	40
		5	160	10,6925	10	40
		6	160	11,515	10	40
		7	200	10,6925	10	40
		8	920	10,6925	10	-
	TOMADAS	9	1000	14,664	10	-
		10	2000	14,664	13	-
		11	800	14,664	10	-
		12	2000	14,664	13	-
		13	1000	15,792	10	-
		14	1100	14,664	10	40
		15	1900	24,064	13	40
		16	6000	42,864	40	40
		17	1800	24,064	10	40
		18	6000	42,864	40	40
		19	1900	24,064	13	40
		20	6000	42,864	40	40
		21	1400	15,792	10	40
		22	1400	15,792	10	40
		23	3375	21,056	20	40
		24	1400	14,664	10	40
		25	1200	15,792	10	-
		26	2000	15,792	13	-
CD2 - SUBSOLO	ILUM	s1	1340	11,515	10	-
		s2	280	11,515	10	40
	TOMADAS	s3	1800	15,792	10	40
		s4	1800	24,064	10	40
		s5	6000	42,864	40	40
		s6	1900	15,792	13	40
		s7	1875	15,792	13	40
		s8	2000	18,048	13	-

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.5 DEMANDA DE ENERGIA

A demanda de energia foi calculada conforme orientações do item 3.10, seguindo os critérios do RIC-BT para estabelecimento dos fatores de demanda de iluminação, tomadas e equipamentos de uso específico. Os fatores utilizados e o resultado encontrado estão dispostos no Quadro 20.

Quadro 20 - Demanda de energia

Equipamentos	Fator de demanda	Carga Instalada (VA)	Demanda Calculada (VA)
a (Iluminação e Tomadas)	0,28	29380	8226,4
b (aquecimento - Chuveiros e MLL)	0,62	27375	16972,5
c (Ar Condicionado)	1	6000	6000
e (Máq Lavar Roupa)	1	1875	1875
			33073,9

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.6 FORNECIMENTO DE ENERGIA

Os itens a seguir referem-se ao dimensionamento de todos os componentes responsáveis pela transferência da energia da rede de distribuição da concessionária até os circuitos terminais.

5.6.1 ENTRADA DE SERVIÇO

A entrada de serviço foi dimensionada segundo o Anexo J do RIC-BT para um fornecimento de 380/220V e para a demanda calculada de 33,07kVA. As características dos componentes dimensionados são:

- Fornecimento: Trifásico tipo C14
- Proteção: Disjuntor termomagnético de 70 A
- Condutor do ramal de ligação: Cobre com 10mm² de seção

- Condutor do ramal de entrada: Cobre isolado com 25mm² de seção
- Condutor de aterramento: Cobre isolado com 10mm² de seção
- Condutor de proteção: Cobre isolado com 16mm² de seção
- Eletroduto do ramal de entrada: PVC com 40mm de diâmetro
- Eletroduto para aterramento e proteção: PVC com 20mm de diâmetro

Foi escolhida a instalação subterrânea do ramal de entrada, conforme a Figura 15 do RIC-BT. A entrada de serviço deverá ser dimensionada conforme diagrama contido no Anexo D.

5.6.2 QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO GERAL

Entre o centro de medição, onde é recebida a energia da concessionária, e os CDs do pavimento térreo e do subsolo, optou-se por instalar um Quadro de Distribuição Geral (QDG), que ficará no subsolo e comportará um disjuntor geral, com as mesmas características da entrada de serviço, e um disjuntor para cada CD, cujo dimensionamento será descrito a seguir, além do dispositivo de disposição contra surtos.

5.6.3 QUADRO DE CARGAS

O quadro de cargas, contendo todas as cargas distribuídas a partir do QDG, bem como distribuição das cargas entre fases, seções dos condutores e proteções de cada circuito está ilustrado pelo Quadro 21.

Quadro 21 - Quadro de cargas

	Circuito	Potência (VA)	Fases			Ib (A)	Id(A)	IDR(A) 30mA	Condutores (mm ²)			
			R	S	T				F	N	T	
CD1 - TÉRREO	ILUM	1	940	940		4,27	10	-	1,5	1,5	1,5	
		2	1320		1320	6,00	10	-	2,5	2,5	2,5	
		3	1500			1500	6,82	10	-	2,5	2,5	2,5
		4	160	160			0,73	10	40	1,5	1,5	1,5
		5	160		160		0,73	10	40	1,5	1,5	1,5
		6	160	160			0,73	10	40	1,5	1,5	1,5
		7	200	200			0,91	10	40	1,5	1,5	1,5
		8	920		920		4,18	10	-	1,5	1,5	1,5
	TOMADAS	9	1000	1000			4,55	10	-	2,5	2,5	2,5
		10	2000		2000		9,09	13	-	2,5	2,5	2,5
		11	800	800			3,64	10	-	2,5	2,5	2,5
		12	2000	2000			9,09	13	-	2,5	2,5	2,5
		13	1000		1000		4,55	10	-	2,5	2,5	2,5
		14	1100			1100	5,00	10	40	2,5	2,5	2,5
		15	1900	1900			8,64	13	40	4,0	4,0	4
		16	6000		6000		27,27	40	40	10,0	10,0	10
		17	1800			1800	8,18	10	40	4,0	4,0	4
		18	6000	6000			27,27	40	40	10,0	10,0	10
		19	1900		1900		8,64	13	40	4,0	4,0	4
		20	6000			6000	27,27	40	40	10,0	10,0	10
		21	1400	1400			6,36	10	40	2,5	2,5	2,5
		22	1400		1400		6,36	10	40	2,5	2,5	2,5
		23	3375			3375	15,34	20	40	4,0	4,0	4
		24	1400	1400			6,36	10	40	2,5	2,5	2,5
		25	1200		1200		5,45	10	-	2,5	2,5	2,5
		26	2000			2000	9,09	13	-	2,5	2,5	2,5
CD2 - SUBSOLO	ILUM	s1	1340			1340	6,09	10	-	1,5	1,5	1,5
		s2	280			280	1,27	10	40	1,5	1,5	1,5
	TOMADAS	s3	1800			1800	8,18	10	40	2,5	2,5	2,5
		s4	1800	1800			8,18	10	40	4,0	4,0	4
		s5	6000		6000		27,27	40	40	10,0	10,0	10
		s6	1900			1900	8,64	13	40	2,5	2,5	2,5
		s7	1875	1875				13	40	2,5	2,5	2,5
		s8	2000	2000			9,09	13	-	2,5	2,5	2,5

(fonte: Elaborado pelo autor)

5.6.4 DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES E PROTEÇÕES

Todos os circuitos da instalação estão conectados através do condutor de proteção ao aterramento da entrada de serviço, constituído por uma haste de cobre de 3/4" e 2,4m. Os disjuntores gerais do QDG e dos centros de distribuição foram dimensionados conforme a corrente calculada pelas fórmulas do item 3.5.1.2 para distribuição trifásica equilibrada, considerando a demanda calculada segundo orientações do item 3.9. Os condutores foram

dimensionados pelos critérios de capacidade de corrente e queda de tensão, da mesma forma que os condutores dos circuitos terminais. Para condutores subterrâneos foi estabelecida uma isolação mínima de 1kV. Os condutores e disjuntores adotados estão dispostos no Quadro 22.

Quadro 22 - Dimensionamento CDs

CD	Demanda (A)	Corrente (A)	Seção Adotada (mm ²)	Capacidade (A)	lzc	L(m)	Queda de tensão ($\Delta V\%$)	Disjuntor(A)
1	47635	35,589846	10	50	47	8	0,227107341	40
2	16995	16,181001	6	36	33,84	15	0,322671399	32

(fonte: Elaborado pelo autor)

Para o CD 2 optou-se por utilizar um disjuntor de 32A caso haja a necessidade de instalação de maiores cargas no futuro.

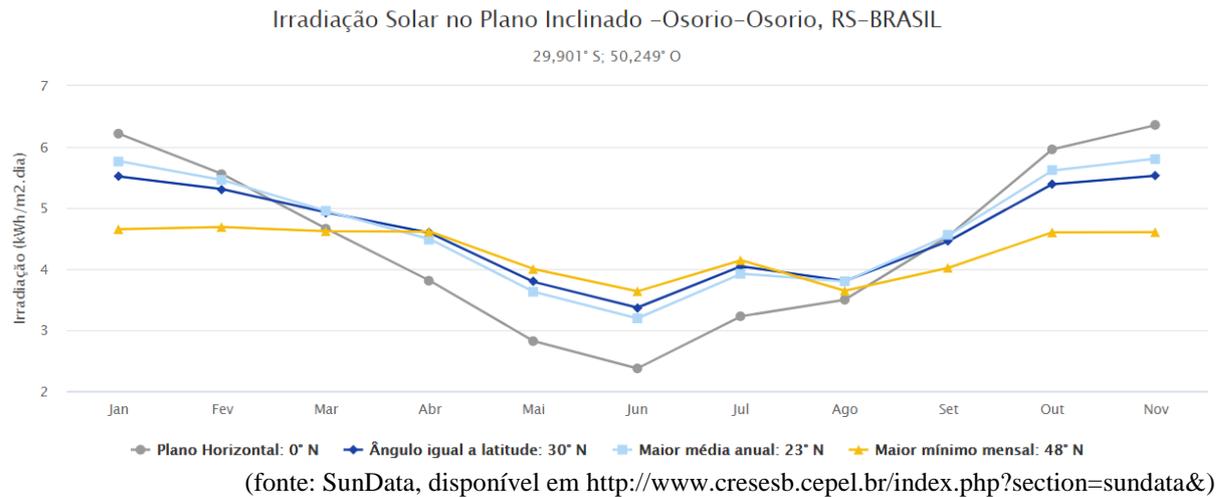
6 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nesse capítulo será feito o dimensionamento de um sistema fotovoltaico On Grid adequado à edificação estudada, levando em consideração as recomendações e métodos tratados no capítulo 4. O objetivo deste é realizar um estudo de aplicação da tecnologia de microgeração de energia solar em condições reais, analisando também sua viabilidade econômica para a edificação em questão.

6.1 CONDIÇÕES DE IRRADIAÇÃO

O projeto será executado para uma residência unifamiliar de 3 quartos, com 340m² de área interna, localizada em Osório/RS. Para fins de estudo, a localização do empreendimento foi estabelecida nas coordenadas geográficas 29°53'11.1"S e 50°15'29.4"O para os valores de latitude e longitude, respectivamente. Para determinação do valor de irradiação média anual incidente sobre o empreendimento, foi utilizado o programa SunData, do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salva Brito. O programa disponibiliza a medição de irradiação na estação mais próxima ao local desejado, e no caso estudado retornou os resultados exibidos na Figura a seguir.

Figura 14 - Irradiação solar em Osório



O gráfico exibe valores de irradiação média mensal para quatro diferentes situações:

- Irradiação no plano horizontal;
- Irradiação em plano com ângulo de inclinação igual a latitude de local;
- Maior média de irradiação anual;
- Maior mínima média de irradiação mensal

Os dados foram transcritos para o Quadro a seguir para melhor visualização dos valores.

Quadro 23 - Irradiação solar em Osório

Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Plano Horizontal	0° N	6,2	5,6	4,7	3,8	2,8	2,4	2,6	3,2	3,5	4,5	6	6,4	4,3
Ângulo igual a latitude	30° N	5,5	5,3	4,9	4,6	3,8	3,4	3,6	4,1	3,8	4,5	5,4	5,5	4,52
Maior média anual	23° N	5,8	5,5	5	4,5	3,6	3,2	3,4	3,9	3,8	4,6	5,6	5,8	4,55
Maior mínimo mensal	48° N	4,7	4,7	4,6	4,6	4	3,6	3,8	4,2	3,6	4	4,6	4,6	4,25

(fonte: SunData, adaptado pelo autor)

Como se trata do dimensionamento de um sistema On Grid, que é capaz de enviar para a rede de distribuição a energia gerada excedente, deve-se buscar a maior média de irradiação anual, que de acordo com o SunData, é obtida posicionando os painéis ao norte geográfico com uma

inclinação de 23° com relação ao plano horizontal. É importante ressaltar que em casos de possíveis obstruções ou limitações construtivas pode ser necessário o posicionamento dos painéis com outros ângulos de inclinação, devendo ser feito um estudo mais aprofundado.

6.2 DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA NECESSÁRIA

O dimensionamento da potência necessária no sistema de geração para abastecimento da residência foi feito utilizando a fórmula a seguir, considerando os pontos já tratados no tópico 4.5:

$$\text{Potência Necessária} = \frac{\text{Consumo médio diário de energia}}{\text{HSP} * \eta}$$

O consumo médio de energia para a residência foi estimado em 600kWh mensais, entretanto é válido ressaltar que a concessionária de energia cobra uma taxa fixa de consumo mínimo referente a instalação, que no caso estudado é de 100kWh para instalações trifásicas. Ou seja, mesmo que o sistema seja capaz de produzir toda a energia que consome, ainda será necessário o pagamento da taxa mínima. Nessas condições é importante atentar para não superdimensionar o sistema. Então o consumo utilizado para o dimensionamento do sistema será descontado da taxa mínima, totalizando 500kWh mensais, ou 16,67kWh diários.

O HSP foi determinado através da irradiação diária média dada pelo programa SunData, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{HSP} = \frac{\frac{4,55\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{dia}}{1\text{kW}/\text{m}^2}$$

Resultando no valor de 4,55 Horas por dia.

O rendimento médio para painéis de silício, como recomendado no tópico 4.5.1.2, foi determinado como 67,5%

Logo, é necessária uma potência do sistema de 5,43kWp para gerar, sob 4,55 horas de irradiação solar de 1kW/m², os 16,67kWh consumidos pela residência.

6.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO

O módulo fotovoltaico escolhido foi o Pannel Solar da marca Yingli, modelo YL330P-35b. A ficha técnica do módulo fotovoltaico pode ser verificada no Anexo G. Suas principais características são as seguintes:

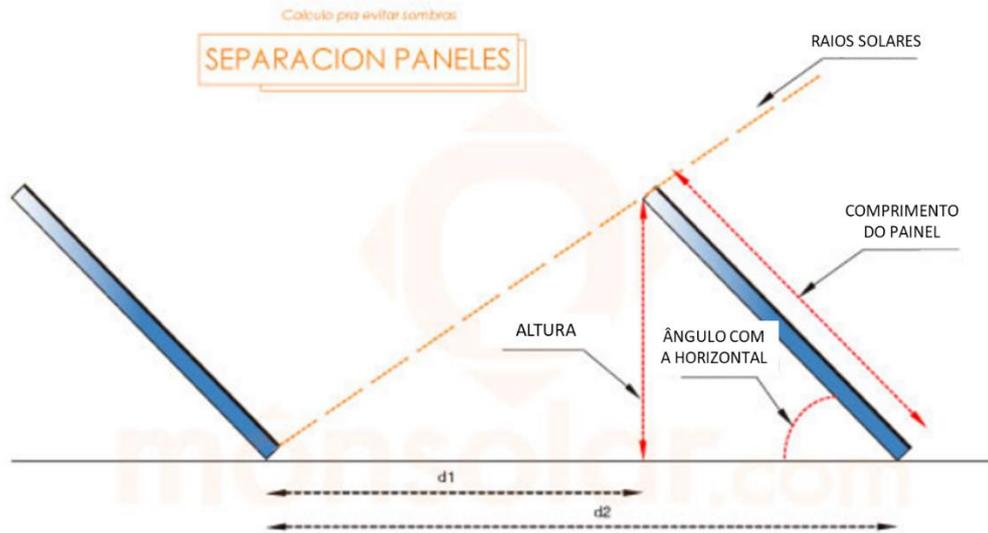
- Potência máxima = 300W;
- Tensão de máxima potência: 37,3V;
- Tensão de circuito aberto: 45,7V;
- Corrente de máxima potência: 8,89A;
- Corrente de curto circuito: 9,37A;
- Dimensões: 1960mm (Comprimento) x 992mm (Largura) x 40mm (Espessura);
- Possui proteção Ip67 (Resistente à água).

Para a potência necessária calculada anteriormente, de 5,43kW, será necessária a utilização de 17 painéis do modelo escolhido. Por questões construtivas foi escolhido utilizar 18 painéis, garantindo uma melhor estrutura da instalação e maior geração de energia em caso de irradiação inferior ao esperado ou diminuição da eficiência com o passar do tempo sem afetar o dimensionamento dos outros componentes. A potência total do sistema com 18 módulos resultou em 5,94kWp.

6.4 DISTANCIAMENTO ENTRE MÓDULOS

Como ilustra a Figura, os painéis precisam ser espaçados de forma que uns não gerem sombra para os outros. Conforme a latitude, inclinação e dimensões do painel, foi determinado um espaçamento mínimo de 3,6m entre as bordas iniciais de cada painel, representado na Figura 15 por “d2”.

Figura 15 - Espaçamento entre painéis solares

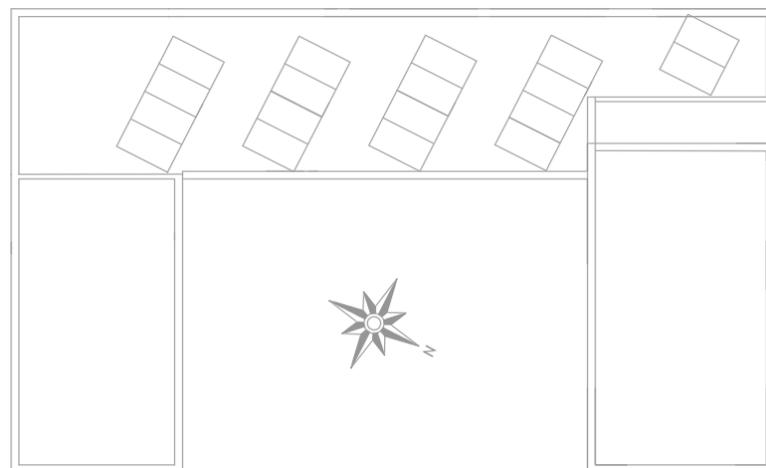


(fonte: <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>)

6.5 POSICIONAMENTO DOS MÓDULOS

Os módulos serão conectados em série na laje da edificação, orientados para o norte geográfico, e posicionados conforme a Figura 16, com o espaçamento adequado.

Figura 16 - Posicionamento dos painéis na laje da edificação



(fonte: elaborado pelo autor)

Para garantir a inclinação correta, será utilizado suporte regulável para os módulos, como o ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Suporte regulável para painéis solares



(fonte: <http://pt.pv-mounting.com/roof-mounting-system/flat-roof-mounting-system/adjustable-tilt-system.html>)

6.6 INVERSOR

De acordo com Pinho e Galdino (2014), de maneira conservadora, a potência do inversor pode ser igual a potência nominal da geração, entretanto, para uma redução de custos é possível trabalhar com um inversor de capacidade inferior. Fabricantes recomendam que a potência nominal do inversor esteja entre 75% e 105% da potência máxima dos módulos associados.

Outro fator importante para dimensionamento do inversor é a sua capacidade de suporte às tensões geradas pelos módulos em corrente contínua, levando em consideração que a tensão final do sistema é equivalente ao somatório de tensões de cada módulo. Por segurança utiliza-se o valor de tensão em circuito aberto. Logo, o dimensionamento do inversor quanto a tensão deve respeitar a seguinte regra:

$$V_{imax} > (N^{\circ} \text{ de Módulos}) * V_{oc}$$

Onde:

V_{imax} = Tensão em corrente contínua admitida pelo inversor;

V_{oc} = Tensão dos painéis de circuito aberto.

Para os 18 módulos dimensionados, com tensão de circuito aberto de 45,7V cada, a tensão calculada a ser suportada pelo inversor foi de 823V. Foi escolhido o inversor da marca Fronius, modelo Primo 5.0, que também atende à potência de 5,94W dos módulos fotovoltaicos. A ficha técnica do inversor está disponível no Anexo H. Suas principais características são as seguintes:

- Potência fotovoltaica máxima recomendada: 6,5kW;
- Corrente máxima de entrada: 12A;
- Corrente de curto circuito máxima dos módulos em série: 18A;
- Faixa de tensão de entrada: entre 80V e 1000V;
- Conexão à rede: 180V a 270V;
- Corrente máxima de saída: 21,7A.

6.7 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E CABOS

Os dispositivos de proteção e cabos para as partes em corrente contínua e corrente alternada do sistema foram dimensionados conforme as recomendações estabelecidas no capítulo 4 e estão dispostos nos quadros a seguir.

Para o lado em corrente contínua, foi dimensionado DPS específico para este fim, com suporte a tensões de até 1040V. O disjuntor escolhido também tem capacidade para tensões de 1000V e correntes de até 16^a. Os condutores foram dimensionados com seção de 4mm² e isolamento em EPR para garantir às maiores temperaturas devido à exposição ao sol.

Quadro 24 - Componentes corrente contínua

CORRENTE CONTÍNUA	
CORRENTE MÁXIMA (A)	9,37
DPS	Clamper Solar 1040V Classe II
DISJUNTOR	Bipolar Cenoe 1000V CC 16A
CONDUTORES	4mm ² c/ Isolação EPR

(fonte: elaborado pelo autor)

Já para a parcela do sistema em corrente alternada, os componentes escolhidos foram dimensionados da mesma forma que a instalação elétrica da residência. O DPS escolhido tem suporte a até 275V, garantindo a proteção da saída do inversor, com tensões de até 270V. O disjuntor e cabos foram dimensionados para suportar a corrente máxima de 21,7A de saída do sistema, como estabelecido nas especificações do inversor.

Quadro 25 - Componentes corrente alternada

CORRENTE ALTERNADA	
CORRENTE MÁXIMA (A)	21,7
DPS	Clamper VCL SP 275V 45kA
DISJUNTOR	Bipolar Steck 25A
CONDUTORES	4mm ² Isolação EPR 1kV

(fonte: elaborado pelo autor)

6.8 ARRANJO FINAL DO SISTEMA

O sistema de microgeração de energia solar completo é constituído pelos seguintes elementos e configurações:

- Painéis solares: Dispostos na laje do empreendimento, arranjados em série, ou seja, cada painel tem seu polo positivo conectado ao polo negativo do próximo painel. Estão orientados em direção ao sol, inclinados em 23° e espaçados em pelo menos 3,5m; São suportados por estruturas metálicas;
- Cabeamento da corrente contínua: Conecta os painéis entre si e à caixa de junção;
- Caixa para stringbox: Comporta e conecta os dispositivos de proteção (DPS, Disjuntor para a corrente contínua e barramento terra conectado ao aterramento) entre os cabeamentos e o inversor de frequência;
- Inversor de frequência: É conectado ao cabeamento de corrente contínua e o cabeamento de corrente alternada;

- Cabeamento de corrente alternada: Conecta a caixa de junção com o QDG, onde se encontra o disjuntor de proteção do cabeamento de corrente alternada do sistema.

A disposição dos elementos pode ser verificada na planta do Anexo F.

7 VIABILIDADE ECONÔMICA

A microgeração de energia solar residencial é uma alternativa ao consumo de energia fornecida pela rede, além de se tratar de uma fonte renovável e sustentável. Como utiliza a energia proveniente do sol, o sistema não consome recursos ao longo do tempo, gerando despesas somente quanto a necessidade de manutenções e troca de equipamentos. Entretanto, há um custo alto de instalação, e é importante para o usuário poder avaliar a compensação financeira do investimento ao longo do tempo. Este capítulo tem como objetivo analisar o tempo de retorno e atratividade do investimento.

7.1 CUSTOS

Para definir a atratividade e o retorno do investimento é necessário determinar os custos de instalação e manutenção do sistema, que serão descritos abaixo.

7.1.1 CUSTOS DE INSTAÇÃO E MANUTENÇÃO

Para os custos dos equipamentos, foram considerados preços médios disponíveis no mercado, e o custo de mão de obra foi estimado conforme orçamentos de sistemas solares com características semelhantes. Os custos de instalação estão disponíveis no Quadro 26.

Quadro 26 - Custos de instalação

Item	Preço Unid.	Qtd	Total
Caixa String Box p/ 8 Disjuntores c/ Ip65	R\$ 150,00	1	R\$ 150,00
Suporte inclinado p/ painéis solares	R\$ 960,00	5	R\$ 4.800,00
Módulo fotovoltaico YL330P	R\$ 630,00	18	R\$ 11.340,00
Inversor Fronius Primo 5kW	R\$ 7.850,00	1	R\$ 7.850,00
Cabos e conectores	R\$ 200,00	-	R\$ 200,00
DPS Tripolar Clamper Solar 1040V 40kA	R\$ 250,00	1	R\$ 250,00
DPS Monopolar Clamper VCL 275V 45kA	R\$ 50,00	2	R\$ 100,00
Disjuntor Bipolar Cenoe 1000V 16A	R\$ 90,00	1	R\$ 90,00
Disjuntor Bipolar Steck 25A	R\$ 35,00	1	R\$ 35,00
Frete	R\$ 1.000,00	-	R\$ 1.000,00
Mão de Obra	R\$ 2.000,00	-	R\$ 2.000,00
TOTAL			R\$ 27.815,00

(fonte: elaborado pelo autor)

Os custos de manutenção foram estimados em 1000 reais anuais, que envolvem reparos para eventuais falhas, substituição de componentes e limpeza. A vida útil dos equipamentos mais custosos, que são os módulos fotovoltaicos e o inversor, foi definida em 25 e 10 anos, conforme garantia do fabricante. Os custos de manutenção estão relacionados no Quadro 27.

Quadro 27 - Custos de manutenção do sistema

Item	Intervalo (Anos)	Custo
Manutenção	1	R\$ 1.000,00
Módulo fotovoltaico YL330P	25	R\$ 11.340,00
Inversor Fronius Primo 5kW	10	R\$ 7.850,00

(fonte: elaborado pelo autor)

7.1.2 TARIFA DA CONCESSIONÁRIA

Para definir o valor que deixará de ser gasto com tarifa de energia elétrica proveniente da concessionária, foi considerado o preço de R\$ 0,85 por kWh, já considerando impostos, praticado pela CEEE. Para fins de cálculo foi considerado um preço constante durante o período de avaliação. A Tarifa mínima cobrada pela CEEE para uma rede trifásica equivale a um consumo de 100kW, e também foi levada em consideração. A economia mensal estimada, para um consumo mensal de 600kW, está exposta no Quadro 28.

Quadro 28 - Economia mensal gerada

Item	Consumo mensal (kWh)	Preço kWh	Custo
Consumo	600	R\$ 0,85	R\$ 510,00
Tarifa mínima	100	R\$ 0,85	-R\$ 85,00
TOTAL (economia por mês)			R\$ 425,00

(fonte: elaborado pelo autor)

7.2 RETORNO DO INVESTIMENTO

Para analisar o retorno financeiro do investimento foi utilizado o método do Valor Presente Líquido (VPL), que tem como objetivo definir a viabilidade de um projeto, trazendo como resultado a diferença entre a receita e o custo do mesmo ajustada para a data atual. O VPL leva em consideração que o dinheiro pode ser valorizado segundo uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), ou seja, para que o projeto realizado seja lucrativo, é necessário que a receita coletada através do projeto no final do período de avaliação seja maior do que a receita que seria gerada caso o montante inicial investido estivesse sob rendimento igual à TMA. O VPL pode ser calculado da seguinte maneira:

$$VPL = \sum_{t=0}^T \frac{FCt}{(1 + TMA)^t}$$

Onde:

FCt = Fluxo de caixa (receita ou custo) no período t ;

TMA = Taxa mínima de atratividade;

t = Ano analisado dentro do período T ;

T = Período total de análise.

A partir da análise dos fluxos de caixa no período analisado, um valor de VPL positivo demonstra que um investimento gerará lucro no determinado período, enquanto um VPL negativo significa que o projeto trará prejuízo. Para o projeto estudado a TMA anual foi estabelecida pelo valor acumulado da taxa Selic nos últimos 12 meses, de 6,11%, que também

é utilizado para determinar rendimentos anuais de investimentos de baixo risco. Para a correção dos custos de manutenções, tarifa de energia e equipamentos a serem substituídos foi determinada uma taxa anual constante de 4,66%, equivalente ao IPCA (Índice de Preços ao Consumidor Amplo) acumulado nos últimos 12 meses.

O Quadro 29 exibe o VPL do projeto para um período de 25 anos, que equivale à vida útil dos módulos fotovoltaicos garantida pelo fabricante. No período também foram consideradas manutenções anuais e a troca do inversor a cada 10 anos, que também é o período garantido para este equipamento.

Quadro 29 - VPL do projeto

Ano	Investimento	Manutenção	Tarifa Mínima Energia	Economia Conta de Luz	Fluxo de Caixa	VPL
0	-R\$ 27.815,00	-			-R\$ 27.815,00	-R\$ 27.815,00
1	-	-R\$ 1.046,60	-R\$ 1.020,00	R\$ 6.120,00	R\$ 4.053,40	-R\$ 23.995,00
2	-	-R\$ 1.095,37	-R\$ 1.067,53	R\$ 6.405,19	R\$ 4.242,29	-R\$ 20.227,20
3	-	-R\$ 1.146,42	-R\$ 1.117,28	R\$ 6.703,67	R\$ 4.439,98	-R\$ 16.510,89
4	-	-R\$ 1.199,84	-R\$ 1.169,34	R\$ 7.016,07	R\$ 4.646,88	-R\$ 12.845,37
5	-	-R\$ 1.255,75	-R\$ 1.223,84	R\$ 7.343,01	R\$ 4.863,43	-R\$ 9.229,93
6	-	-R\$ 1.314,27	-R\$ 1.280,87	R\$ 7.685,20	R\$ 5.090,06	-R\$ 5.663,90
7	-	-R\$ 1.375,51	-R\$ 1.340,55	R\$ 8.043,33	R\$ 5.327,26	-R\$ 2.146,60
8	-	-R\$ 1.439,61	-R\$ 1.403,02	R\$ 8.418,15	R\$ 5.575,51	R\$ 1.322,64
9	-	-R\$ 1.506,70	-R\$ 1.468,41	R\$ 8.810,43	R\$ 5.835,33	R\$ 4.744,47
10	-R\$ 12.378,75	-R\$ 1.576,91	-R\$ 1.536,83	R\$ 9.221,00	-R\$ 6.271,50	R\$ 1.278,63
11	-	-R\$ 1.650,40	-R\$ 1.608,45	R\$ 9.650,70	R\$ 6.391,85	R\$ 4.607,58
12	-	-R\$ 1.727,30	-R\$ 1.683,40	R\$ 10.100,42	R\$ 6.689,71	R\$ 7.891,04
13	-	-R\$ 1.807,80	-R\$ 1.761,85	R\$ 10.571,10	R\$ 7.001,45	R\$ 11.129,64
14	-	-R\$ 1.892,04	-R\$ 1.843,95	R\$ 11.063,71	R\$ 7.327,72	R\$ 14.323,97
15	-	-R\$ 1.980,21	-R\$ 1.929,88	R\$ 11.579,28	R\$ 7.669,19	R\$ 17.474,66
16	-	-R\$ 2.072,49	-R\$ 2.019,81	R\$ 12.118,88	R\$ 8.026,58	R\$ 20.582,29
17	-	-R\$ 2.169,06	-R\$ 2.113,94	R\$ 12.683,62	R\$ 8.400,62	R\$ 23.647,45
18	-	-R\$ 2.270,14	-R\$ 2.212,45	R\$ 13.274,67	R\$ 8.792,09	R\$ 26.670,73
19	-	-R\$ 2.375,93	-R\$ 2.315,55	R\$ 13.893,27	R\$ 9.201,80	R\$ 29.652,70
20	-R\$ 19.520,20	-R\$ 2.486,65	-R\$ 2.423,45	R\$ 14.540,70	-R\$ 9.889,60	R\$ 26.632,38
21	-	-R\$ 2.602,53	-R\$ 2.536,38	R\$ 15.218,30	R\$ 10.079,39	R\$ 29.533,40
22	-	-R\$ 2.723,81	-R\$ 2.654,58	R\$ 15.927,47	R\$ 10.549,09	R\$ 32.394,79
23	-	-R\$ 2.850,73	-R\$ 2.778,28	R\$ 16.669,69	R\$ 11.040,67	R\$ 35.217,07
24	-	-R\$ 2.983,58	-R\$ 2.907,75	R\$ 17.446,50	R\$ 11.555,17	R\$ 38.000,78
25	-R\$ 44.778,28	-R\$ 3.122,61	-R\$ 3.043,25	R\$ 18.259,50	-R\$ 32.684,64	R\$ 30.580,24

(fonte: elaborado pelo autor)

Como pode ser observado, o VPL passa a ser positivo do 8º ano, logo, é necessária a utilização do sistema por pelo menos 8 anos para que a economia na conta de energia compense o investimento feito. É importante ressaltar que foram consideradas linearidades nos custos, tanto de equipamentos quanto da conta de energia, que não necessariamente correspondam com a realidade dos próximos anos. Enquanto um aumento no preço da energia elétrica pode fazer

com que o investimento seja atrativo em um período mais curto, a estabilidade do preço e aumento nos custos de equipamentos e mão de obra pode gerar um efeito contrário. Entretanto, as tecnologias de geração de energia solar vêm evoluindo nos últimos anos e sistemas deste tipo vem sendo mais difundidos no Brasil e no mundo, acarretando o surgimento de equipamentos cada vez mais eficientes e a preços mais acessíveis.

Além dos aspectos econômicos avaliados neste estudo, também deve ser levada em conta a natureza sustentável do sistema em questão, capaz de gerar energia através de uma fonte renovável, sem emissão de poluentes ou ruídos, o que torna a sua atratividade ainda maior.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço das tecnologias referentes ao aproveitamento da energia solar fotovoltaica tem tornado cada vez mais necessária a disseminação de conhecimento a respeito do tema, e o aumento da produção e do consumo desse tipo de energia tem criado uma demanda por normas e recomendações que garantam a funcionalidade e eficiência desses sistemas, bem como profissionais que sejam capazes de interpretar essas normas e aplica-las da forma mais adequada possível.

Neste trabalho foi ressaltada a importância da execução de um projeto de instalações elétricas compatível com as normas vigentes e com os critérios de conforto e praticidade pertinentes à utilização de uma edificação, tanto para proporcionar a segurança da instalação como para garantir o dimensionamento correto das cargas e componentes a serem utilizados, buscando o melhor aproveitamento no consumo de energia. Foram descritas as etapas necessárias para a elaboração do projeto conforme as regulamentações e os conhecimentos foram aplicados em um estudo de caso.

Considerando uma instalação elétrica bem dimensionada e adequada às normas relacionadas foi possível realizar um estudo e aplicação de um sistema de microgeração de energia solar fotovoltaico integrado à rede, também sendo necessário adequar o mesmo as normas vigentes e acomodá-lo de forma eficiente à edificação estudada.

Através dos dimensionamentos e cálculos realizados foi possível comprovar a viabilidade econômica da implementação deste sistema em uma residência unifamiliar, com um tempo de retorno para o investimento de 8 anos, levando em conta manutenções periódicas e substituição de componentes. Desta forma, embora ainda envolva um alto custo de implementação, o uso da tecnologia se mostra atrativo, e as perspectivas são ainda melhores se considerarmos os avanços referentes a eficiência e redução de custos dos componentes, unidos ao crescente incentivo a nível nacional e global para a produção e consumo de energia sustentável.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa N° 482 e 493**. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em: 12 maio 2019.
- 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.
- CARDOSO, S. L. **Instalações Elétricas**. 2018. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Notas de Aula.
- COMPANHIA ESTADUAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Instrução Técnica IT – 11.01.081. **Acesso de microgeração e minigeração ao sistema de distribuição da CEEE-D**. Porto Alegre. 2019.
- IBGE. **IPCA Acumulado maio 2019**. Brasil, 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?t=resultados>> Acessado em: 20 junho 2019.
- PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **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> Acessado em: 24 maio 2019.
- RECEITA FEDERAL. **Taxas de Juros Selic**. Brasil, 2019. Disponível em: <<http://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic>> Acessado em: 20 junho 2019.
- RIC-BT. **Regulamento de Instalações Consumidoras de Baixa Tensão, 2017**. Disponível em: < <http://www.ceeecom.br/pportal/ceeecom/Component/Controller.aspx?CC=7248>>. Acesso em: 25 novembro 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.

ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO ELÉTRICO

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente memorial visa descrever o projeto das instalações elétricas de uma edificação residencial localizada em Osório/RS

2. DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOTADA

2.1 CONCEPÇÃO DO PROJETO

Este projeto foi concebido de acordo com as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) no que tange às instalações elétricas de baixa tensão (NBR-5410/2004), e também adequado às recomendações da concessionária CEEE disponíveis no RIC BT- 2017.

2.2 CARACTERÍSTICAS E REQUISITOS DA INSTALAÇÃO

A carga total prevista para a edificação é de 64,63 kVA e a demanda total calculada da edificação é de 33,07 kVA, conforme planilhas de cálculo apresentadas no projeto.

2.3 SUPRIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA (ENTRADA DE ENERGIA)

O suprimento de eletricidade para essa edificação será a partir da rede de distribuição de energia elétrica da concessionária local, a qual é existente na calçada em frente à edificação. O sistema que foi previsto para ser utilizado é o do tipo trifásico em baixa tensão, nas tensões de 380/220V (FF/FN).

Ramal de entrada: A interligação elétrica do poste da rede pública até o quadro do medidor será subterrânea, feita através de 04 (quatro) condutores de cobre, isolação em PVC/70°C, tensões de isolamento 0,6/1kV, com seções nominais de 25 mm², protegidos mecanicamente por eletroduto de PVC do tipo rígido com diâmetro nominal DN 75.

Quadro do Medidor: foi prevista a instalação do quadro de medidor situado a 0,50 m do limite do terreno (conforme detalhe na planta), no muro existente. Será de metal tipo CLI-2A, padrão

RIC/BT; a instalação deverá ser protegida por um disjuntor termomagnético tripolar de 70 A - 10kA, instalado no interior do quadro.

Ramal interno – do medidor partirão, de forma subterrânea, 04 (cinco) condutores de cobre, isolamento PVC/70°C (três fases e neutro), tensões de isolamento 1kV/0,6kV, seção 25 mm² e 01 (um) condutor de cobre, isolamento PVC/70°C (proteção) tensões de isolamento 1kV/0,6kV, seção 16mm², até o quadro de distribuição geral, localizado no interior da edificação (identificado em planta como subsolo); esses condutores deverão ser protegidos por eletroduto de PVC rígido roscável DN 40.

2.4 ATERRAMENTO

O sistema de aterramento previsto é o TN-S, conforme NBR-5410, ou seja, distribuição de neutro e terra separados a partir da origem e em todos os pontos terminais.

Os quadros conterão barramento específico de neutro e de proteção, independentes, fixados firmemente na carcaça através de parafusos e acessórios de contato. Cada circuito terá seu condutor neutro e de proteção, independente, com origem nos barramentos dos respectivos quadros.

Para o aterramento e a ligação do condutor de proteção geral de todo o sistema elétrico da edificação, foi projetada a instalação de haste(s) de aço cobreado junto à entrada de energia, com 2,4 metros de comprimento, que deverá(ão) ser totalmente enterrada(s) verticalmente no solo; na haste mais próxima serão feitas as conexões dos condutores de aterramento e proteção. O condutor para o aterramento será de cobre com seção de 10 mm² e o condutor de proteção será também de cobre com seção de 16 mm², ambos isolados em PVC/70°C conforme detalhes nas pranchas do projeto.

2.5 QUADROS E PROTEÇÕES ELÉTRICAS

A distribuição interna de energia, a partir do CD, é feita através de circuitos. Cada um destes circuitos possuirá uma proteção individual através de disjuntor único e dispositivo DR (caso necessário). Essas proteções estarão instaladas no quadro, que conterà também um disjuntor

geral. O número de circuitos, suas cargas, disjuntores e DR's, bem como a seção dos condutores a serem utilizados, estão indicados no quadro de cargas.

3. ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS

Apresentam-se a seguir as principais observações referentes aos materiais que deverão ser utilizados nas instalações mencionadas e serviços correspondentes.

3.1 TOMADAS

2P+T, 20A/250V para o ponto da máquina de lavar louças (identificado em planta) e 2P+T, 10A/250V para as demais, NBR14.136, espelho de cor branca.

3.2 INTERRUPTORES

Os interruptores a serem instalados serão do tipo simples ou duplo com teclas de acionamento modular de forma a permitirem acoplamentos conforme desejado.

3.3 QUADROS ELÉTRICOS

Fabricado em chapa de aço, espessura mínima da porta 1,5 mm (16 USG) e do corpo 1,9 mm (14 USG), pintura com tinta antiferruginosa na cor cinza.

Deverão possuir porta com trinco e sobretampa vazada para passagem das alavancas dos disjuntores. Os circuitos deverão ser todos identificados conforme item 4 constante nesse Memorial.

Deverá haver espaço para conter, além do número de disjuntores/DR's especificados, também, uma reserva técnica mínima de 30%. Deverão possuir barramento em cobre eletrolítico chato para as fases, neutro e de proteção, independentes.

A fixação dos barramentos deverá ser feita através de isoladores de epóxi para 10kA, sendo que o neutro deverá ter isolador e o de proteção deverá ser fixado diretamente na carcaça dos quadros.

3.4 CAIXAS DE PASSAGEM

Serão em ferro, em chapa tratada contra corrosão, estampadas, com pintura conforme especificado no projeto arquitetônico, dimensões internas mínimas 100 x 100 mm.

Quando instaladas no solo, deverão ser em alvenaria, com dimensões internas mínimas de 0,50 x 0,50 x 0,70 m.

3.5 ELETRODUTOS

Deverão ser do tipo rígido, fabricados em PVC, de classe B (espessura mínima de parede de 2,3mm). As luvas e curvas deverão ser do mesmo material do eletroduto correspondente.

3.6 CONDUTORES

Deverão ser em cobre eletrolítico, pureza mínima 99,9 %.

A isolação deverá ser constituída de composto termoplástico de PVC, com características para não-propagação e auto-extinção do fogo, tipo BWF.

As tensões de isolamento deverão ser 0,6kV/1kV para instalações em eletroduto enterrado no solo e 450V/750V, nos demais casos. Temperaturas máximas admissíveis nos condutores:

- em serviço contínuo - isolação PVC 70°C
- em sobrecarga - isolação PVC 100°C
- em curto-circuito - isolação PVC 160°C

Código de cores a observar (no caso dos circuitos terminais):

- fase: vermelho.
- neutro: azul-claro.
- retorno: preto.
- terra: verde.

3.7 DISJUNTORES

Deverão ser em caixa moldada, tipo termomagnéticos, contendo dois sistemas de proteção independentes:

- contra sobrecarga, por elemento de disparo térmico;
- contra curto-circuito, por elemento de disparo eletromagnético.

Deverão ser tropicalizados e próprios para utilização a uma temperatura máxima de 45 °C.

Deverão ter uma vida média de, pelo menos, 20 mil manobras mecânicas e/ou elétricas com corrente nominal. Deverão atender à norma NBR-5361. O disparo, em caso de curto-circuito, deverá se dar entre 7 e 10 x In. A fixação deverá ser pela base, por engate rápido sobre trilhos. Os disparadores térmicos deverão ser calibrados para a temperatura de 20 graus C.

No caso de dispositivo DR, o mesmo deverá atuar também como disjuntor, sendo que a sensibilidade diferencial deverá ser de, no máximo, 30 mA.

4. SERVIÇOS – RECOMENDAÇÕES PARA EXECUÇÃO

Deverão ser obedecidas rigorosamente as maneiras de instalação recomendadas pelos fabricantes dos materiais. Particularmente deverá ser observado o seguinte: Quanto à Instalação de Caixas e Eletrodutos:

- As tubulações deverão ser fixadas rigidamente, sempre de maneira a não interferir na estética ou funcionalidade do local.

- A conexão dos eletrodutos com as caixas deverá ser feita com buchas e arruelas, com acabamento absolutamente sem saliências ou rebarbas.
- A mudança de alinhamento dos dutos deverá ser feita preferencialmente com caixas; será admitida, entretanto, a utilização de curvas, desde que, no máximo, duas no mesmo plano e não reversas, em cada trecho entre caixas.
- Deverá ser observada rigorosamente a continuidade do sistema de tubulação e caixas.
- A montagem do CD deverá ser feita de maneira organizada, com os condutores unidos através de braçadeiras plásticas.
- O CD deverá ser identificado com etiquetas em acrílico preto com letras brancas gravadas por trás da placa, em baixo relevo.
- Os circuitos deverão ser todos identificados através de etiquetas, de modo a se ter uma indicação inequívoca da localização das cargas vinculadas.

Quanto aos Condutores Elétricos:

- Deverão apresentar, após a enfição, perfeita integridade da isolação;
- Para facilitar a enfição, poderá ser utilizado parafina ou talco industrial apropriado.
- Não serão admitidas emendas desnecessárias, bem como fora das caixas de passagem.
- As emendas necessárias deverão ser soldadas e isoladas com fita auto-fusão de boa qualidade sendo que as pontas deverão ser estanhadas.
- A conexão dos condutores com barramentos e disjuntores deverá ser feita com terminais pré-isolados, tipo garfo, olhal ou pino, soldados.

Quanto ao Acabamento:

- O interior das caixas deve ser deixado perfeitamente limpo, sem restos de barramentos, parafusos ou qualquer outro material.
- O padrão geral de qualidade da obra deve ser irrepreensível, devendo ser seguidas, além do aqui exposto, as recomendações das normas técnicas pertinentes, especialmente a Norma NBR-5410.

Testes finais:

A totalidade da instalação elétrica deverá ser verificada conforme prescreve o capítulo 7 da norma NBR5410. Deverá ser inspecionada visualmente e ensaiada, durante e/ou quando concluída a instalação, antes de ser posta em serviço, de forma a se verificar a conformidade com as prescrições da Norma.

No lado interno da porta do CD deve ser fixada a placa de advertência abaixo, para evitar possíveis usos inadequados da instalação.

ADVERTÊNCIA

1 - Quando um disjuntor ou fusível atua, desligando algum circuito ou a instalação inteira, a causa pode ser uma sobrecarga ou um curto-circuito. Desligamentos freqüentes são sinal de sobrecarga. Por isso, NUNCA troque seus disjuntores ou fusíveis por outros de maior corrente (maior amperagem). Como regra, a troca de um disjuntor ou fusível por outro de maior corrente requer, antes, a troca dos fios e cabos elétricos, por outros de maior seção (bitola).

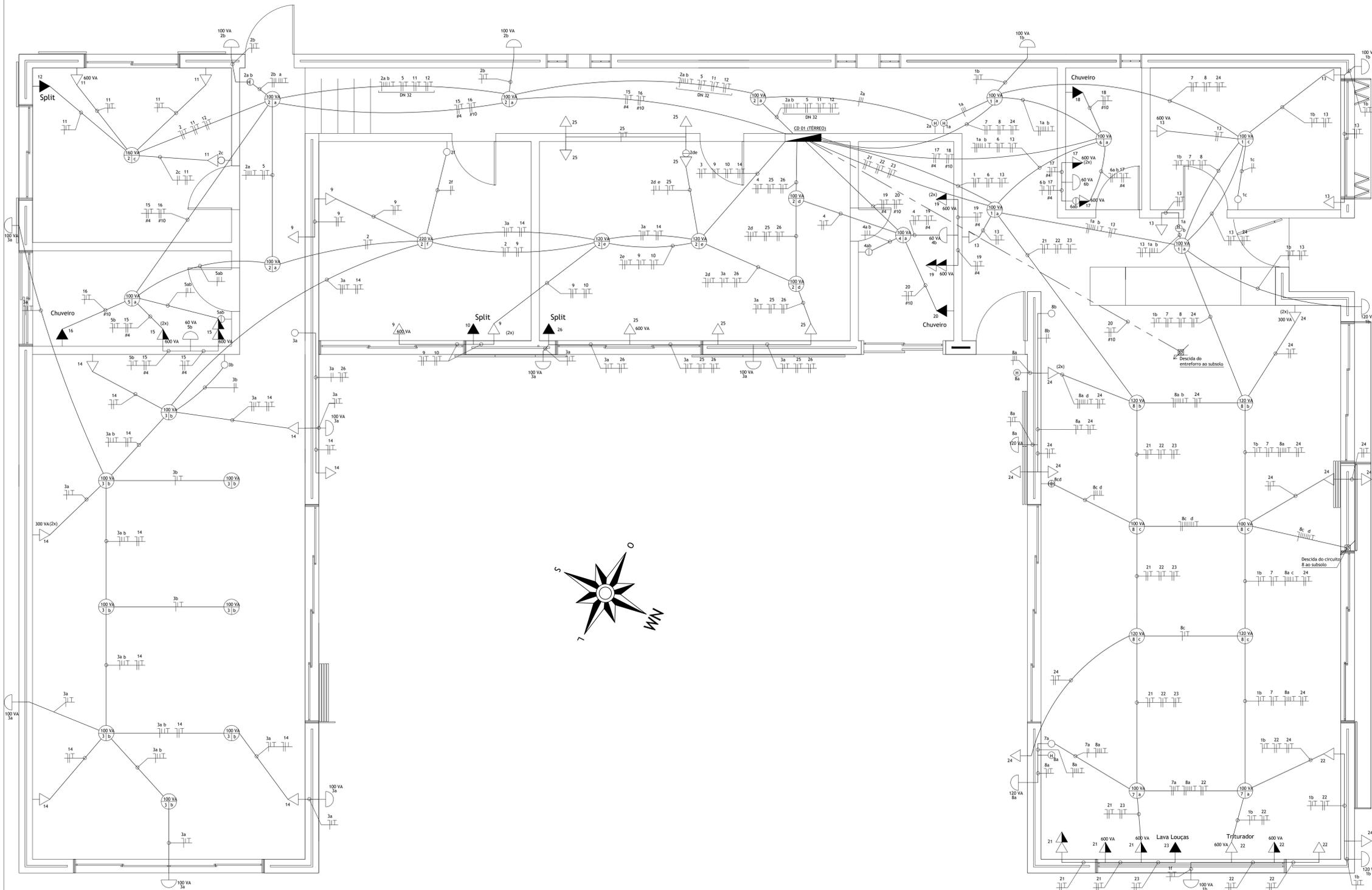
2 - Da mesma forma, NUNCA desative ou remova a chave automática de proteção contra choques elétricos (dispositivo DR), mesmo em caso de desligamentos sem causa aparente. Se os desligamentos forem freqüentes e, principalmente, se as tentativas de religar a chave não tiverem êxito, isso significa, muito provavelmente, que a instalação elétrica apresenta anomalias internas, que só podem ser identificadas e corrigidas por profissionais qualificados. A DESATIVAÇÃO OU REMOÇÃO DA CHAVE SIGNIFICA A ELIMINAÇÃO DE MEDIDA PROTETORA CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS E RISCO DE VIDA PARA OS USUÁRIOS DA INSTALAÇÃO.

ANEXO B - QUANTIFICAÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE MATERIAIS

ORÇAMENTO DO PROJETO ELÉTRICO						
Item	Código Sinapi	Descrição	Unid.	Preço Unitário	Qtd.	Preço Total
1		TOMADAS				
1.1	7528	TOMADA 2P+T 10A, 250V, CONJUNTO MONTADO PARA EMBUTIR 4" X 2" (PLACA + SUPORTE + MODULO)	UN	R\$ 8,25	81	R\$ 668,25
1.2	38075	TOMADA 2P+T 20A 250V, CONJUNTO MONTADO PARA EMBUTIR 4" X 2" (PLACA + SUPORTE + MODULO)	UN	R\$ 14,29	1	R\$ 14,29
2		INTERRUPTORES				
2.1	38062	INTERRUPTOR SIMPLES 10A, 250V, CONJUNTO MONTADO PARA EMBUTIR 4" X 2" (PLACA + SUPORTE + MODULO)	UN	R\$ 6,33	13	R\$ 82,29
2.2	38070	INTERRUPTORES PARALELOS (2 MODULOS) 10A, 250V, CONJUNTO MONTADO PARA EMBUTIR 4" X 2" (PLACA + SUPORTE + MODULOS)	UN	R\$ 15,01	10	R\$ 150,10
3		QUADROS ELÉTRICOS				
3.1	13393	QUADRO DE DISTRIBUICAO COM BARRAMENTO TRIFASICO, DE EMBUTIR, EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO, PARA 12 DISJUNTORES DIN, 100 A	UN	R\$ 241,50	2	R\$ 483,00
3.2	13397	QUADRO DE DISTRIBUICAO COM BARRAMENTO TRIFASICO, DE EMBUTIR, EM CHAPA DE ACO GALVANIZADO, PARA 30 DISJUNTORES DIN, 100 A	UN	R\$ 626,41	1	R\$ 626,41
4		CAIXAS DE PASSAGEM				
4.1	10569	CAIXA DE PASSAGEM OCTOGONAL 4 X4, EM ACO ESMALTADA, COM FUNDO MOVEL SIMPLES	UN	R\$ 2,89	50	R\$ 144,50
4.2	2556	CAIXA DE LUZ "4 X 2" EM ACO ESMALTADA	UN	R\$ 1,38	109	R\$ 150,42
5		ELETRODUTOS				
5.1	2674	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSCAVEL DE 3/4 ", SEM LUVA	M	R\$ 2,80	450	R\$ 1.260,00
5.2	2684	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSCAVEL DE 1 1/4 ", SEM LUVA	M	R\$ 5,83	7	R\$ 40,81
5.3	2682	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSCAVEL DE 2 1/2 ", SEM LUVA	M	R\$ 15,27	4	R\$ 61,08
5.4	2685	ELETRODUTO DE PVC RIGIDO ROSCAVEL DE 1 ", SEM LUVA	M	R\$ 4,37	12	R\$ 52,44
5.5	1902	LUVA EM PVC RIGIDO ROSCAVEL, DE 1 1/4", PARA ELETRODUTO	UN	R\$ 1,54	3	R\$ 4,62
5.6	1892	LUVA EM PVC RIGIDO ROSCAVEL, DE 1", PARA ELETRODUTO	UN	R\$ 0,99	3	R\$ 2,97
5.7	1907	LUVA EM PVC RIGIDO ROSCAVEL, DE 2 1/2", PARA ELETRODUTO	UN	R\$ 6,82	2	R\$ 13,64
5.8	1891	LUVA EM PVC RIGIDO ROSCAVEL, DE 3/4", PARA ELETRODUTO	UN	R\$ 0,71	90	R\$ 63,90
6		CONDUTORES				
6.1	938	FIO DE COBRE, SOLIDO, CLASSE 1, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, 450/750V, SECAO NOMINAL 1,5 MM2	M	R\$ 0,82	450	R\$ 369,00
6.2	937	FIO DE COBRE, SOLIDO, CLASSE 1, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, 450/750V, SECAO NOMINAL 10 MM2	M	R\$ 5,12	150	R\$ 768,00
6.3	944	FIO DE COBRE, SOLIDO, CLASSE 1, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, 450/750V, SECAO NOMINAL 4 MM2	M	R\$ 2,26	150	R\$ 339,00
6.4	939	FIO DE COBRE, SOLIDO, CLASSE 1, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, 450/750V, SECAO NOMINAL 2,5 MM2	M	R\$ 1,32	1400	R\$ 1.848,00
6.5	995	CABO DE COBRE, FLEXIVEL, CLASSE 4 OU 5, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, COBERTURA PVC-ST1, ANTICHAMA BWF-B, 1 CONDUTOR, 0,6/1 KV, SECAO NOMINAL 16 MM2	M	R\$ 9,21	10	R\$ 92,10
6.6	996	CABO DE COBRE, FLEXIVEL, CLASSE 4 OU 5, ISOLACAO EM PVC/A, ANTICHAMA BWF-B, COBERTURA PVC-ST1, ANTICHAMA BWF-B, 1 CONDUTOR, 0,6/1 KV, SECAO NOMINAL 25 MM2	M	R\$ 14,02	50	R\$ 701,00
7		DISJUNTORES				
7.1	34653	DISJUNTOR TIPO DIN/IEC, MONOPOLAR DE 6 ATE 32A	UN	R\$ 6,44	30	R\$ 193,20
7.2	34686	DISJUNTOR TIPO DIN / IEC, MONOPOLAR DE 40 ATE 50A	UN	R\$ 9,56	4	R\$ 38,24
7.3	34709	DISJUNTOR TIPO DIN/IEC, TRIPOLAR DE 10 ATE 50A	UN	R\$ 45,28	3	R\$ 135,84
7.4	*	DISJUNTOR DIN TRIPOLAR 70A	UN	R\$ 99,00	2	R\$ 198,00
7.5	39456	DISPOSITIVO DR, 4 POLOS, SENSIBILIDADE DE 30 MA, CORRENTE DE 40 A, TIPO AC	UN	R\$ 113,18	2	R\$ 226,36
7.6	39471	DISPOSITIVO DPS CLASSE II, 1 POLO, TENSAO MAXIMA DE 275 V, CORRENTE MAXIMA DE *45* KA (TIPO AC)	UN	R\$ 74,22	4	R\$ 296,88
VALOR TOTAL						R\$ 9.024,34

ANEXO C – PRANCHA REFERENTE AO PAVIMENTO TÉRREO

PONTOS DE ILUMINAÇÃO, TOMADA E CIRCUITOS – TÉRREO:



LEGENDA:

	- Caixa de Medição
	- Quadro Geral de Distribuição (QGD)
	- Ponto de luz na parede (Arandela)
	- Ponto de luz no teto
	- Interruptor hotel
	- Interruptor Hotel Duplo
	- Interruptor duplo
	- Interruptor Simples
	- Tomada baixa h=30cm
	- Tomada média h=110cm
	- Tomada alta h=220cm
	- Indicação descida/subida eletroduto em CP
	- Eletroduto no entreforro
	- Eletroduto no teto
	- Eletroduto no piso
	- Neutro, Fase, Retorno, Terra

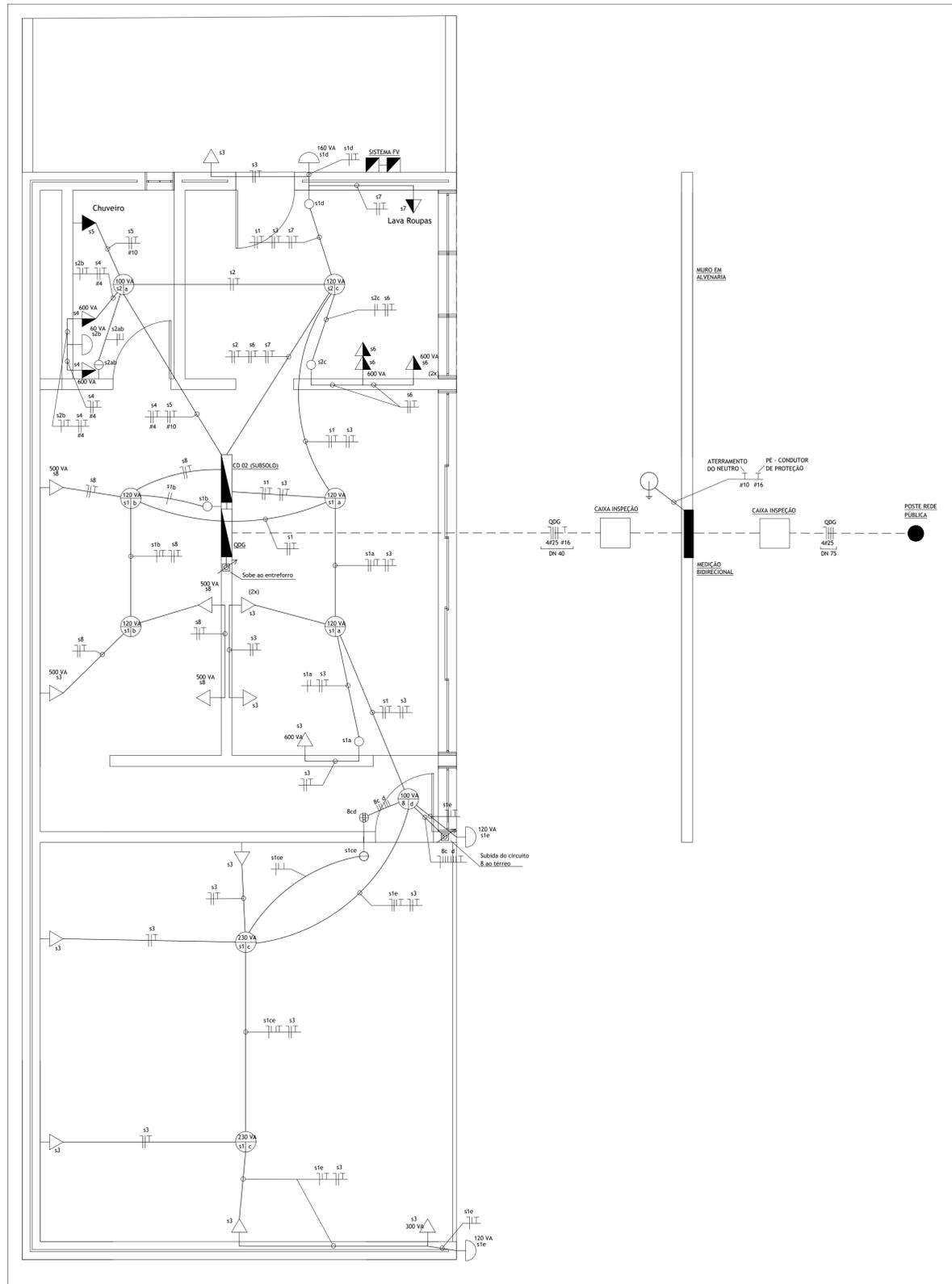
OBSERVAÇÕES:

- Pontos de tomada não cotados possuem potência de 100VA;
- A tubulação e os condutores deverão obedecer especificações conforme constam nos Quadros de Cargas;
- Tubulação não cotada no desenho: ELETRODUTO PVC RÍGIDO DN25mm
- Condutores não cotados possuem seção de 2,5mm²

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA	
ASSUNTO DA PLANTA: ANEXO C – PRANCHA REFERENTE AO PAVIMENTO TÉRREO	
ALUNO: PEDRO SALGADO PLENTZ	
DATA: JUL/2019	ESCALA: 1/40

**ANEXO D – PRANCHA REFERENTE AO PAVIMENTO SUBSOLO E À
ENTRADA DE SERVIÇO**

PONTOS DE ILUMINAÇÃO, TOMADA E CIRCUITOS – SUBSOLO (ESCALA 1/40)



ENTRADA DE SERVIÇO (SEM ESCALA)

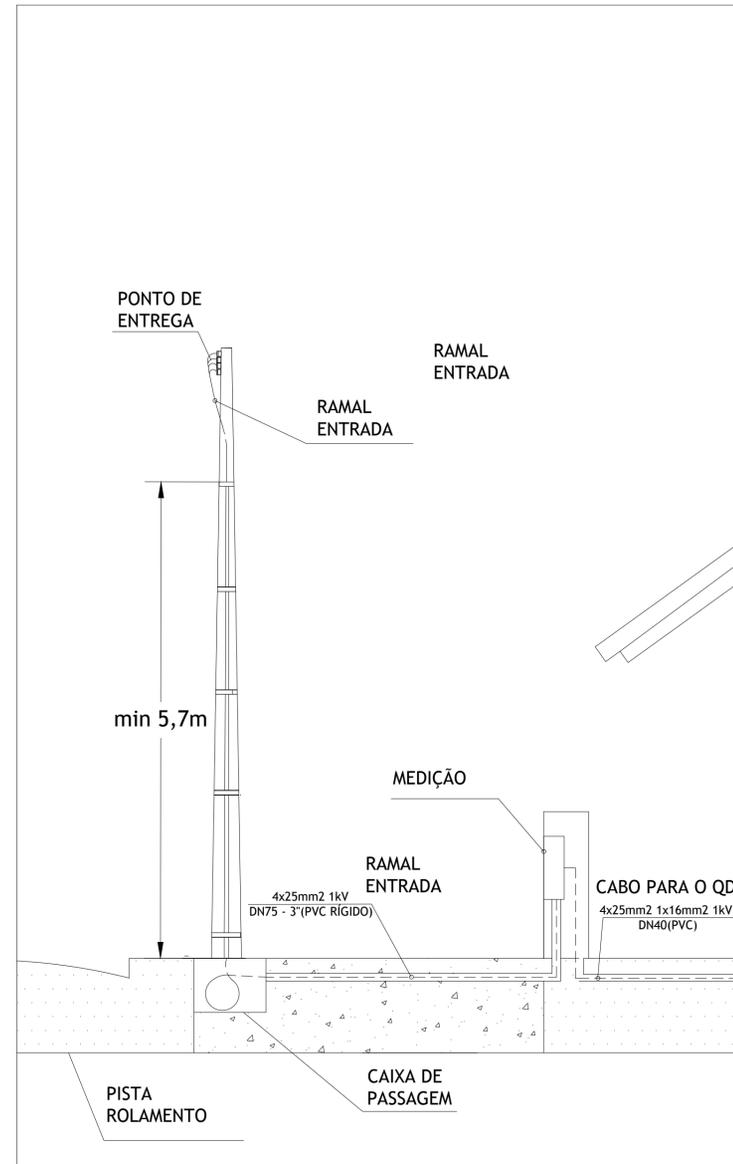
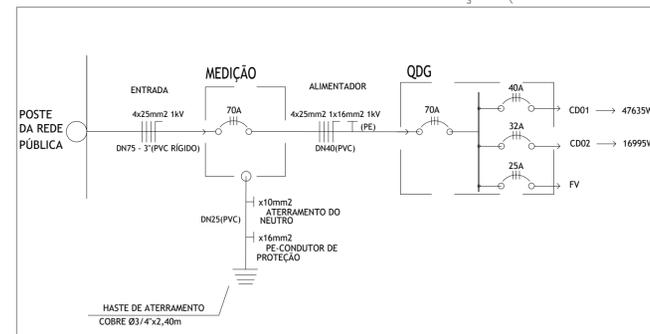


DIAGRAMA UNIFILAR ENTRADA DE SERVIÇO (SEM ESCALA):



LEGENDA:

	- Caixa de Medição
	- Quadro Geral de Distribuição (QGD)
	- Ponto de luz na parede (Arandela)
	- Ponto de luz no teto
	- Interruptor hotel
	- Interruptor Hotel Duplo
	- Interruptor duplo
	- Interruptor Simples
	- Tomada baixa h=30cm
	- Tomada média h=110cm
	- Tomada alta h=220cm
	- Indicação descida/subida eletroduto em CP
	- Eletroduto no entreferro
	- Eletroduto no teto
	- Eletroduto no piso
	- Neutro, Fase, Retorno, Terra

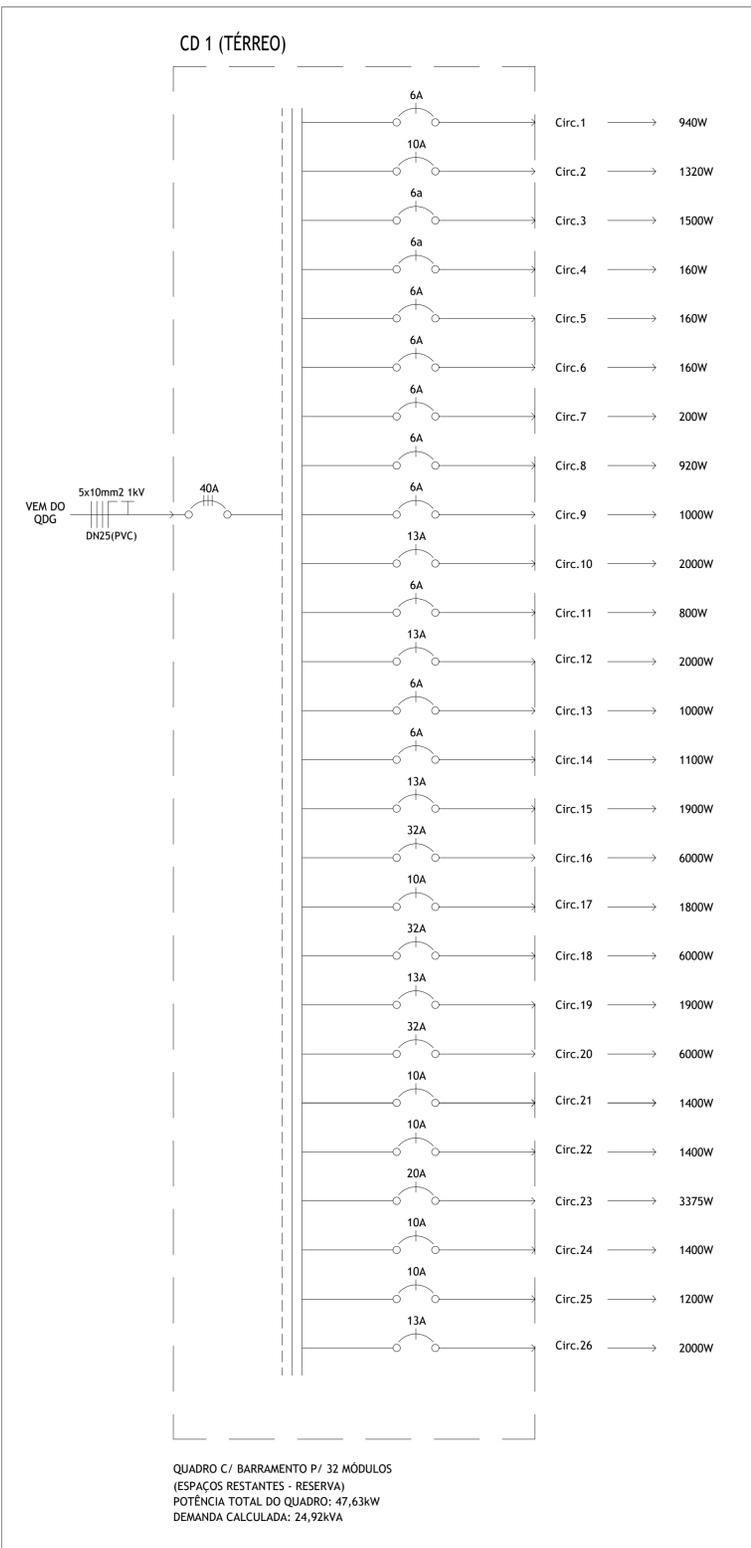
OBSERVAÇÕES:

- Pontos de tomada não cotados possuem potência de 100VA;
- A tubulação e os condutores deverão obedecer especificações conforme constam nos Quadros de Cargas;
- Tubulação não cotada no desenho: ELETRODUTO PVC RÍGIDO DN25mm
- Condutores não cotados possuem seção de 2,5mm²

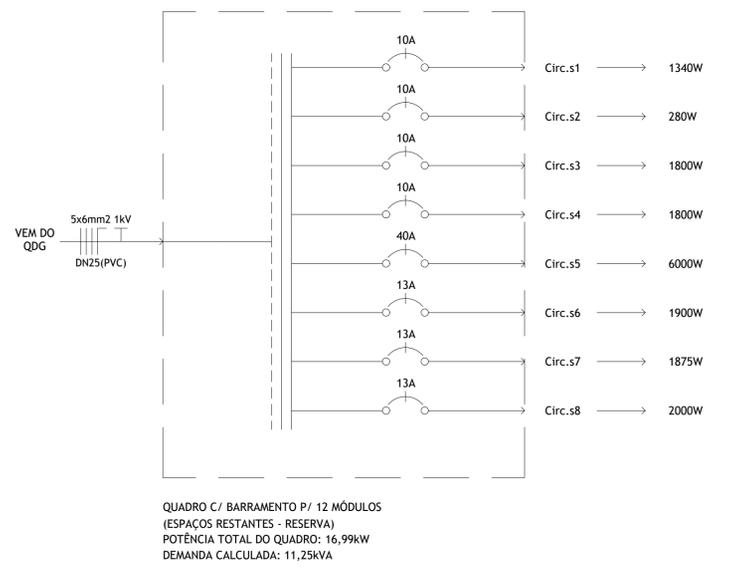
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA	
ASSUNTO DA PLANTA: ANEXO D – PLANTA REFERENTE AO PAVIMENTO SUBSOLO E À ENTRADA DE SERVIÇO	
ALUNO: PEDRO SALGADO PLENTZ	
DATA: JUL/2019	ESCALA: INDICADA

ANEXO E – DIAGRAMAS UNIFILARES E MULTIFILARES

DIAGRAMAS UNIFILARES (SEM ESCALA)

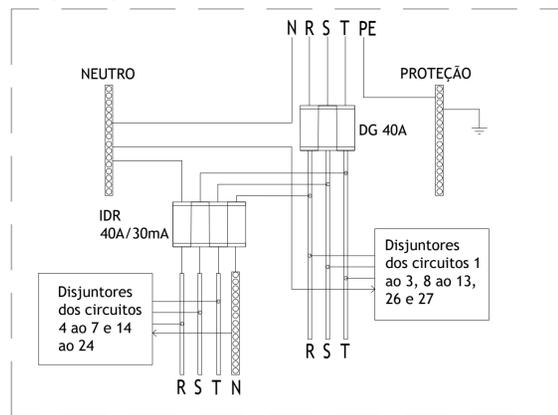


CD 2 (SUBSOLO)

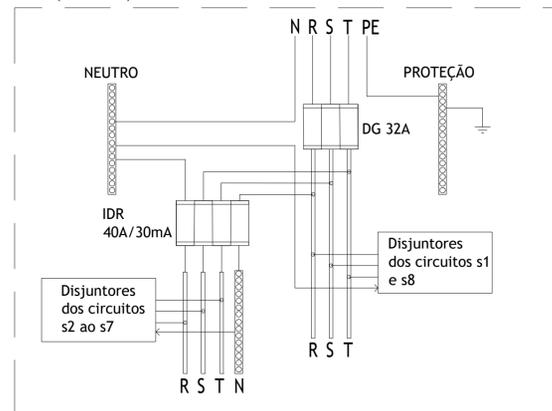


DIAGRAMAS MULTIFILARES (SEM ESCALA)

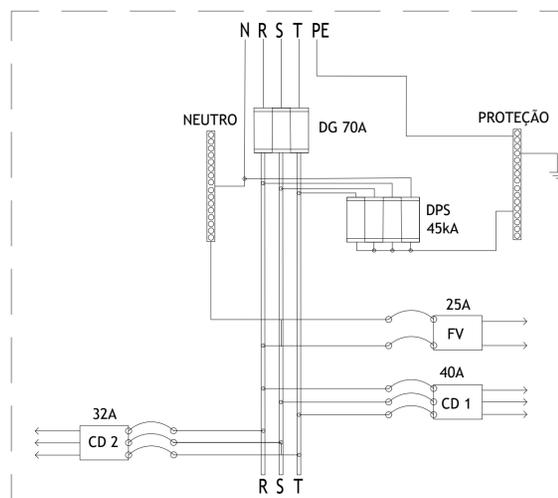
CD 1 (TÉRREO)



CD 2 (SUBSOLO)



QDG



QUADRO C/ BARRAMENTO TRIFÁSICO/ 12 MÓDULOS
(ESPAÇOS RESTANTES - RESERVA)
POTÊNCIA TOTAL DO QUADRO: 64,63kW
DEMANDA CALCULADA: 33,07kVA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA	
ASSUNTO DA PLANTA: ANEXO E - DIAGRAMAS UNIFILARES E MULTIFILARES DO CD 1, CD 2 e QDG	
ALUNO: PEDRO SALGADO PLENTZ	
DATA: JUL/2019	SEM ESCALA

ANEXO F – ARRANJO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

LOCALIZAÇÃO DOS PAINÉIS (SEM ESCALA):

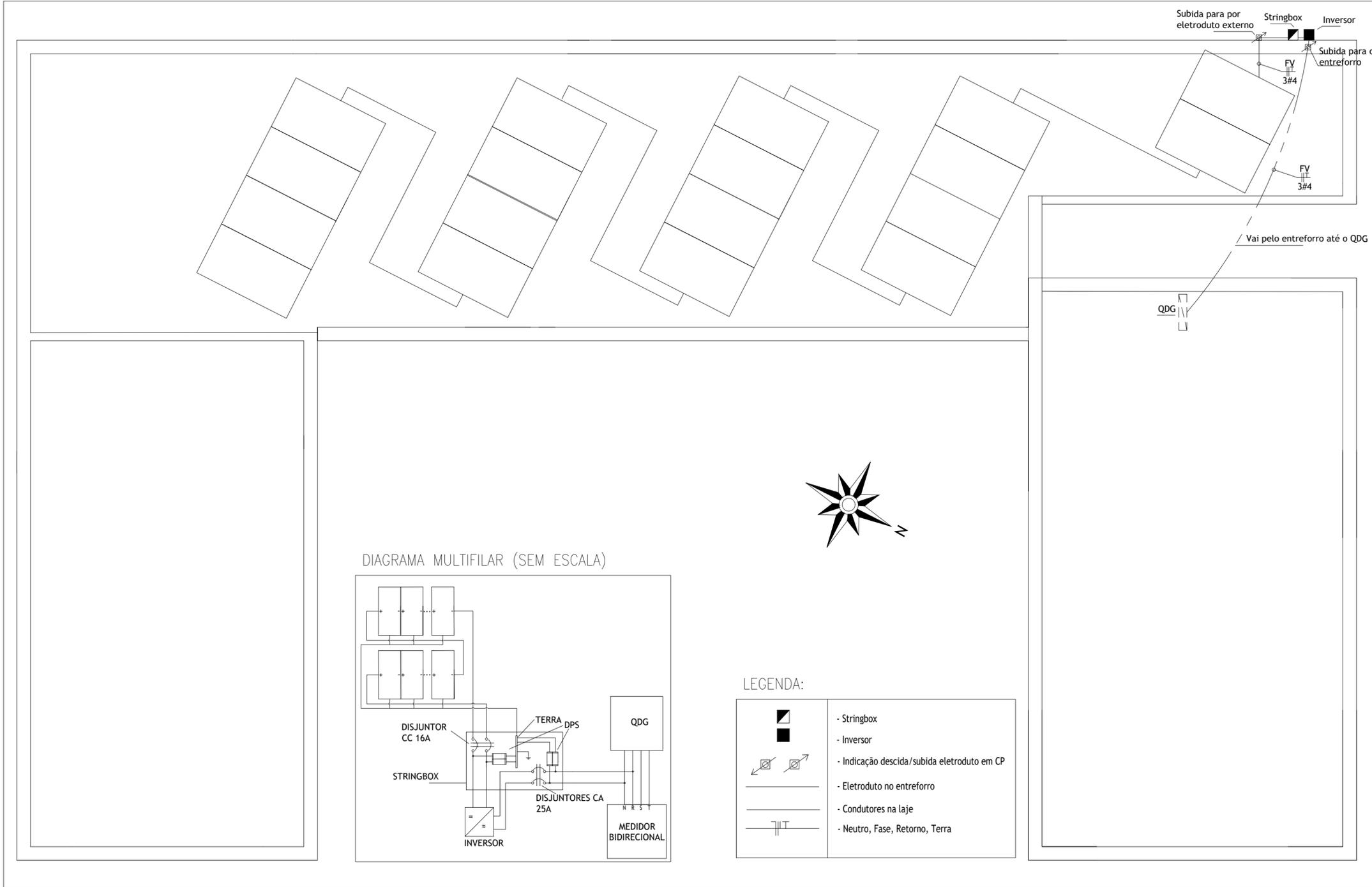
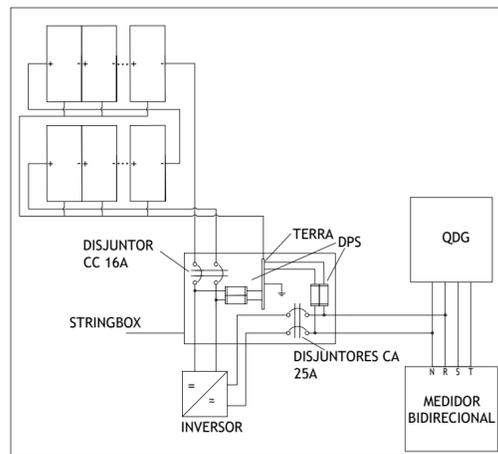


DIAGRAMA MULTIFILAR (SEM ESCALA)



LEGENDA:

	- Stringbox
	- Inversor
	- Indicação descida/subida eletroduto em CP
	- Eletroduto no entreferro
	- Condutores na laje
	- Neutro, Fase, Retorno, Terra

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL	
TRABALHO: PROJETO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAL ALIADO A IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA	
ASSUNTO DA PLANTA: ANEXO F – ARRANJO DOS PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E DIAGRAMA MULTIFILAR	
ALUNO: PEDRO SALGADO PLENTZ	
DATA: JUL/2019	SEM ESCALA

ANEXO G – FICHA TÉCNICA DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

YGE 72 CELL SERIES 2

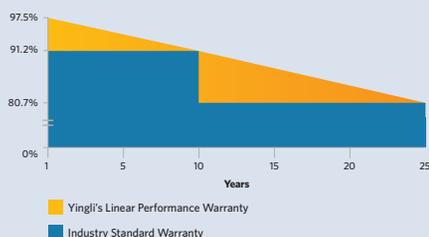


19.6%
CELL EFFICIENCY

10 YEAR
PRODUCT WARRANTY

0 - 5W
POWER TOLERANCE

25 Years Linear Warranty



IMPROVED POWER NEVER SETTLE FOR LESS

Independently tested for proven product quality and long-term reliability. Millions of PV systems installed worldwide demonstrate Yingli's industry leadership.



Higher Durability

The multi-busbar design can decrease the risk of the cell micro-cracks and fingers broken.



High Power Density

High conversion efficiency and more power output per square meter, by lower series resistance and improved light harvesting.



PID Resistant

Tested in accordance to the standard IEC 62804, our PV modules have demonstrated resistance against PID (Potential Induced Degradation), which translates to security for your investment.



Advanced Glass

Our high-transmission glass features a unique anti-reflective coating that directs more light on the solar cells, resulting in a higher energy yield.

Yingli Green Energy

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE), known as "Yingli Solar," is one of the world's leading solar panel manufacturers with the mission to provide affordable green energy for all. Yingli Solar makes solar power possible for communities everywhere by using our global manufacturing and logistics expertise to address unique local challenges.

YGE 72 CELL SERIES 2

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type	YLXXXP-35b (XXX=Pmax) YLXXXP-35b 1500V (XXX=Pmax)							
Power output	P_{max}	W	345	340	335	330	325	320
Power output tolerances	P_{max}	W	0/+5					
Module efficiency	η_m	%	17.7	17.5	17.2	17.0	16.7	16.5
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	38.5	38.1	37.7	37.3	36.9	36.5
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	8.97	8.93	8.89	8.85	8.82	8.78
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	46.1	45.9	45.7	45.6	45.4	45.2
Short-circuit current	I_{sc}	A	9.45	9.41	9.37	9.33	9.29	9.25

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3.3% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module type	YLXXXP-35b (XXX=Pmax) YLXXXP-35b 1500V (XXX=Pmax)							
Power output	P_{max}	W	254.5	250.8	247.1	243.4	239.7	236.0
Voltage at P_{max}	V_{mpp}	V	35.5	35.1	34.7	34.4	34.0	33.6
Current at P_{max}	I_{mpp}	A	7.18	7.14	7.11	7.08	7.06	7.02
Open-circuit voltage	V_{oc}	V	42.9	42.7	42.5	42.4	42.2	42.1
Short-circuit current	I_{sc}	A	7.64	7.60	7.57	7.54	7.51	7.47

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	45 +/- 2
Temperature coefficient of P_{max}	γ	%/°C	-0.39
Temperature coefficient of V_{oc}	β_{Voc}	%/°C	-0.30
Temperature coefficient of I_{sc}	α_{Isc}	%/°C	0.05

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC} /1500V _{DC}
Max. series fuse rating *	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

*DO NOT CONNECT FUSE IN COMBINER BOX WITH TWO OR MORE STRINGS IN PARALLEL CONNECTION

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / number of busbars)	72 / multicrystalline silicon / 12 or 5
Frame (material)	anodized aluminum alloy
Junction box (protection degree)	≥ IP67
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²

* Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.

* The data do not refer to a single module and they are not part of the offer, they only serve for comparison to different module types.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000:2015



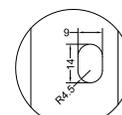
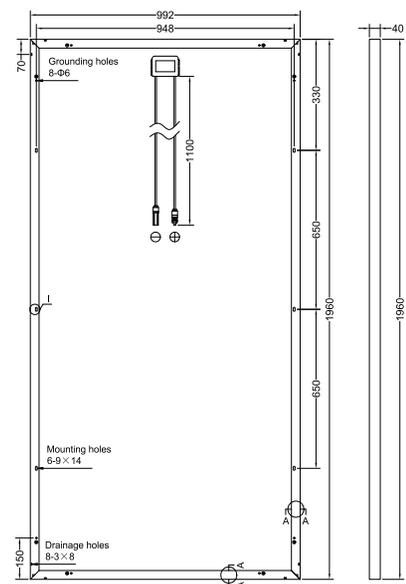
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1960mm / 992mm / 40mm
Weight	22kg

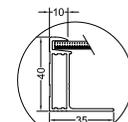
PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	24
Packaging box dimensions (L / W / H)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Box weight	616kg

Unit: mm



DETAIL I



SECTION A-A



Warning: Read the Installation and User Manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Yingli Partners:

Yingli Green Energy Holding Co., Ltd.

service@yingli.com

Tel: +86-312-2188055

YINGLISOLAR.COM



ANEXO H – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR

FRONIUS PRIMO

/ O inversor comunicativo para gerenciamento de energia otimizada



DADOS TÉCNICOS FRONIUS PRIMO

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A	
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A	
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V	
Tensão de alimentação inicial (U _{dc start})	80 V	
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V	
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V	
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	200 - 800 V	210 - 800 V
Numero de rastreadores MPP	2	
Número de entradas DC	2 + 2	
Certificado INMETRO	Concessão: 002132/2016	Concessão: 002130/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150	

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 4.0-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	3,000 W	4,000 W
Max.potência de saída	3,000 VA	4,000 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	13.0 A	17.4 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)	
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)	
Distorção harmônica total	< 5 %	
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.	

DADOS DE ENTRADA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Max. corrente de entrada (Idc max1 / Idc max2)	12.0 A / 12.0 A		
Max. conjunto corrente curto-circuito (MPP1 / MPP2)	18.0 A / 18.0 A		
Min. tensão de entrada (Udc min)	80 V		
Tensão de alimentação inicial (U _{dc start})	80 V		
Tensão nominal de entrada (Udc,r)	710 V		
Max. tensão de entrada (Udc max)	1,000 V		
Faixa de tensão MPP (Umpp min - Umpp max)	240 - 800 V	270 - 800 V	
Numero de rastreadores MPP	2		
Número de entradas DC	2 + 2		
Certificado INMETRO	Concessão: 002133/2016	Concessão: 002131/2016	Concessão: 002134/2016
Certificados	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105, ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150		

DADOS DE SAÍDA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Tensão nominal de saída (Pac,r)	5,000 W	6,000 W	8,200 W
Max.potência de saída	5,000 VA	6,000 VA	8,200 VA
Max. corrente de saída (Iac max)	21.7 A	26.1 A	35.7 A
Conexão a rede (faixa de tensão)	1 - NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequência	50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Distorção harmônica total	< 5 %		
Fator de potência (cos φac,r)	0.85 - 1 ind. / cap.		