

**GABRIEL AVELLAR SILVA**

**VIABILIDADE DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS  
EM CORRENTE CONTÍNUA**

Guaratinguetá

2016

**GABRIEL AVELLAR SILVA**

**VIABILIDADE DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS  
EM CORRENTE CONTÍNUA**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami

Guaratinguetá

2016

S586v	Silva, Gabriel Avellar Viabilidade de instalações elétricas residencias e comerciais em corrente contínua / Gabriel Avellar Silva – Guaratinguetá, 2016. 75 f : il. Bibliografia: f. 67-72
	Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. José Feliciano Adami
	1. Energia - Fontes alternativas 2. Energia elétrica - Transmissão - Corrente continua 3. Redes inteligentes de energia I. Título
	CDU 620.91

VIABILIDADE DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS RESIDENCIAIS E  
COMERCIAIS EM CORRENTE CONTÍNUA

GABRIEL AVELLAR SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

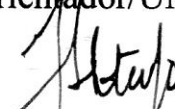
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO  
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

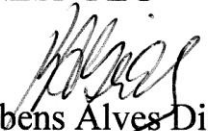
Prof. Dr. Leonardo Mesquita  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. José Feliciano Adami  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. Francisco Antonio Lotufo  
UNESP-FEG

  
Prof. Rubens Alves Dias  
UNESP-FEG

Dezembro de 2016

## **DADOS CURRICULARES**

### **GABRIEL AVELLAR SILVA**

NASCIMENTO	17.04.1993 – Taubaté / SP
FILIAÇÃO	Márcio Antônio de Carvalho Silva Aparecida Luciane de Avellar Silva
2011 / 2016	Curso de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho de conclusão de curso especialmente ao meu pai Márcio e à minha mãe Luciane que sempre me apoiaram na minhas decisões e momentos de dificuldade.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a oportunidade de ter estudado na UNESP-Guaratinguetá a qual me ajudou no desenvolvimento profissional e pessoal.

aos meus pais, Márcio e Luciane, e meu irmão, Vinícius, que sempre me apoiaram em momentos difíceis e sempre estiveram presente na minha trajetória.

à minha namorada, Vanessa, por sempre me incentivar e por toda paciência durante o período do TCC.

ao meu orientador Prof. José Feliciano Adami, pela atenção dada e oportunidade do desenvolvimento deste trabalho.

à república Apocalipse por ser minha segunda família e por todo apoio e bons momentos vividos nesse período de faculdade.

SILVA, G. A. **Viabilidade de instalações elétricas residenciais e comerciais em corrente contínua**. 2016. 75 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

## **RESUMO**

A busca por sistemas elétricos mais eficientes, confiáveis e seguros é constante. Atualmente, há uma grande quantidade de equipamentos eletroeletrônicos como computadores, lâmpadas LED, carregadores de baterias entre outros que utilizam corrente contínua (CC). Esses equipamentos possuem retificadores para transformar a corrente alternada (CA) para CC das instalações elétrica residencial e comercial. Há também o crescente uso de painéis fotovoltaicos como alternativa energética sustentável, os quais geram energia em CC. Estes necessitam inversores para serem usados pela rede elétrica e convertidos novamente para as cargas, o processo de conversão gera perdas de energias significativas. Este estudo, através de artigos científicos, tem como função apresentar a viabilidade de uma microrrede residencial e comercial em corrente contínua com intuito de diminuir as perdas de energia em conversões de corrente.

**PALAVRA CHAVE:** Microrrede. Corrente Contínua. Instalação Residencial Off-grid. Eficiência Energética.

SILVA, G. A. **Viability of residential and commercial electrical installations in direct current.** 2016. 75 f. Graduate Work (Graduate in Electrical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

### **ABSTRACT**

The research for more efficient, reliable and safe electrical system is constant. Nowadays, there are a huge amount of electronics equipment such as computers, LED lamps, battery chargers and others which use the direct current (DC). These products have rectifiers to transform the alternating current (AC) present at residential and commercial buildings to DC. The also increasing area of renewable energies of solar panels produces direct current. These need inverters DC-AC to be used by the grid and then again rectified to the loads. This conversion process loses significant energy. This study, through article reviews, is to introduce the viability of a residential or commercial microgrid in direct current to prevent the losses in conversions of current.

**KEY WORDS:** Microgrid. Direct Current. Off-grid residential installation. Energy Efficiency

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Topologia CA residencial / comercial.....	17
Figura 2.2 – Topologia CC residencial/comercial.....	18
Figura 2.3 – Topologia Unipolar e Bipolar para corrente contínua em 380 VCC .....	19
Figura 2.4 – Topologia Híbrida CA / CC .....	20
Figura 2.5 – Fiação nos cabos CA e CC.....	22
Figura 2.6 - Consumo de energia elétrica na rede e sua projeção (%) .....	23
Figura 2.7 – Demanda final da eletricidade no setor residencial brasileiro .....	24
Figura 3.1 – Instalação 24 VCC na estrutura metálica do telhado .....	26
Figura 3.2 – Aplicação da iluminação LED por 24 V .....	27
Figura 3.3 – Custos anuais dos sistemas de iluminação (esquerda), custos anuais dos sistemas com painéis solares (direita), custos anuais em relação a carga total dos sistemas com bateria (abaixo).....	28
Figura 3.4 – Consumo de eletricidade dos refrigeradores .....	30
Figura 3.5 – Consumo por uso final no setor residencial de Boa Vista, Roraima.....	31
Figura 3.6 – Eficiência energética de ar condicionados CC e CA .....	32
Figura 3.7 – Funcionamento de uma bomba de calor.....	34
Figura 3.8 – Eficiência de fontes de alimentação CA-CC.....	36
Figura 3.9 – Eficiência em relação a potência nominal de conversores e inversores presentes no mercado .....	37
Figura 4.1 – Diferentes topologias de aterramento.....	44
Figura 4.2 – Disjuntores para CC: (a) Disjuntor trifásico (b) Disjuntor com circuito ressonante .....	47
Figura 4.3 – Contato direto a linha energizada.....	48
Figura 4.4 – Tipos de DR, correntes aceitas e corrente de acionamento.....	49
Figura 4.5 – Influência da corrente elétrica no corpo humano .....	50
Figura 5.1 – Ciclo de Vida das baterias Freedom DF .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Consumo de eletricidade na rede entre 2013 e 2014, por classe (GWh) .....	22
Tabela 3.1 – Comparação de refrigeradores CC e CA .....	29
Tabela 3.2 – Eficiências de retificadores, inversores, MPPTs e controladores de carga .....	38
Tabela 3.3 – Eficiência total dos modelos em CA e CC .....	40
Tabela 5.1 – Equipamentos eletroeletrônicos utilizados e o consumo médio mensal.....	51
Tabela 5.2 – Produtos residenciais em suas versões CC mais eficientes .....	52
Tabela 5.3 – Perdas energéticas no sistema CA e sistema CC (380 V / 24 V) com cargas tradicionais.....	53
Tabela 5.4 – Perdas energéticas no sistema CA e sistema CC (380 V / 24 V) com cargas equivalentes em CC .....	53
Tabela 5.5 – Sistema híbrido CA e 24 V em CC com equipamentos tradicionais.....	54
Tabela 5.6 – Equipamentos selecionados para análise com energia solar.....	56
Tabela 5.7 – Consumo mensal e diário do sistema CA e CC.....	57
Tabela 5.8 – Custo dos componentes para instalação solar CC e CA.....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BLDC	<i>Brushless DC Motor</i>
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Continua
CEC	<i>Commission for Environmental Cooperation</i>
COP	Coefficiente de Performance
DR	Dispositivo de Corrente Residencial-Diferecial
EER	<i>Energy Efficiency Rate</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
HSP	Horas de Sol Pleno
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
LED	<i>Light Emiting Diode</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NR	Norma Regulamentadora
PAC	Ponto de Acoplamento Comun
PELV	<i>Protected Extra Low Voltage</i>
PG&E	<i>Pacific Gas and Electric Company</i>
PROCEL	Programa Nacional de Conversação de energia elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
SELV	<i>Separated Extra-Low Voltage</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

VCC	Tensão em corrente contínua
VCA	Tensão em corrente alternada
VCAp	Tensão de pico em corrente alternada
cfm	Pés cúbicos por minuto
$\eta$	Rendimento
I $\Delta$ n	Corrente residual
Wp	Potência de pico
Vm	Tensão máxima
Im	Corrente máxima
P <sub>D</sub>	Profundida de descarga

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	INSERÇÃO HISTÓRICA .....	14
1.2	JUSTIFICATIVA .....	14
<b>2</b>	<b>CONCEITOS GERAIS</b> .....	<b>16</b>
2.1	MICRORREDE .....	16
2.2	TOPOLOGIA.....	16
2.3	CABOS .....	20
2.4	DEMANDA ELÉTRICA NACIONAL.....	22
<b>2.4.1</b>	<b>Demanda final da eletricidade no setor residencial</b> .....	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>SOLUÇÕES E ANÁLISES DE EQUIPAMENTOS EM CC</b> .....	<b>25</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	25
3.2	ILUMINAÇÃO.....	25
3.3	REFRIGERADORES E FREEZERS .....	28
3.4	AR CONDICIONADO E VENTILADORES .....	30
3.5	AQUECEDORES DE ÁGUA .....	33
3.6	OUTROS ELETRODOMÉSTICOS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.....	34
3.7	INVERSORES, RETIFICADORES, MPPTs E CONTROLADORES DE CARGA.....	35
<b>3.7.1</b>	<b>Eficiência</b> .....	<b>35</b>
3.7.1.1	Análise.....	38
<b>3.7.2</b>	<b>Preço</b> .....	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>SEGURANÇA, DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E ATERRAMENTO</b> .....	<b>43</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	43
4.2	ATERRAMENTO .....	43
4.3	ARCO VOLTAÍCO .....	45
4.4	DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO .....	46
<b>4.4.1</b>	<b>Fusíveis</b> .....	<b>46</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Disjuntores</b> .....	<b>46</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Dispositivo de corrente diferencial-residual (DR)</b> .....	<b>47</b>
4.5	SEGURANÇA PESSOAL.....	49
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO RESIDENCIAL</b> .....	<b>51</b>
5.1	INSTALAÇÃO DE SISTEMA CA E CC SEM ENERGIA RENOVÁVEL .....	52
<b>5.1.1</b>	<b>Consumo de energia em sistema híbrido</b> .....	<b>54</b>
5.2	INSTALAÇÃO DE SISTEMA CA E CC COM ENERGIAS RENOVÁVEIS.....	56

<b>5.2.1</b>	<b>Dimensionamento do painel fotovoltaico .....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Dimensionamento do Banco de Baterias.....</b>	<b>58</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Dimensionamento do controlador de carga MPPT, inversor e cabos.....</b>	<b>61</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Análise de custo .....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>73</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 INSERÇÃO HISTÓRICA

Há mais de cem anos ocorria a Batalha das Correntes, Thomas Edison lutava pelo sistema elétrico em corrente contínua (CC) e Westinghouse com ajuda do inventor Nikola Tesla pelo sistema em corrente alternada (CA). Edison alegava que seu sistema em CC era mais seguro, valendo-se de demonstrações aterrorizantes dos riscos da corrente alternada para afastar a concorrência. Porém, a história mostra que o sistema elétrico de Westinghouse prevaleceu, entre os principais motivos o baixo custo de instalação e manutenção. A geração de corrente CA conseguia ser realizada numa grande escala e longe do local de consumo, diferente da CC, sua transmissão em alta tensão permitia cabeadamentos menores e mais baratos. Ao chegar no consumidor, a tensão era reduzida por transformadores, principal equipamento que manteve a corrente alternada como melhor solução devido sua alta eficiência e facilidade de fabricação. As cargas elétricas na época eram lâmpadas incandescentes indiferente ao tipo de corrente e motores elétricos, os em CC com escovas que por esse motivo construtivo tinham grande desgaste perdendo para a invenção de Tesla, o motor de indução trifásico de maior eficiência e confiabilidade, baixo custo de manutenção, sendo utilizado na grande maioria das aplicações que possuem motores (TESLA RESEARCH, 2016).

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o sistema elétrico em CA ocorre de maneira dominante, utilizando-se das mesmas justificativas do século passado. Entretanto, com o avanço da tecnologia, o debate retornou à tona entre engenheiros e pesquisadores em busca do sistema mais eficiente. Um dos principais motivos de mudança são as cargas elétricas, diferentemente do passado, tem-se um maior número de cargas em CC com a descoberta dos semicondutores. Os computadores, celulares, eletrônicos em geral, assim como lâmpadas LEDs são unicamente cargas CC que para sua utilização possuem retificadores CA-CC de baixa eficiência. Outra carga importante são os motores CC sem escovas, conhecidos como *Brushless DC motors* (BLDC), eliminando a baixa confiabilidade dos antigos modelos e de maior eficiência que os motores de indução trifásica. Os inversores de frequência também podem ser em CC para o controle de motores CA, aumentando sua eficiência ao controlar sua velocidade para a demanda necessária (SAVAGE; NORDHAUS; JAMIESON, 2010).

O conceito de geração de energia elétrica também sofreu mudanças após um século. Há a preocupação socioambiental, a busca pela redução de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, o impacto local das grandes construções de usinas e linhas de transmissão e o alto custo para a realização. Os fatores aplicáveis também a usinas consideradas limpas, as hidroelétricas, como o caso da polêmica em torno de Belo Monte. Como solução, tem-se as tecnologias de células a combustível, células fotovoltaicas e as turbinas eólicas para geração de energia. Elas podem ser localizadas mais facilmente perto do consumidor e em menor escala. Essas tecnologias geram energia elétrica em CC que é convertida para nosso atual sistema CA para depois serem utilizadas em cargas CC, com exceção de alguns modelos de turbinas eólicas. Há perda de eficiência em cada processo de conversão. Portanto, este trabalho, tem como função apresentar a topologia de uma microrrede CC residencial ou similar a comercial como de lojas, escritórios e consultórios. Desta forma, a tecnologia atual para cargas CC em comparação a CA e os benefícios da geração de energia renovável combinado a uma distribuição CC de baixa tensão. São considerados aspectos de confiabilidade, sustentabilidade, eficiência e segurança. Fica fora do escopo deste projeto a análise de transmissão e distribuição da energia elétrica em corrente contínua de alta tensão (HVDC).

## 2 CONCEITOS GERAIS

### 2.1 MICRORREDE

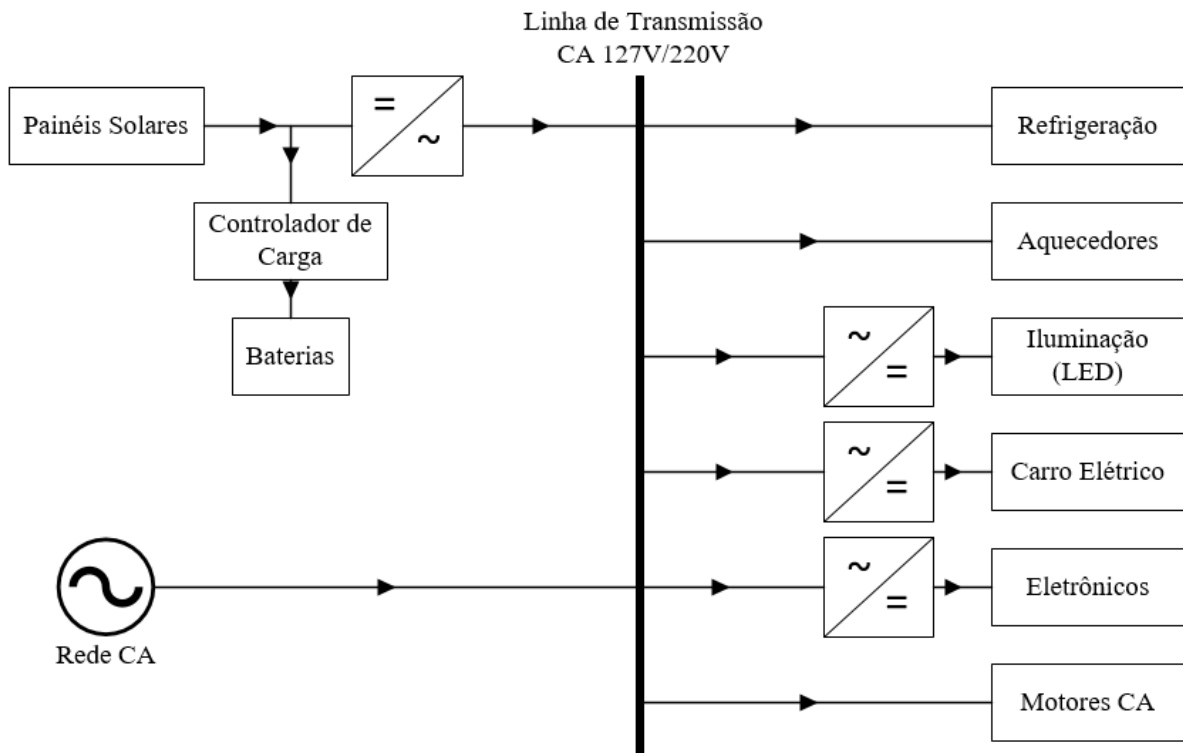
Uma microrrede consiste de fontes geradoras de energia elétrica com capacidade de geração suficiente e continua a cargas bem definidas num local delimitado. Geralmente opera conectada à rede elétrica convencional, mas pode se isolar e operar independentemente por questão de confiabilidade ou fator econômico. As microrredes funcionam de forma controlada e independente. Sua escala pode ser de uma casa, prédio a bairros inteiros, desde que seja considerado as características apresentadas acima, outro fator é a proximidade dos geradores a sua carga encurtando distâncias de transmissão.

O conceito de microrrede independe do tipo de corrente que circula seja CC ou CA. Como irá ser descrito com mais detalhes ao longo deste trabalho, há vários benefícios em se utilizar corrente CC aliada ao conceito de microrrede. As fontes de energia renovável (solar, eólica) são facilmente integradas a rede, sem perdas por conversão e necessidade de sincronização a frequência de 60 Hz. As distâncias reduzidas entre geração e consumo evitam grandes perdas resistivas no cabeamento, eliminando assim a grande desvantagem sofrida pelo sistema CC. O sistema se torna mais simples uma vez que não há potência reativa consumida. As correntes harmônicas geradas por cargas não-lineares também são evitadas, exceto no retificador principal CA-CC que será o ponto de acoplamento comum (PAC) entre a microrrede e a rede elétrica tradicional (STARKE, 2009).

### 2.2 TOPOLOGIA

Primeiro, apresenta-se uma topologia de como ocorre hoje dentro das residências com uma rede em CA com a tensão de 127 V / 220 V, na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Topologia CA residencial / comercial



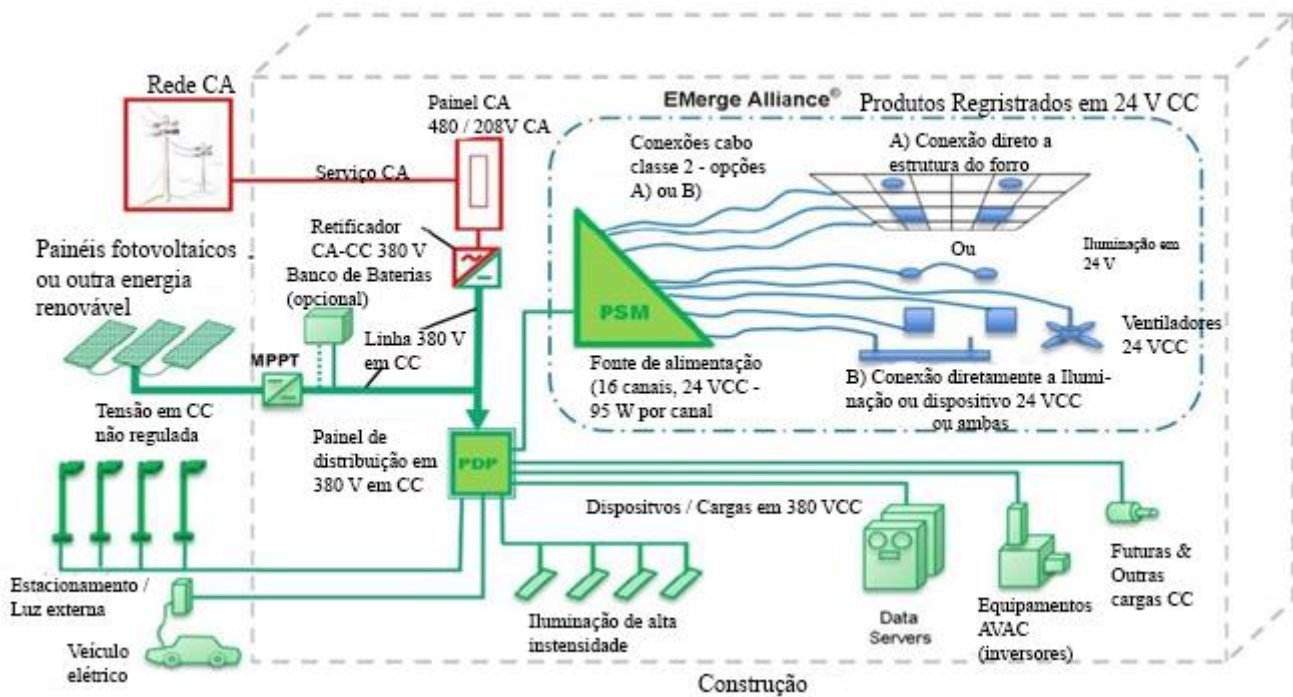
Fonte: Autor

Nota-se que há conversões para se utilizar a iluminação de LED, carro elétricos (bateria) e os eletrônicos, os quais são intrinsecamente CC. Há perdas também da energia gerada pelos painéis solares devido a necessidade de um inversor. Por outro lado, observa-se que equipamentos de refrigeração que utilizam motores CA e outros que usam esse tipo de motor são beneficiados por essa topologia. Os equipamentos de aquecimento normalmente são resistivos que independem da corrente, algumas tecnologias mais modernas como bombas de calor, podem ser empregadas para aumentar a eficiência. Porém, como dito anteriormente, aumenta-se a eficiência desses motores ao utilizar um inversor de frequência o qual pode ser alimentado diretamente por corrente CC, ou substituí-los por motores CC sem escova.

Tem-se diferentes formas de se montar uma estrutura em corrente contínua. A *EMerge Alliance* uma associação de indústrias (entre elas Phillips, Emerson, GE, Osram) e centros de pesquisa foi criada para padronizar essas configurações, desenvolver produtos, promover instalações seguras e manter um controle de qualidade (EMERGE ALLIANCE, 2016). A associação criou uma padronização para a utilização em extra baixa tensão, 24 VCC, e está em

desenvolvimento outro padrão de maior tensão em 380 VCC. A Figura 2.2 mostra as possibilidades e ligações com esta topologia CC utilizando 380 VCC e 24 VCC.

Figura 2.2 – Topologia CC residencial/comercial



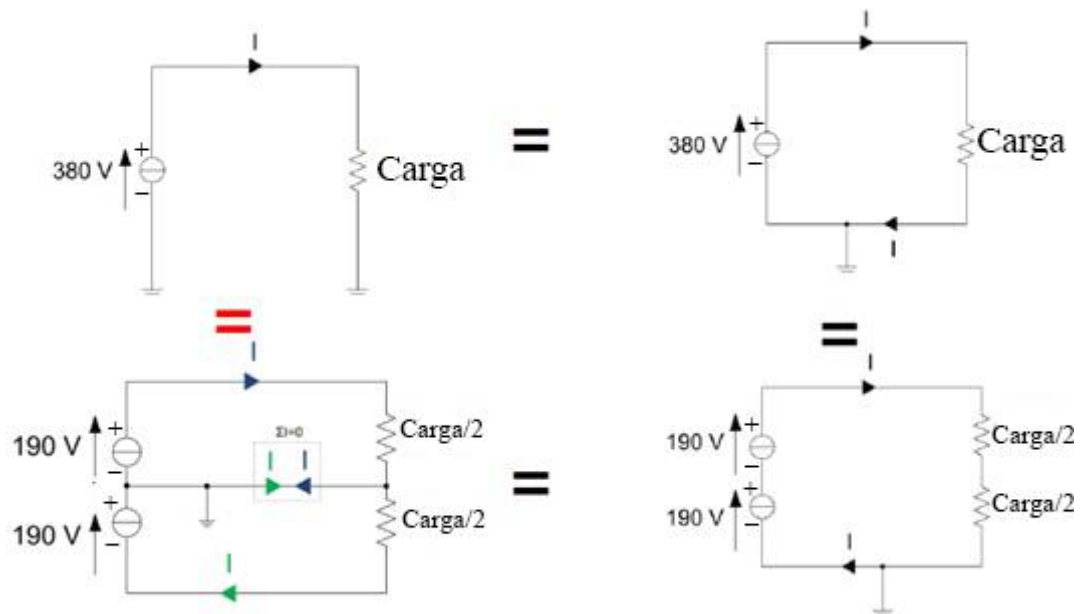
Fonte: (NEXTEK POWER SYSTEMS, 2016)

As primeiras diferenças que se percebe é a transformação CA-CC com um retificador central ao invés de diversas fontes de alimentação CC para cada carga. A linha de 380 VCC é utilizada para cargas de alta potência como carros elétricos, motores de maior potência com inversores de frequência (presentes na refrigeração e bombas de calor), servidores e iluminação de alta intensidade, além disso, ela permite percorrer uma maior distância com cabos de menor seção. Já o 24 VCC irá abranger iluminação de escritórios e quartos, eletrônicos e equipamentos com motores CC de baixa potência, por exemplo ventiladores, furadeiras. Esta extra baixa tensão (24 VCC) é convertida do barramento de 380 VCC e não da linha de alimentação em CA, segundo Pong, Lo e Pang (2006) estudos indicam eficiência mais altas para conversão CC-CC do que CA-CC.

Dentro da topologia com 380 VCC podem-se ter duas maneiras de distribuição da rede elétrica. A unipolar que apresenta um condutor negativo e outro com polaridade positiva de 380 V. E a bipolar que apresentaria três condutores, um neutro, um com polaridade positiva de 190 V e outro com polaridade negativa de -190 V. No caso de distribuição bipolar, deve-se ressaltar

a importância do balanceamento de cargas entre os dois polos, uma vez que uma situação assimétrica resultaria em situações de sobretensão devido à sobreposição da corrente no neutro (SALONEN et al., 2008). A Figura 2.3 mostra as configurações unipolar e bipolar. Quando se trata de perdas de energia ambas são equivalentes e dada a distribuição equivalente de cargas os cabos devem possuir mesma capacidade de corrente.

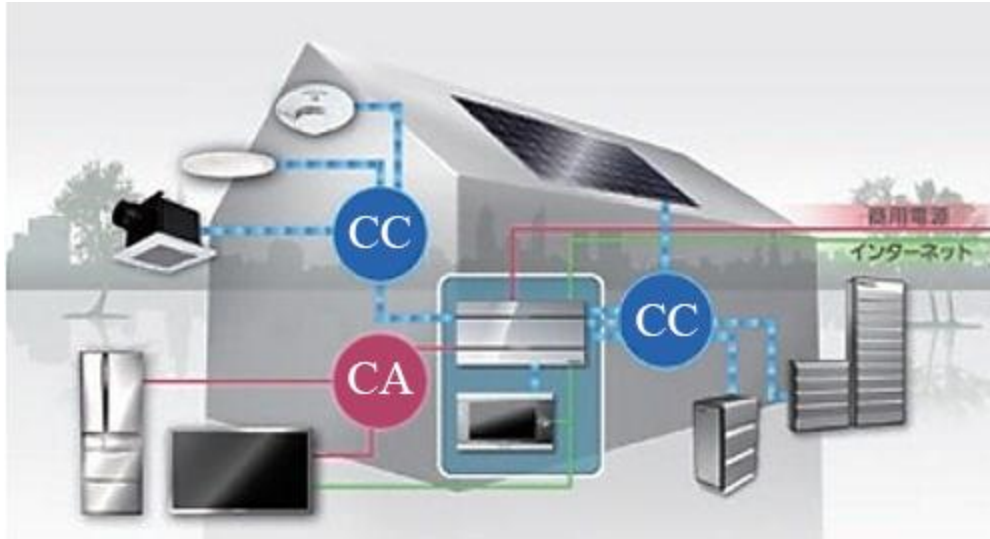
Figura 2.3 – Topologia Unipolar e Bipolar para corrente contínua em 380 VCC



Fonte: (BACKHAUS et al., 2015)

Uma topologia híbrida coexistindo as redes em CA e CC também é possível como na Figura 2.4, sendo a configuração mais fácil ao adaptar um edifício residencial ou comercial já construído. Usa-se CA para as cargas como motores de maior potência e a parte da CC para eletrônicos.

Figura 2.4 – Topologia Híbrida CA / CC



Fonte: (TEC MUNDO, 2009)

### 2.3 CABOS

Os cabos fazem diferença significativa na análise de uma linha em CC ou CA. Um sistema em CC é livre de indutância o que permite uma menor queda de tensão, livre do efeito *Skin* que afeta os cabos em CA principalmente em transmissões em altas frequências. A não ocorrência desse efeito permite que a corrente flua em toda a seção transversal do cabo permitindo cabos com seções menores. A corrente contínua causa menos interferências eletromagnéticas (EMI), se tornando uma vantagem em sistemas de comunicação (CHAUHAN et al., 2016). Um fator de grande influência na perda de energia nos cabos é o valor da tensão eficaz ou RMS ( $V_{RMS}$ ), quanto mais alto menor a perda. A tensão eficaz é a tensão constante para se obter a mesma potência dissipada que uma tensão variável, dado o mesmo intervalo de tempo, numa resistência R. Para um sistema em CA senoidal a equação (1) permite encontrá-la:

$$V_{RMS} = \frac{V_{CAp}}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Portanto, numa rede CA de tensão eficaz de 220 V, o valor de pico da rede é aproximadamente 311 V. Os cabos nesse caso devem ser dimensionados para terem isolamento superior a 311 V, mas o sistema enxerga apenas 220 V. Ou seja, o isolamento nos cabos no sistema de corrente alternada deve ser dimensionado 41% acima da sua capacidade de tensão eficaz. Já para o sistema em CC, o próprio valor de tensão é a tensão eficaz. Em vista disso, a perda de energia para um sistema em 380 VCC é menor e o estresse nos cabos devido a corrente

também será. Um teste realizado com luminárias LED num percurso de 100 m obteve perdas de 0,32% (2,2 W) para tensão de 380 VCC e perdas de 0,89% (6,0 W) para cabos de 230 VCA. A queda de tensão máxima no final da linha foi de 0,43% para CC e 1,2% para CA (BOEKE; WENDT, 2015). As perdas de potência num cabo para um sistema CC podem ser calculadas pela equação (2).

$$\Delta P_{CC} = 2RLI_{CC}^2 = 2RL \frac{P^2}{V_{CC}^2} \quad (2)$$

Sendo:

$\Delta P_{CC}$  – Perda de potência

R – Resistência do cabo por unidade de comprimento

L – Comprimento do cabo

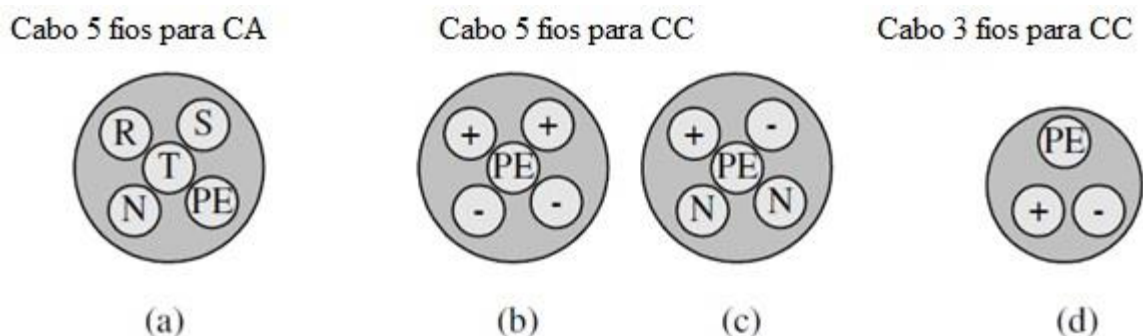
$I_{CC}$  – Corrente do circuito em CC

$V_{CC}$  – Tensão do circuito em CC

P – Potência do sistema (CHAUHAN et al., 2014).

A configuração dos cabos em CA é feita com cinco condutores, três condutores de fase, um para terra e outro para neutro. Os cabos em CC possuem três condutores, dois para os polos e um condutor terra o que diminui o custo de material. Para uma atualização de um sistema já existente, é possível utilizar os cabos em CA em duas configurações. A primeira são dois polos positivos e dois polos negativos mais o conector terra. A segunda são um condutor polo positivo, outro para o negativo, dois para o neutro e um de terra. Essa configuração de cinco fios no mesmo cabo permite o dobro de tensão e conseqüentemente o dobro da potência para a configuração CC do que a em CA. A Figura 2.5 mostra os diferentes tipos de condutores nos cabos (NILSSON, 2005).

Figura 2.5 – Fiação nos cabos CA e CC



Fonte: (NILSSON, 2005)

## 2.4 DEMANDA ELÉTRICA NACIONAL

Uma mudança da distribuição de energia elétrica desta forma causaria fortes impactos na população brasileira estimada em 206.605.780 habitantes em 2016 (IBGE, 2016).

Ao conhecer as demandas internas do país, pode-se criar planos para utilização da energia elétrica de forma eficiente. O consumo de energia elétrica para os próximos anos tende a ser maior no setor comercial e residencial, como já se vê na Tabela 2.1, um aumento de 5,7% no setor residencial e 7,3% no setor comercial de 2013 para 2014. Isto, justifica as pesquisas e ações voltadas a melhorias de eficiência para essas áreas (EPE, 2015).

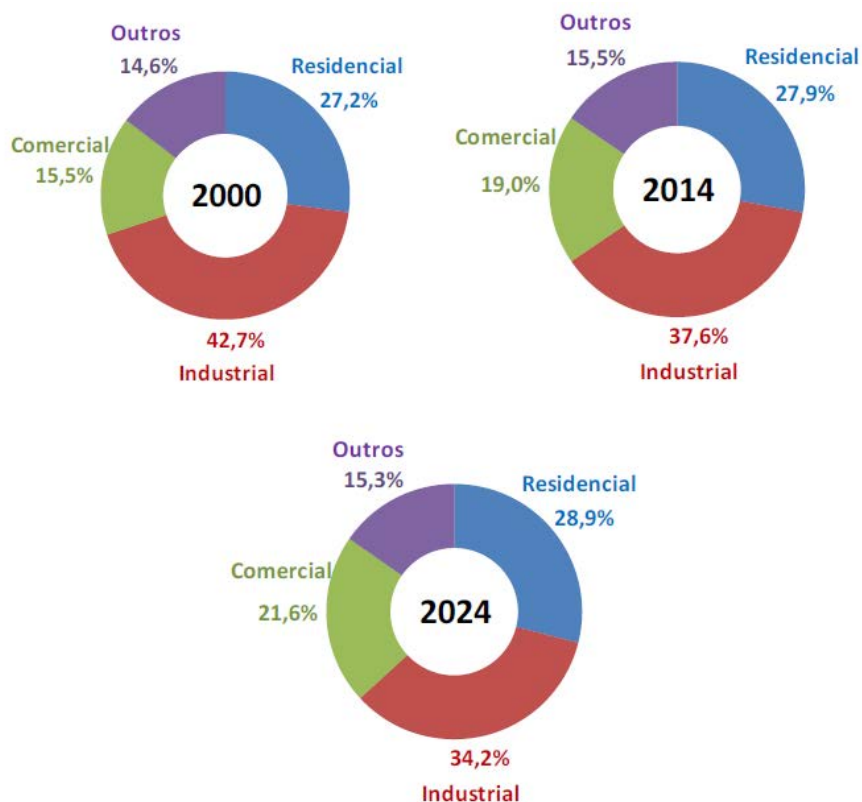
Tabela 2.1 – Consumo de eletricidade na rede entre 2013 e 2014, por classe (GWh)

Classe	2013	2014	$\Delta\%$
<b>Residencial</b>	124,896	132,049	5,7
<b>Industrial</b>	184,685	178,055	-3,6
<b>Comercial</b>	83,704	89,819	7,3
<b>Outras</b>	69,838	73,472	5,2
<b>Total</b>	463,122	473,395	2,2

Fonte: (EPE, 2015)

Em menos de 10 anos, o consumo geral de energia elétrica será de aproximadamente 50% devido ao comércio e as residências, já a indústria perderá participação. Atualmente os setores comercial e residencial são responsáveis por mais de 45% da demanda total, conforme a Figura 2.6.

Figura 2.6 - Consumo de energia elétrica na rede e sua projeção (%)

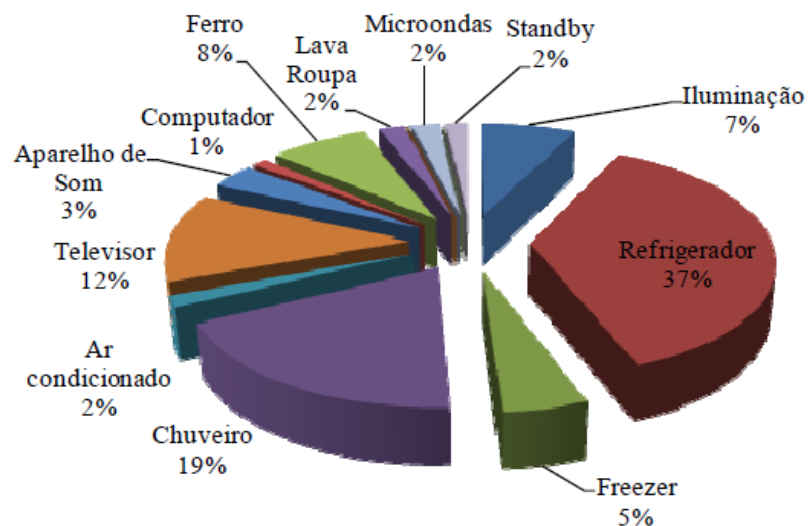


Fonte: (EPE, 2015)

#### 2.4.1 Demanda final da eletricidade no setor residencial

Vê-se oportunidades de melhorias de eficiência energética ao conhecer o uso final da energia elétrica dentro das residências. Tem-se os equipamentos utilizados atualmente os quais tem seu funcionamento em CC e, portanto, se beneficiariam de uma instalação sem perdas de conversão de corrente. E os equipamentos que atuam em CA e, assim, busca-se uma alternativa para se adaptarem melhor a uma instalação em CC. A Figura 2.7 representa a utilização final no cenário brasileiro, nota-se que grande parte da demanda vem de equipamentos ligados a temperatura, como refrigerador e freezer (42%), chuveiro elétrico (19%) e ar condicionado (2%).

Figura 2.7 – Demanda final da eletricidade no setor residencial brasileiro



Fonte: (FEDRIGO; GONÇALVES; LUCAS, 2009)

Os equipamentos eletrônicos estão por volta de 15% do consumo total, mas tendem a aumentar conforme os produtos do mercado nacional e internacional se tornam cada vez mais eletrônicos. No mercado americano em 2013 foi estimado que havia 3,8 bilhões de eletrônicos residenciais que consumiram aproximadamente 167 TWh/ano. Embora representem um consumo final menor comparado a outras fontes, são encontrados em grande quantidade nos domicílios e decisões mais eficientes de energia geram grande impacto final (URBAN et al., 2014).

### 3 SOLUÇÕES E ANÁLISES DE EQUIPAMENTOS EM CC

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Esta seção tem como função apresentar os produtos que já foram projetados com o pensamento da instalação em corrente contínua. Os produtos CC convencionais com fontes externas não são abordados, mas podem ser facilmente adaptados se suas tensões de entrada forem padronizadas. É considerado peculiaridades desses produtos alternativos que podem trazer vantagens ou desvantagens em relação aos produtos convencionais. E principalmente é discutido a eficiência elétrica de cada opção.

Atualmente os maiores mercados para equipamentos em CC estão relacionados a área de telecomunicações e outras aplicações para áreas comerciais afastadas como monitoramento meteorológico, operações de resgate, sendo poucas relacionadas a residência *off-grid*. Há também o mercado em CC para navios, barcos e veículos do tipo trailer usados de maneira recreativa ou dos modelos *food truck* (GARBESI; VOSSOS; SHEN, 2011).

#### 3.2 ILUMINAÇÃO

A iluminação sempre foi um dos principais focos de desenvolvimento da engenharia elétrica. Durante a Batalha das Correntes as lâmpadas tiveram uma posição neutra, uma vez que eram do tipo incandescente independente ao tipo de corrente. Hoje não aconselhável devido à baixa eficiência e são substituídas pelas lâmpadas fluorescentes e as LED, essas necessitam da corrente contínua. Atualmente há um grande debate sobre qual padrão de tensão deverá ser utilizado para lâmpadas, estudos variam de 24 V até 380 V / 400 V, que abrangem a padronização realizada pela *EMerge Alliance*. Uma tensão de 380 V pode ser utilizada por lâmpadas LED *outdoors* de alta potência e que estão separadas por uma maior distância. Já a tensão de 24 V para uso interno proporcionaria maior segurança devido à baixa tensão, porém em menores distâncias para o diâmetro do cabo ser viável e não gerar custos adicionais.

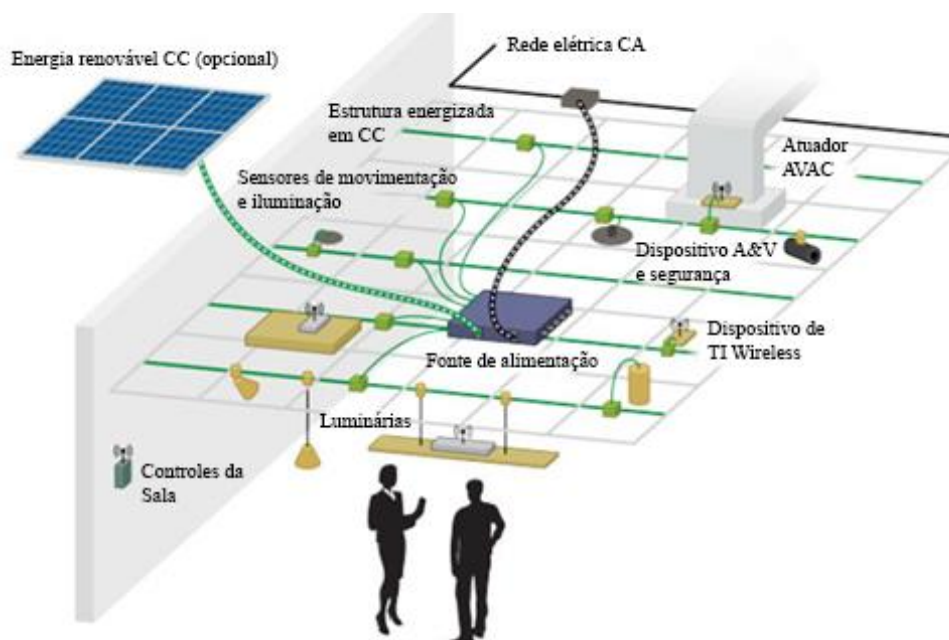
A abordagem da iluminação numa rede de 24 V traz diversos benefícios além de uma maior eficiência ao evitar a conversão CA-CC. Algumas vantagens são a simplificação da instalação que pode ser feita de modo modular, controle mais fácil da iluminação por *dimmers*, capacidade de ser instalado em locais perigosos (úmidos, áreas explosivas/químicas), isolamento dos cabos é menor devido à baixa tensão. A capacidade de trabalhar com ou sem

luminárias convencionais resultando em sistemas que economizam até um décimo de material (ZIMMERMAN; LIVESAY; EVANS, 2016).

O circuito 24 VCC é considerado pela NBR5410 como *separated extra-low voltage* (SELV), sistema de extrabaixa tensão, de modo que ao ocorrer uma falta não resulta em risco de choque elétrico. Um sistema SELV não necessita ser inacessível dispensando isolamento básica, barreiras ou invólucros (ABNT, 2004). De acordo com a NR10, não é necessário ser técnico ou engenheiro eletricitista para manusear o sistema nesta tensão. Estes fatores diminuem os custos com manutenção e instalação.

A Figura 3.1 mostra uma possível instalação 24 V em CC, onde a fonte de tensão alimenta diretamente as estruturas metálicas do forro de um escritório comercial, a Figura 3.2 é uma aplicação prática deste sistema. As cargas, principalmente lâmpadas, podem ser manuseadas facilmente no local de forma modular da maneira que mais se adequa a necessidade atual do usuário. Sem a necessidade de refazer a fiação para troca do lugar da lâmpada e sem precisar manter luminárias específicas como ocorrem no sistema CA.

Figura 3.1 – Instalação 24 VCC na estrutura metálica do telhado



Fonte: (WRIGHT, 2014)

Figura 3.2 – Aplicação da iluminação LED por 24 V



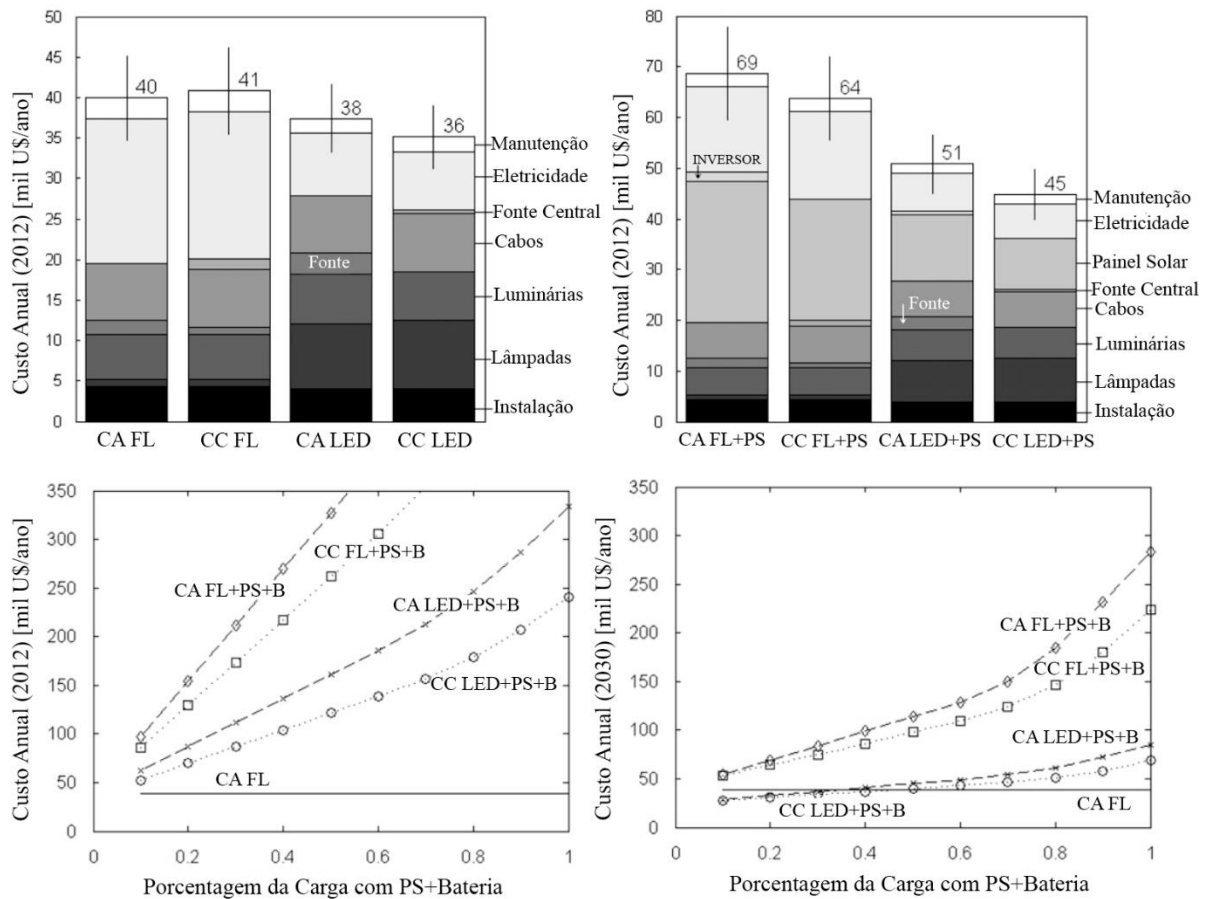
Fonte: (WRIGHT, 2014)

Várias pesquisas apresentaram eficiências diferentes a iluminação LED CC, mas todos chegam a conclusão que há um ganho de eficiência energética. Variam de 2% até ganhos de eficiência de 15% em relação a corrente alternada. Outro fator é ao comparar o consumo da LED CC com lâmpadas fluorescentes em CA, tem-se uma redução de 50% (WEISS; OTT; BOEKE, 2015; SAVAGE; NORDHAUS; JAMIESON, 2010).

Um estudo voltado para o lado econômico comparou os custos de se utilizar lâmpadas LED CC, LED CA, fluorescentes CC e fluorescentes CA incluindo categorias de manutenção, instalação, fiação, luminárias, lâmpadas e fontes de alimentação. Realizaram o estudo matemático considerando um prédio comercial de 4400 m<sup>2</sup>, mantendo a mesma quantidade de luminosidade de modo que a única variável fosse as lâmpadas. Consideraram a instalação sem e com painéis solares, e sem e com baterias de chumbo-ácido para *back-up*. Ao analisar a Figura 3.3, percebe-se que a tecnologia LED apresenta o menor custo anual devido sua capacidade de iluminação utilizando baixa potência e sua durabilidade maior permite gastos menores com manutenção. A diferença entre a utilização das correntes é mais perceptível ao analisar o gráfico com os painéis solares com redução do custo anual estimado entre 2% a 21%. Devido a não ter uma etapa de conversão de corrente, diminui-se os custos do sistema consumindo menos energia elétrica, assim como não há o custo com inversores para os painéis solares e conversores para os LEDs. Com a presença da bateria, os circuitos se distinguem ainda mais no quesito eficiência já que é retirado mais etapas de conversão de energia. Entretanto, os custos atualmente para montar um sistema CC utilizando LED, painel solar e bateria é muito elevado perdendo espaço para as instalações convencionais. O estudo faz uma previsão que em 2030 se

o preço de baterias e painéis solares caírem no ritmo atual, compensará projetar 40% da carga total alimentado por painel solar e bateria (THOMAS; AZEVEDO; MORGAN, 2012). Na Figura 3.3, as lâmpadas fluorescentes são representadas pela sigla FL, os painéis solares por PS, as baterias por B, e as combinações de cada sigla representa uma maneira de instalação usando CA ou CC.

Figura 3.3 – Custos anuais dos sistemas de iluminação (esquerda), custos anuais dos sistemas com painéis solares (direita), custos anuais em relação a carga total dos sistemas com bateria (abaixo)



Fonte: (THOMAS; AZEVEDO; MORGAN, 2012).

### 3.3 REFRIGERADORES E FREEZERS

Os refrigeradores e freezers compõe grande parte da carga elétrica residencial (42%). O mercado é inteiramente voltado para produtos CA, sendo poucos e desconhecidos fabricantes que buscam soluções em CC. Os refrigeradores que usam compressores de velocidade variável possuem controle mais preciso da temperatura e redução do consumo de eletricidade em relação

aos que são ON/OFF, uma vez que conseguem operar numa potência menor que a da nominal quando não há necessidade. No caso de compressores CC de 12 V / 24 V, utiliza-se os motores BLDC.

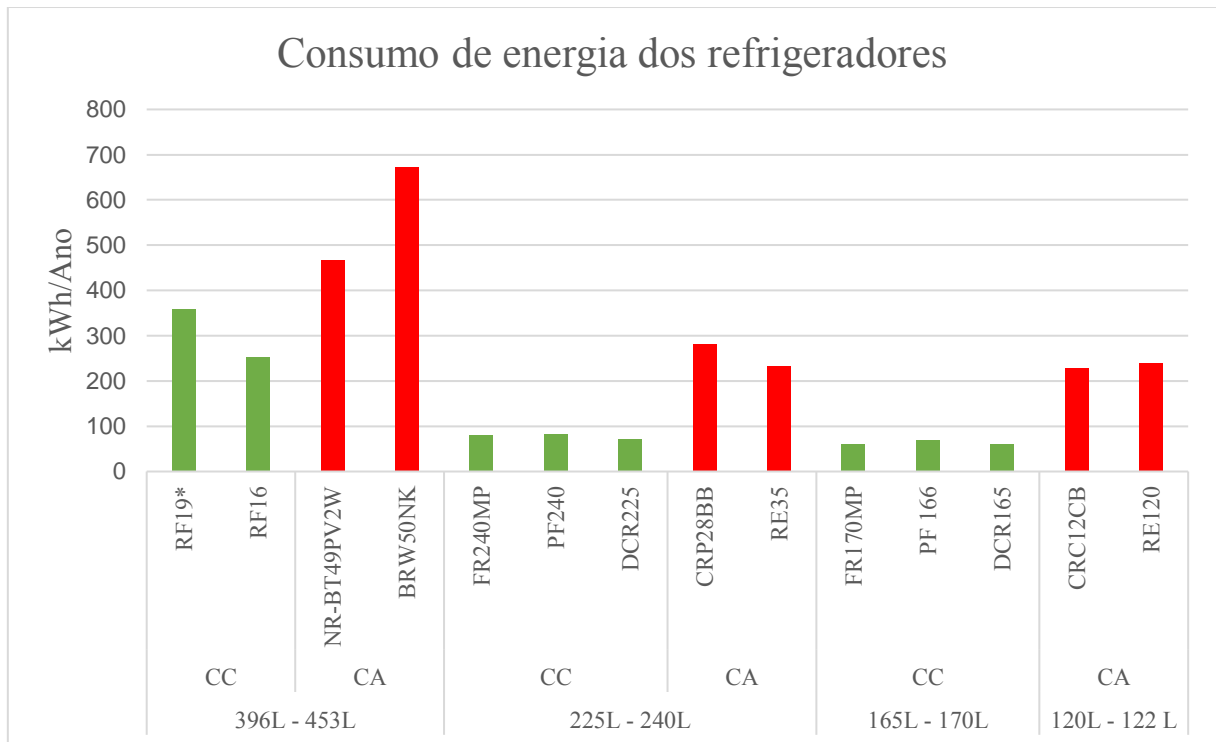
Dados de fabricante e informados pelo programa americano de promoção de produtos eficientes *Energy Star* e o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) foram comparados quanto ao quesito quilowatt hora por ano (kWh/ano). Foram utilizados dados de funcionamento numa temperatura ambiente de 32°C. Conforme a Tabela 3.1 e Figura 3.4, os equipamentos em CC consomem menos da metade de kWh/ano que seus equivalentes de tamanho similar. Todavia, a eficiência dos refrigeradores está diretamente ligada a temperatura ambiente onde está instalado e o modo que é utilizado pelo consumidor final, então dados fornecidos por fabricantes podem apresentar diferenças em aplicações práticas. Por causa de uma isolação maior para atender eficiência, refrigeradores CC costumam ser menores e a maioria encontrada no mercado é do tipo horizontal, saindo do padrão vertical que se encontra na maioria das cozinhas. Outro fator negativo é o preço, sendo bastante elevado e encontrado apenas no mercado estrangeiro (americano, alemão).

Tabela 3.1 – Comparação de refrigeradores CC e CA

Fabricante	CC/CA	Modelo	Capacidade (L)	kWh/Ano
Sun Frost	CC	RF19*	453	359,1
Sun Frost	CC	RF16	396	254,0
Phocos	CC	FR240MP	240	79,6
Phocos	CC	FR170MP	170	60,6
Steca	CC	PF 166	166	69,4
Steca	CC	PF240	240	82,1
SunDanzer	CC	DCR165	165	61,3
SunDanzer	CC	DCR225	225	72,2
Panasonic	CA	NR-BT49PV2W	435	468
Brastemp	CA	BRW50NK	429	672
Consul	CA	CRP28BB	239	280,8
Consul	CA	CRC12CB	120	228
Electrolux	CA	RE35	240	234
Electrolux	CA	RE120	122	238,8

Fonte: Autor

Figura 3.4 – Consumo de eletricidade dos refrigeradores

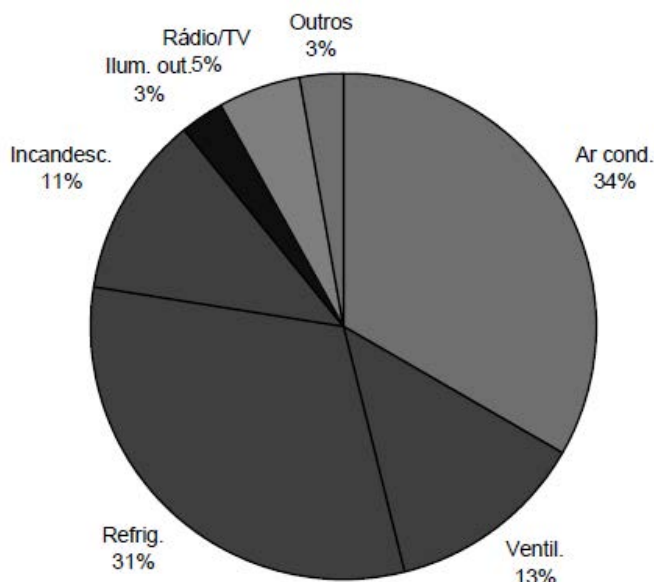


Fonte: Autor

### 3.4 AR CONDICIONADO E VENTILADORES

O ar condicionado, segundo Fedrigo, Gonçalves e Lucas (2009), representa 2% do uso final de eletricidade do Brasil. Apesar disso possuem grande influência na conta elétrica de quem possui devido a sua elevada potência. Outra pesquisa realizada em Boa Vista, Roraima, informa que o gasto com ar condicionado e ventiladores somados são 47% do consumo final nas residências, como ilustra a Figura 3.5. Isso se deve as condições climáticas equatoriais, que diferentemente do sul do país, obriga o morador a buscar algum meio de conforto climático. As residências de baixa renda tendem a utilizar mais ventiladores e a partir de 5 salários mínimos começam a possuir ar condicionado, cujo consumo aumenta progressivamente com a renda atingindo até 72% consumo total (SAUER, 1998).

Figura 3.5 – Consumo por uso final no setor residencial de Boa Vista, Roraima



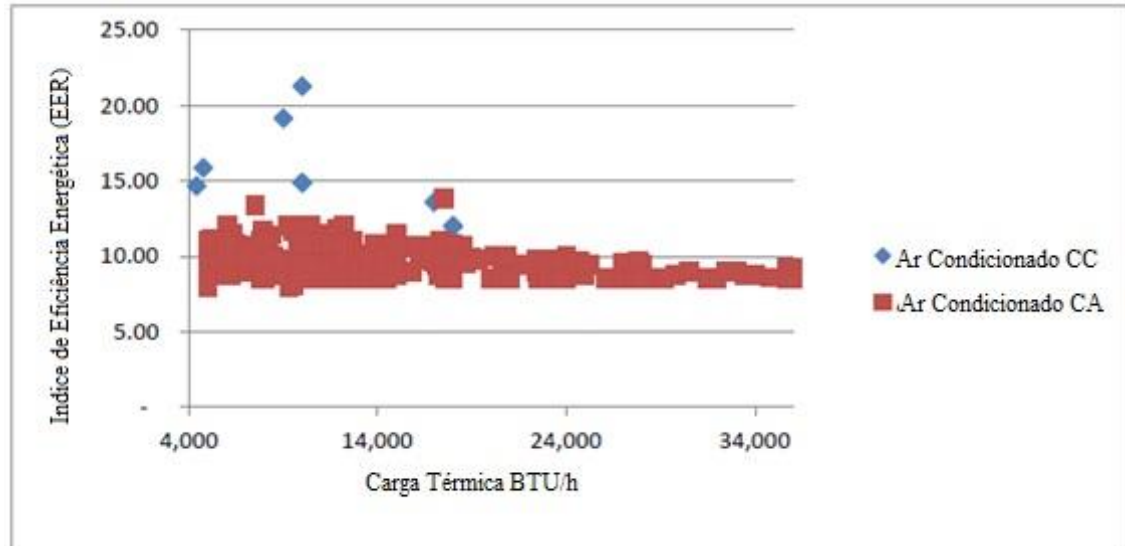
Fonte: (SAUER, 1998)

Para Morales (2007) o uso do ar condicionado representa 20% do total de energia consumida no comércio brasileiro. Para medição de eficiência destes equipamentos utiliza-se o índice de eficiência energética, EER (*Energy Efficiency Rate*), expresso em BTU/h/Watts e a potência em Tonelada de Refrigeração (TR). Outros detalhes devem ser considerados para eficiência do sistema de climatização como a temperatura ambiente, carga térmica e aspectos construtivos do local. A forma de utilização do ar condicionado também é fundamental para diminuição do consumo elétrico, reduzindo o consumo ao evitar grandes diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo.

Igualmente aos refrigeradores, unidades de ar condicionado em CC utilizam inversores CC que por modulação de largura de pulso, PWM, ajustam a frequência ideal de operação do motor e não há a perda por conversão CA para CC no inversor. A maioria dos produtos em CC são voltados a área de telecomunicações, que tem grandes gastos com a climatização dos servidores e computadores, de extrema importância para confiabilidade do sistema. Em consequência disso o mercado busca produtos mais eficientes e que possuem maior compatibilidade com alimentação por baterias em necessidade de se usar *back-up*. Outras áreas onde é possível encontrar produtos CC são para veículos automotivos, marítimos e trens. A fabricante DC Airco alega 21% mais eficiência que a média do rendimento de produtos CA equivalentes. Outros fabricantes de ar condicionado em CC que afirmam ter produtos mais econômicos são: Dantherm, Sun Power Technologies, Rencool, DC Breeze e Securus. São encontrados normalmente em extra baixa tensão de 12 V/ 24 V /48 V, mas há versões entre

300-400 V. A Figura 3.6 apresenta a comparação entre ar condicionados CC e CA, nota-se uma maior eficiência dos produtos CC, todavia o mercado apresenta produtos CC de pequeno porte.

Figura 3.6 – Eficiência energética de ar condicionados CC e CA



Fonte: (GARBESI; VOSSOS; SHEN, 2011)

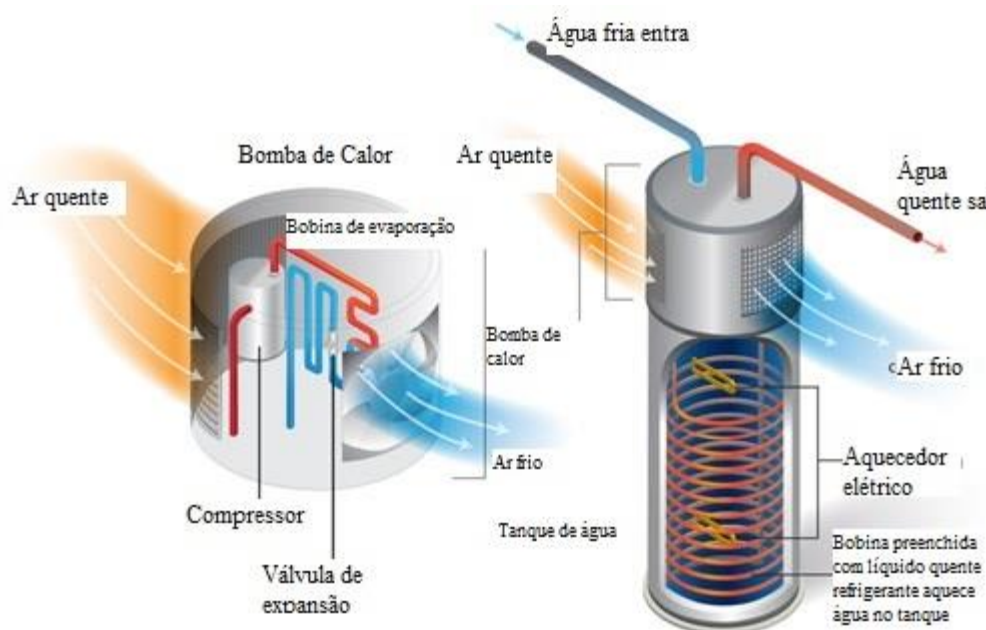
Os ventiladores podem ser divididos em categorias como os de teto e os portáteis. No que diz respeito a parte elétrica, o funcionamento de ambos é idêntico. Nos ventiladores convencionais um motor CA movimenta as pás criando o fluxo de ar. Para o circuito em corrente contínua utiliza-se os motores BLDC para se obter maior eficiência. Os fabricantes como Emerson, Henley Fan Company, Monte Carlo Ceiling Fan Company e Kichler alegam ter uma redução no consumo de eletricidade de até 70% em seus produtos CC, sendo os mais eficientes homologados pelo programa *Energy Star*. Segundo a companhia *Pacific Gas and Electric Company* (PG&E) (2004) um motor CC consome cerca de 5W para fornecer 1360 pés cúbico por minuto por Watt (cfm/W), o que resulta em uma eficiência de 272 cfm/W, já um motor convencional está por volta de 75 cfm/W. Esta relação pode ser confirmada ao comparar os produtos existentes no mercado. Com fluxo de ar semelhante o ventilador de teto CC da Emerson, linha Carrera Grande ECO possui eficiência de 265 cfm/W utilizando no total 29 W para gerar 7929 cfm, já a linha CA Premium Select tem especificado 73 cfm/W, no total de 100 W para obter 7264 cfm.

### 3.5 AQUECEDORES DE ÁGUA

Os aquecedores de ar são pouco difundidos no Brasil devido sua característica tropical, já o aquecimento de água é amplamente usado principalmente nas regiões sul e sudeste. Os países com inverno mais rigoroso normalmente adotam um aquecimento centralizado através de um boiler alimentado por gás natural ou energia elétrica usando materiais resistivos para esquentar a água. Apesar desse conceito ser utilizado no Brasil e até algumas casas adotarem o aquecimento da água com painéis solares, é amplamente difundido e genuíno nas casas brasileiras o chuveiro elétrico e deixado de lado o aquecimento de água em torneiras ou outra situação que não a do banho. Um chuveiro elétrico é um aquecedor de água de passagem transformando energia elétrica em calor através de uma resistência elétrica pelo o efeito Joule. Uma solução de baixo custo, o equipamento, pode ser encontrado no mercado a partir de R\$ 30,00, com a potência média entorno de 5400 W, podendo ultrapassar 8000 W. Essa elevada potência faz com que os chuveiros elétricos sejam um dos componentes de maior consumo residencial, aumentando consideravelmente a conta de luz e a demanda nas concessionárias. As grandes desvantagens do chuveiro elétrico estão na sua baixa vazão de água, alta demanda elétrica, grande risco a segurança do consumidor (PINHEIRO, 2006).

As bombas de calor são uma das soluções elétricas mais eficientes atualmente para aquecimento de água. Diferente dos chuveiros elétricos, as bombas de calor armazenam água num tanque central com isolamento térmico para distribuição em torneiras e chuveiros da residência. Uma bomba de calor tem seu funcionamento reverso à de um ar condicionado e refrigeradores, ou seja, utilizam um compressor que ao invés de retirar calor, move-o do ambiente externo para o ambiente interno e assim aquecer a água, como demonstrado na Figura 3.7. Por utilizar um compressor, então possui um motor, que a torna mais eficiente quando este é ligado a um inversor de frequência de forma que o compressor opere conforme a demanda. Como já avaliado no caso de refrigeradores e ar condicionado o menor consumo energético ocorre com motores CC sem escova. Uma bomba de calor pode ser híbrida e possuir uma resistência interna para aquecimento em casos de alta demanda, porém não é aconselhável uma vez que o sistema terá menor eficiência. A eficiência de uma bomba de calor é calculada através de uma relação de consumo elétrico e calor produzido conhecido como Coeficiente de Performance (COP) valor normalmente entre 3 e 5. É possível reduzir o consumo elétrico em 60% com as bombas de calor, entretanto o cliente inicialmente terá que arcar com altos custos de equipamento e instalação (NEAA, 2016).

Figura 3.7 – Funcionamento de uma bomba de calor



Fonte: (ENERGY STAR, 2016)

### 3.6 OUTROS ELETRODOMÉSTICOS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Outros eletrodomésticos que não operam internamente em corrente contínua podem ser encontrados no comércio e residências. Apesar de não possuírem grande participação no consumo elétrico como os equipamentos já citados, também devem ser adaptados a uma instalação em corrente contínua em busca de eficiência. Os liquidificadores, secadores de cabelo, micro-ondas, máquinas de café entre outros são encontrados em versões CC de 12 V ou 24 V na internet, normalmente para o mercado de trailers. As cozinhas brasileiras em sua maioria apresentam fogões a gás, mas caso sejam elétricos, fogão de indução magnético alimentado por baixa tensão CC é mais eficiente que os mais comuns fogões elétricos resistivos. As máquinas de lavar roupa ou louça podem utilizar motores de menor consumo elétrico como o motor BLDC e o conceito de bomba de calor já é explorado em secadoras de roupa com redução de 50% do consumo elétrico. Referente ao ferro de passar roupa não foi encontrado no mercado uma alternativa de menor consumo energético, mas por se tratar de um equipamento resistivo, pode ser utilizado com corrente contínua sem precisar de grandes modificações.

Os equipamentos como carros elétricos e baterias para *back-up* devem aumentar sua participação no mercado na medida em que se tornam mais eficientes e com preços mais acessíveis. Por serem equipamentos CC, há diminuição da perda de energia com a retirada do retificador e se beneficiam de uma tensão mais elevada como 380 VCC.

### 3.7 INVERSORES, RETIFICADORES, MPPTs E CONTROLADORES DE CARGA

Estes componentes são um dos principais motivos que levantaram a questão de se utilizar uma instalação elétrica em CC. Uma vez que as diversas conversões causam perda de energia, é necessário analisar a eficiência energética de pequenas fontes de alimentação CC comparados aos retificadores de maior potência. Os custos de cada opção devem ser analisados para saber a viabilidade de uma instalação em CC, custo inicial de instalação, tempo de retorno sobre o investimento, durabilidade e custo de manutenção. Como um retificador central é voltado ao mercado de telecomunicações, data centers e indústrias, analisa-se em artigos, tendências desses produtos de atingirem o mercado residencial.

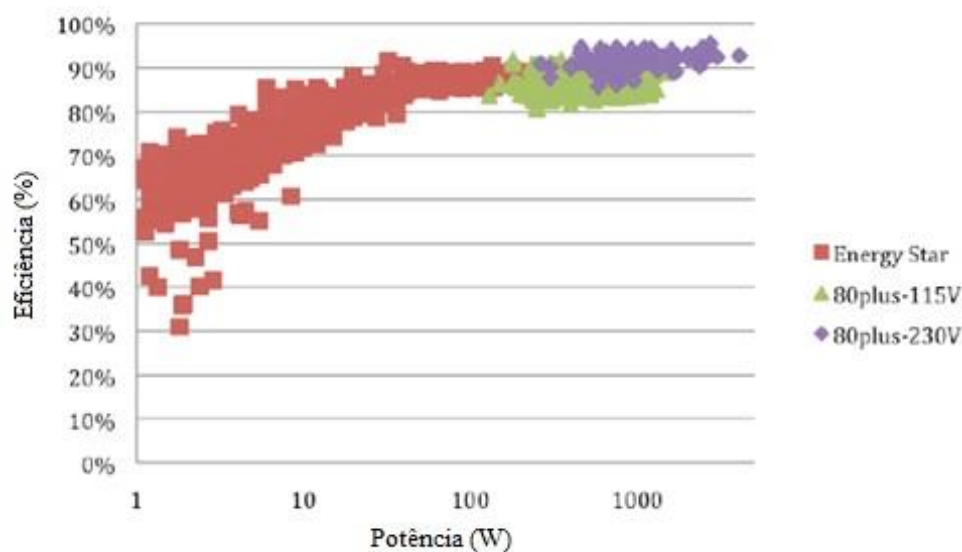
Para casas e prédios que utilizem energia renovável como painéis solares ou energia eólica, um inversor deve ser instalado para conversão da energia gerada em CC para CA. Entre os diversos tipos de inversores, há o *grid tie* quando a residência está ligada a concessionária de energia, controlam a geração dos painéis solares em relação a demanda interna, em caso de alta demanda, complementa-se a necessidade com eletricidade da rede elétrica. No caso contrário fornecem energia elétrica à rede da concessionária em momentos de geração em excesso. Possuem alta tensão de entrada para reduzir perdas de transmissão na linha. Já os modelos *off-grid* para construções fora da rede elétrica que utilizem apenas de energias renováveis. Estes operam normalmente em tensões mais baixas quando tem controladores de carga embutido, possuem um retificador para carregar baterias que são usadas em períodos de baixa ou nenhuma produção de eletricidade. Um inversor é desnecessário em uma instalação CC evitando perdas da conversão, todavia nesta instalação ainda necessita de um controlador de carga solar que será considerado o rastreador de ponto de máxima potência (MPPT). O MPPT providência uma tensão constante para as cargas, e ajusta a carga aparente vista pelos painéis solares para obter a máxima potência de saída. A maioria dos inversores solares *grid-tie* possuem um MPPT embutido (GARBESI et al., 2011). Além dos inversores e MPPT, quando o sistema usa baterias, é preciso um controlador de carga para regular a corrente de entrada e saída do banco de baterias.

#### 3.7.1 Eficiência

As pequenas fontes de alimentação CC foram consideradas as principais culpadas de consumirem ineficientemente grandes quantidades de energia elétrica em dispositivos domésticos e comerciais, segundo (FANARA et al., 2006). São estimadas mais de 10 bilhões

de fontes de alimentação ao redor do mundo com eficiência da maioria entre 30% a 60%. As fontes são menos eficientes quando sua potência é baixa de acordo com a Figura 3.8.

Figura 3.8 – Eficiência de fontes de alimentação CA-CC



Fonte: (GARBESI et al., 2011)

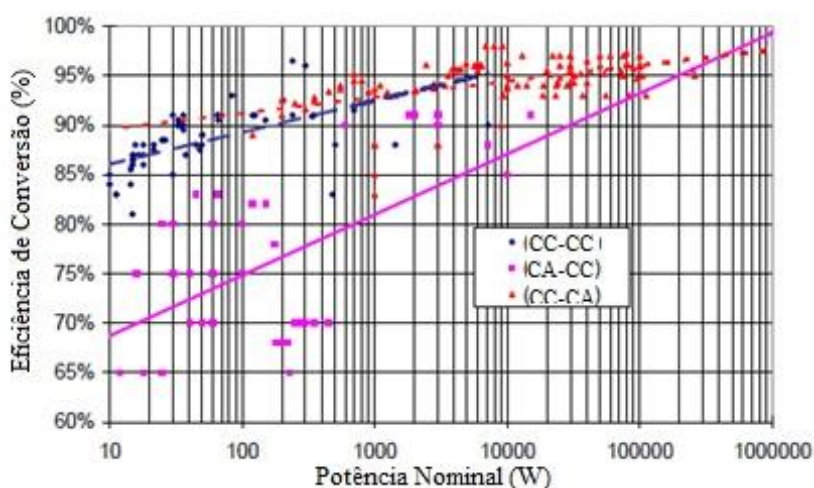
Na Figura 3.8, percebe-se fontes com elevado grau de eficiência (80%-95%). Isso se deve em razão dos dados terem sido retirados de fontes cadastradas nos programas de eficiência energética *Energy Star* e *80 Plus*. O programa *80 Plus* é um programa de homologação voluntário de fontes internas usadas em computadores e servidores em data centers. Muitos fabricantes buscam o certificado para vender produtos mais econômicos e expandir sua fatia no mercado. O teste requer fontes que apresentem eficiência igual ou acima de 80% nos casos de 20%, 50% e 100% da corrente nominal de saída com fator de potência igual ou superior a 0,9 (80PLUS, 2016). Além do menor consumo de energia, a correção do fator de potência proporciona uma economia de 12% a 21% de energia (FANARA et al., 2006). Os consumidores devem buscar produtos homologados para economizarem na conta de luz. Devem ficar atentos, pois o programa não qualifica a eficiência nos casos em que a fonte é utilizada com menos de 20% da carga nominal. As eficiências podem mudar drasticamente, portanto é imprescindível o correto dimensionamento da fonte para o uso, e a verificação dos valores de eficiência em operação *stand-by*.

A agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (EPA) considera 3 tipos diferentes de fontes de alimentação que devem ser incentivadas a um melhor consumo de energia. As fontes de alimentação externa, que estão inclusas nos produtos homologados pela *Energy Star* do gráfico da Figura 3.8, as fontes internas descritas no programa *80 Plus* e os carregadores de

bateria. No caso dos carregadores de bateria, além de testes realizados igualmente a fontes de alimentação externa, foi avaliado a situação de operação no modo inativo. Após a inspeção de alguns modelos foi encontrado que 70% a 75% da energia consumida ocorre depois que a bateria está totalmente carregada (FANARA et al., 2006).

Dados de outro estudo são observados na Figura 3.9 que retificadores CA-CC de baixa potência apresentam baixa eficiência (68%-75%) em relação a conversores CC-CC de mesma potência (86%-90%). A diferença diminui conforme as potências nominais aumentam tendendo a valores ao redor de 95%, valor que é considerado a eficiência de um retificador central CA-CC numa instalação CC. Os inversores CC-CA apresentam eficiência superiores a 90% e se mostram mais independentes da potência que funcionam (PANG; LO; PONG, 2006).

Figura 3.9 – Eficiência em relação a potência nominal de conversores e inversores presentes no mercado



Fonte: (PANG; LO; PONG, 2006)

Os inversores são dispositivos necessários nas instalações CA com painéis solares, e são altamente eficientes e para realizar essa medição é criado sua curva de eficiência, uma vez que suas características variam conforme a potência gerada pelas placas solares (estas variam conforme a luminosidade), a tensão de entrada e demanda total das cargas. Para representar a eficiência em um único valor numérico, normalmente é especificado uma eficiência de pico, quando o inversor está trabalhando na sua capacidade nominal, e uma eficiência ponderada para cada nível de potência demandada pela rede. As eficiências ponderadas ao simularem situações reais de funcionamento conseguem representar melhor a real eficiência do inversor. São usados dois tipos de métodos para o cálculo da eficiência ponderada, o europeu, ou o da Comissão de Energia da Califórnia (CEC) (SOLAR CHOICE, 2011). Os modelos do tipo *grid tie* com

capacidades de até 10kW normalmente usados em residências e com MPPT embutido, tem eficiência ponderada CEC entre 84,5% e 98% (GO SOLAR CALIFORNIA, 2016). Já os modelos *off-grid*, não incluem MPPT e possuem eficiência ponderada de 91%, menor que os inversores *grid tie*, devido ao fato de alguns modelos retificarem corrente da rede elétrica quando é necessário carregar as baterias em sistemas híbridos com baterias para *back-up*. Os dispositivos MPPT que funcionam como conversores CC-CC para se obter a maior potência de saída dos painéis solares são extremamente eficientes com 97,5% a 99,5% (GARBESI; VOSSOS; SHEN, 2011). O controlador de carga em sistemas com *back-up* é necessário tanto em instalações CA ou CC. Os modelos recentes possuem MPPT embutido, uma vez que inversores *off grid* não possuem e assim aumentam consideravelmente a eficiência da instalação. Os controladores de carga de bateria com MPPT de alto desempenho tem eficiência entre 94% a 98% (NOTHERN ARIZONA WIND & SUN, 2016).

### 3.7.1.1 Análise

A Tabela 3.2 mostra os dados de eficiência obtidos para cada equipamento. A partir dos dados é calculado com uma simples análise a eficiência final dos sistemas: instalação em CA, instalação em CC, instalação CA com painel solar, instalação CC com painel solar, instalação CA *off-grid* e instalação CC *off-grid*.

Tabela 3.2 – Eficiências de retificadores, inversores, MPPTs e controladores de carga

Equipamento	Símbolo	Eficiência
Retificador CA-CC (baixa potência)	$\eta_{CA-CC}$	68%-75%
Retificador CA-CC (central)	$\eta_{CA-CC(CENTRAL)}$	95%
Conversor CC-CC	$\eta_{CC-CC}$	86%-90%
Inversor <i>grid tie</i>	$\eta_{INV}$	84,5%-98%
MPPT	$\eta_{MPPT}$	97,5-99,5%
Inversor <i>off grid</i>	$\eta_{INV-OFF}$	91%
Controlador de carga	$\eta_{CON}$	94%-98%

Fonte: Autor

É considerado um sistema CC com as tensões 380 V / 24 V, pois dessa maneira atende as cargas CC de baixa tensão com 24 V e os possíveis novos produtos CC que irão substituir as cargas CA de alta tensão com 380 V. A tensão de 380 V permite percorrer uma maior distância sem ocorrer quedas de tensão e perdas de potência nos cabos. Por outro lado, este sistema tem duas transformações nas cargas de baixa tensão, uma no retificador central e outra conversão CC-CC, uma transformação a mais do que no sistema em CA que possui muitas fontes de

alimentação. As Figuras 2.1 e 2.2 representam as topologias utilizadas nesta análise. Nos seguintes cálculos são considerados que as cargas são 100% CC de baixa tensão, são utilizados os dados dos equipamentos menos eficientes e mais eficientes para recriar o pior cenário e melhor cenário. Não é considerado aqui o fator de potência dos equipamentos e questões dos harmônicos para a simplificação dos cálculos.

Para a primeira comparação da diferença de eficiência entre as simples instalações sem energia renovável, o valor da eficiência em CA ( $\eta_{CA}$ ) é dado pela própria eficiência dos retificadores de equipamentos internos utilizados que é de 68% a 75%. Já o valor da instalação em CC ( $\eta_{CC}$ ) fica entre 81,7% e 85,5%, encontrado pela equação (3):

$$\eta_{CC} = \eta_{CA-CC(CENTRAL)} \times \eta_{CC-CC} \quad (3)$$

Para os casos com a presença de painel solar dependerá de quanto o sistema utiliza da energia renovável e quanta eletricidade provém da rede elétrica. No cálculo é considerado o caso ideal em que a instalação elétrica é fornecida 100% com energia renovável. Portanto, a eficiência de um circuito CA ( $\eta_{CA-PV}$ ) depende do inversor e das fontes de alimentação, dado pela equação (4) e outro em CC ( $\eta_{CC-PV}$ ) dependerá da eficiência do MPPT e dos conversores CC-CC, desconsiderando o retificador central, dado pela equação (5):

$$\eta_{CA-PV} = \eta_{INV} \times \eta_{CA-CC} \quad (4)$$

$$\eta_{CC-PV} = \eta_{MPPT} \times \eta_{CC-CC} \quad (5)$$

Na instalação CA o sistema apresenta a eficiência  $\eta_{CA-PV}$  entre 57,5% a 73,5%. Já a semelhante em CC tem eficiência entre 83,9% e 89,6%. Os circuitos *off-grid* não dependerão da rede elétrica, portanto o retificador central também pode ser dispensado dos cálculos. A eficiência CA ( $\eta_{CA-BAT}$ ) é dada pela equação (6) e a CC ( $\eta_{CC-BAT}$ ) pela equação (7), é considerado que o MPPT está presente no controlador de carga e, portanto, não está na equação.

$$\eta_{CA-BAT} = \eta_{CON} \times \eta_{INV-OFF} \times \eta_{CA-CC} \quad (6)$$

$$\eta_{CC-BAT} = \eta_{CON} \times \eta_{CC-CC} \quad (7)$$

O sistema CA possui eficiência de 58,2% a 66,9% e o sistema CC eficiência de 80,8% a 88,2%. Através dos resultados obtidos, montou-se a Tabela 3.3, com as eficiências referentes a cada sistema e as diferenças de eficiência entre elas, considerando diferença mínima (mínima eficiência CC menos máxima eficiência CA) e diferença máxima (máxima eficiência CC menos mínima eficiência CA).

Tabela 3.3 – Eficiência total dos modelos em CA e CC

	CA	CC	$\Delta_{MIN}$	$\Delta_{MAX}$
Instalação convencional	68,0% - 75,0%	81,7% - 85,5%	6,7%	17,5%
Instalação <i>grid tie</i>	57,5% - 73,5%	83,9% - 89,6%	10,4%	32,1%
Instalação <i>off grid</i>	58,2% - 66,9%	80,8% - 88,2%	13,9%	30%

Fonte: Autor

Conclui-se que as instalações em CC tendem a possuir menos perdas energéticas que a em CA. Isso se deve ao fato da alta eficiência dos conversores CC-CC e do retificador principal CA-CC em relação a eficiência dos retificadores CA-CC de menor potência. Nos casos em que são utilizados painéis solares houve uma grande vantagem do sistema CC em relação ao sistema CA, em razão das eficiências do MPPT que é um conversor CC-CC de alta eficiência em relação ao inversor. A combinação de equipamentos de baixa eficiência faz com que o sistema tenha grandes perdas de energia, como o pior cenário da instalação *grid tie* em CA com eficiência de apenas 57,5%. O sistema CC *off grid* em comparação com o *grid tie* apresentou poucas diferenças, sendo o *off grid* menos eficiente devido aos controladores de carga serem ligeiramente menos eficientes que os MPPTs. Já em CA, no sistema *off-grid*, é necessário uma etapa a mais o que faz com que a eficiência caia em relação ao *grid tie*. No caso do pior cenário, o *off-grid* apresentou resultado ligeiramente maior, pois a eficiência do inversor *off grid* foi considerado 91% em relação a 84,5% do inversor convencional, contudo no melhor cenário o *grid tie* tem uma grande vantagem, uma vez que um inversor de alto desempenho passa a ter 98% de eficiência e o *off-grid* foi considerado com o mesmo valor, mais a eficiência do controlador de carga.

O desempenho do sistema CC pode ser ainda maior se for considerado que o retificador principal e os componentes de energia renovável (MPPT e controlador de carga) tiverem tensão de saída de 24 V diretamente, sendo desnecessário a etapa de conversão de CC-CC. A empresa *Nextek Power Systems* (2016), apresenta conversores registrados pela *EMerge Alliance* de 1600 W com saída de 24 V e eficiência de 94,3% alimentado em CA ou eficiência de 96,3% se alimentado por 380 VCC. Todavia, é mais provável que o sistema em CC seja montado com

380 V / 24 V devido as cargas maiores e menores quedas de tensão ao percorrer longas distâncias.

Esta é uma simples análise para observar as tendências e como as eficiências de cada componente se comportam nos diferentes sistemas. Uma análise mais rigorosa deve ser feita levando em consideração o fator de potência nos sistemas CA, e no retificador central do sistema CC. Deve ser acompanhada de um estudo dos harmônicos gerados e a perda de eficiência causada. Ambos os fatores são grandes desvantagens ao circuito CA. Deve ser calculado com diferentes cargas, CC de baixa tensão, CC de alta tensão e cargas CA, com variação de suas quantidades. Um sistema CC com muitas cargas em CA não será eficiente. Deve ser criado perfis diferentes para geração de energia renovável, no caso foi considerado 100% de energia renovável e não foi utilizado energia elétrica da concessionária, uma variação dessa proporção modifica os cálculos de eficiência e também modifica a eficiência de inversores, MPPTs e controladores de carga. Outro fator importante é criar perfis diferentes para as cargas, foi considerado que o retificador central opera na sua potência nominal, uma variação nas cargas em operação muda drasticamente a potência demandada do retificador o que causa uma menor eficiência de operação, sendo essencial num sistema CC, observar a curva de eficiência ao se escolher um retificador principal.

### 3.7.2 Preço

Os componentes descritos neste capítulo são cruciais para a instalação CA ou CC. O preço inicial de cada componente deve ser avaliado, assim como a eficiência e o preço cobrado pela concessionária pelo consumo elétrico. Assim, pode-se calcular o tempo de retorno do investimento num retificador central e da instalação dos painéis solares. Os fabricantes de diversos produtos que atualmente necessitam de fontes de alimentação externa ou interna conseguirão reduzir os seus custos por não precisarem mais incluir este componente, ao considerar que as casas e comércios serão instaladas em CC. A redução do preço dos produtos pode ser estimada com o preço da fonte interna/externa utilizada, e reduções ainda maiores podem ocorrer com redução de custos indiretos, como preço do transporte, custos de testes de qualidade e desenvolvimento, custo de departamentos envolvidos com as fontes de alimentação.

De acordo com Garbesi, Vossos e Shen (2011), os inversores *grid tie* e *off-grid* custam por volta de 0,8 dólares por Watt (0,8 US\$/W), porém os *off grid* ainda deverão ser acrescentados do custo das baterias e dos controladores de carga. É esperado que os MPPTs sejam consideravelmente mais baratos que inversores e os controladores de carga em razão de

usarem poucos componentes. Os conversores CC-CC deverão custar menos que fontes de alimentação, por não precisarem retificar, seus componentes eletrônicos são mais simples. Para Backhaus et al. (2015), consideram um retificador CA-CC (100kW) com custo de 0,41 US\$/W e um conversor CC-CC (10 kW) com o custo de 0,35 US\$/W, consideram que em grandes quantidades os mesmos valores também se aplicam a componentes de menor potência.

## 4 SEGURANÇA, DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E ATERRAMENTO

### 4.1 INTRODUÇÃO

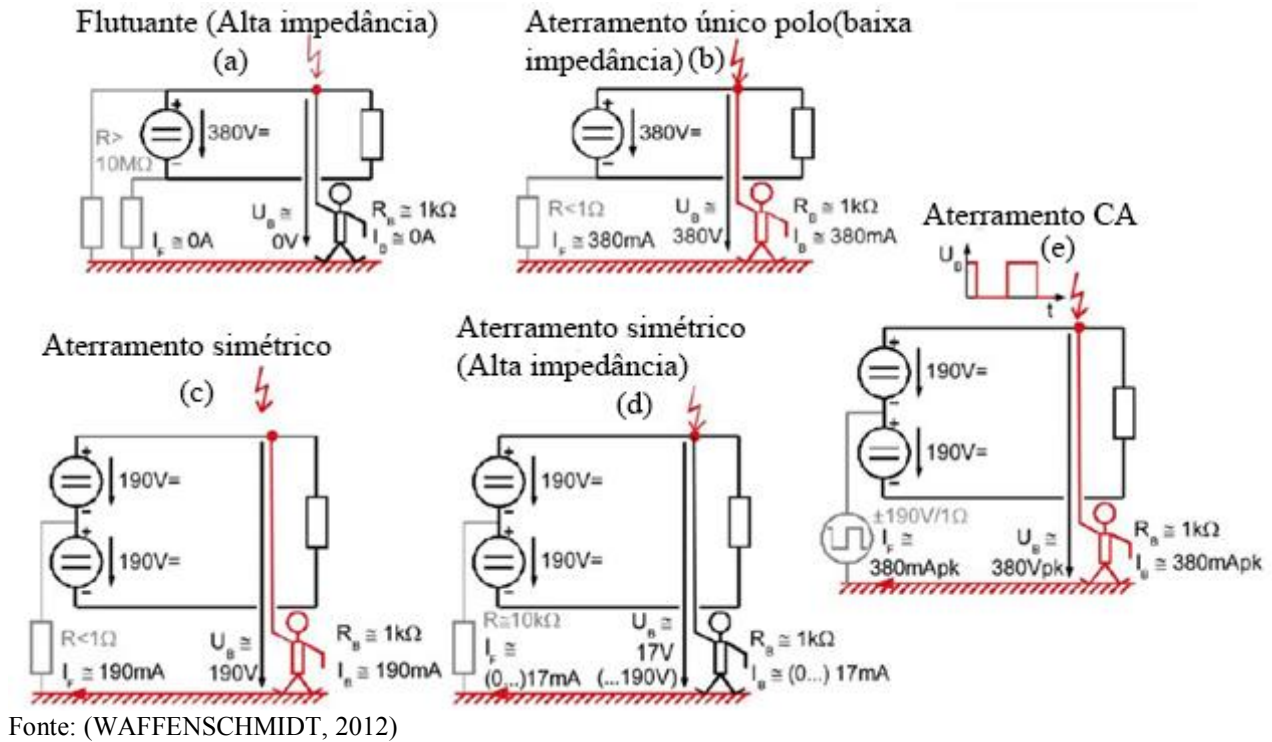
Este capítulo trata das diferenças existentes entre as correntes CA e CC no quesito proteção contra incêndios, proteção de cargas e a segurança da vida humana. Quando se trata de extra baixa tensão 12 V / 24 V / 48 V em CC os riscos são menores e é considerado seguro contra incêndios ou choques elétricos. Ideal para instalações residenciais e comerciais. Ao se tratar de alta tensão deve-se atentar aos variados dispositivos de proteção e modos de aterramento de cada corrente. Entretanto, mesmo existindo diferenças é considerado que o fator de segurança e proteção não causam vantagens significativas para microrredes CC ou CA (BACKHAUS et al., 2015). Esta conclusão desconsidera os elevados preços de dispositivos de proteção CC, devido a procura no mercado ser muito inferior que a CA.

### 4.2 ATERRAMENTO

Aterramento no caso da utilização de tensões de 12 V / 24 V / 48 V em corrente contínua faz-se desnecessários segundo a norma técnica NBR5410:2004, uma vez que é considerada como SELV e não apresenta riscos à saúde em caso de contato direto com partes energizadas. Nada impede que o circuito seja aterrado, sendo considerado pela norma como *protected extra low voltage* PELV, todavia, não são grandes e visíveis os benefícios de um aterramento neste caso.

Por outro lado, para circuitos com tensão mais alta como a de 380 VCC é de grande importância um aterramento para a segurança de máquinas e das pessoas em caso de contato. Como este aterramento deve ser realizado é uma questão a ser estudada para entender os benefícios e possíveis riscos de cada modo. A Figura 4.1 mostra os tipos possíveis de aterramento para um sistema de alta tensão em corrente continua e as medidas de proteção necessárias.

Figura 4.1 – Diferentes topologias de aterramento



Na situação em que é usado uma alimentação de 380 VCC, tem-se a solução de aterramento flutuante, Figura 4.1 (a), onde as partes do sistema são isoladas fisicamente da terra ou aterradas por uma alta impedância. Esta solução não gera risco a integridade física da pessoa que entrar em contato com o circuito uma vez que a corrente que circulará será próxima de zero. Outra solução seria o aterramento de um dos polos através de um cabo (baixa impedância) para terra, Figura 4.1 (b). Contudo, essa maneira considerando o corpo humano como 1 kΩ pode gerar correntes de até 380 mA, suficiente para levar a morte ou causar danos ao corpo (LED PROFESSIONAL, 2016).

Para sistemas de 3 condutores, um neutro, um positivo 190 VCC e negativo 190 VCC há três topologias diferentes. Um aterramento de forma CA, Figura 4.1 (e), que poderá gerar picos de corrente de até 380 mA, com risco a vida. Um aterramento simétrico de baixa impedância entre os polos positivo e negativo, Figura 4.1 (c), o condutor de proteção (PE) ligado a terra não é aconselhável que seja o mesmo condutor de neutro, pois a confiabilidade do sistema dependerá da integridade do neutro. Este método gera uma corrente máxima de 190 mA sobre o corpo humano, metade da corrente anterior, mas ainda considerada letal e com alta probabilidade de contração involuntária dos músculos, dificuldades respiratórias e dor severa. Um sistema simétrico aterrado por alta impedância em contrapartida limita a corrente a

aproximadamente 17 mA, que em corrente contínua não gera riscos à integridade física da pessoa, Figura 4.1 (d) (LED PROFESSIONAL, 2016).

Outras vantagens podem ser analisadas a partir da escolha do aterramento. Um sistema de aterramento de alta impedância tende a ter menos corrente de modo comum, o que diminui interferências eletromagnéticas, importante em casos de telecomunicações e data centers. Assim em cada aplicação de aterramento é necessário analisar o projeto em relação a aplicação final, os custos agregados e entender os riscos envolvidos para a escolha do melhor sistema.

### 4.3 ARCO VOLTAÍCO

O arco voltaico (ou elétrico) ocorre quando há passagem de uma corrente elétrica por um meio isolante como o ar. O arco voltaico é caracterizado pela rapidez e intenso calor gerado, causando, incêndios, explosões de equipamentos, queimaduras, danos físicos, auditivos, respiratórios e até ao óbito da pessoa ou animal que for atingido. A ocorrência do arco é causada por falhas em equipamentos, questões climáticas como chuvas e vendavais, animais que se refugiam em painéis elétricos e ações humanas.

A aproximação de objetos condutores como metal a uma rede energizada pode gerar um arco, neste sentido a perigo no momento de conexão de equipamentos na tomada. Um circuito CC tem mais propensão a criar arco voltaico quando sua corrente é interrompida, além disso, o arco causa geração de subprodutos e depósito de carbono na estrutura da tomada. Esses subprodutos podem facilitar a circulação da corrente na tomada gerando choque elétrico em partes supostamente isoladas e aumentar a distância em que podem ocorrer os arcos (JOHNSON, 2012). Recentemente surgiu no mercado tomada e conectores específicos para CC em busca de evitar esses problemas. As tomadas e conectores CC são voltados normalmente ao mercado de data centers, carros elétricos, inversores e conversores CC-CC, ainda é necessário expandir esse mercado para o uso residencial, comercial (escritórios), e principalmente criar uma padronização brasileira sobre os modelos de tomada e conectores.

Segundo Johnson (2012), um arco em circuito CC tem seu tempo mais prolongado pela dificuldade de dissipação em razão de não ter intervalos com corrente zero como ocorre em CA. Há maior possibilidade de ocorrer arcos em série ou paralelo em caso de condutores danificados, que uma vez iniciados podem produzir incêndios rapidamente. Devem ser usados em equipamentos de distribuição de eletricidade, limitadores de corrente e componentes de detecção de arco para evitar este risco.

## 4.4 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

### 4.4.1 Fusíveis

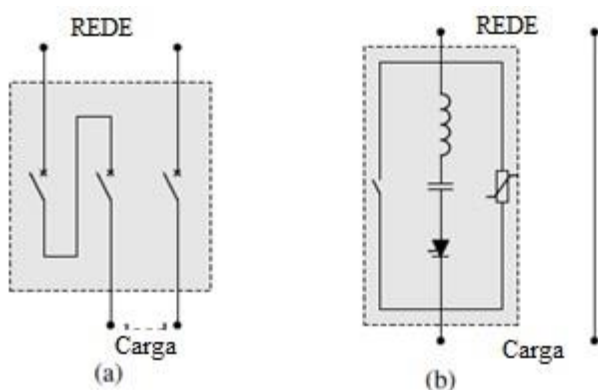
Os fusíveis e disjuntores são componentes que possibilitam a abertura do circuito em caso de falha de curto-circuito ou sobrecorrente, assim atuando na prevenção de incêndios e proteção das cargas. Alguns modelos são designados para o uso especialmente em CC, mas outros podem ser aplicados a ambos os tipos de corrente (SALOMONSSON, 2008).

Os fusíveis possuem um filamento de metal no seu interior envolvido por uma estrutura de cerâmica. Quando a corrente circulante supera a corrente nominal do fusível, o metal se rompe devido ao aquecimento pelo efeito Joule. No sistema CA o arco é facilmente desfeito devido ao intervalo com corrente em zero. Já em CC os dispositivos são mais sofisticados e necessitam de um sistema de resfriamento ou distanciamento dos polos para interromper o arco. As especificações nominais de ambos os tipos de fusíveis podem ser a mesma, mas normalmente os fusíveis CC possuem tensões nominais mais baixas de operação, é importante verificar a especificação com o fabricante (SALOMONSSON, 2008).

### 4.4.2 Disjuntores

Um disjuntor funciona de maneira similar a um fusível, ao ser acionado os seus contatos se abrem criando assim um arco. Um campo magnético é gerado obrigando o arco a seguir um caminho maior e se dividir em arcos menores. Com o aumento da resistência de isolamento o circuito não tem tensão suficiente para vencer a rigidez dielétrica e manter fluxo de corrente. Os disjuntores trifásicos CA quando seus contatos estão conectados em série aumentam a distância dos contatos, conseqüentemente aumentam a rigidez dielétrica facilitando a extinção do arco voltaico em circuitos CC. Usar um campo magnético para aumentar a distância diminui o tamanho do equipamento, porém a um custo mais elevado. Outra possibilidade de interromper um curto em CC é usar um disjuntor com um circuito ressonante. O circuito ressonante cria uma tensão zero, quando o disjuntor abrir não ocorre o arco. A Figura 4.2 mostra o circuito dos dois diferentes tipos de disjuntor (NILSSON, 2005).

Figura 4.2 – Disjuntores para CC: (a) Disjuntor trifásico (b) Disjuntor com circuito ressonante



Fonte: (NILSSON, 2005)

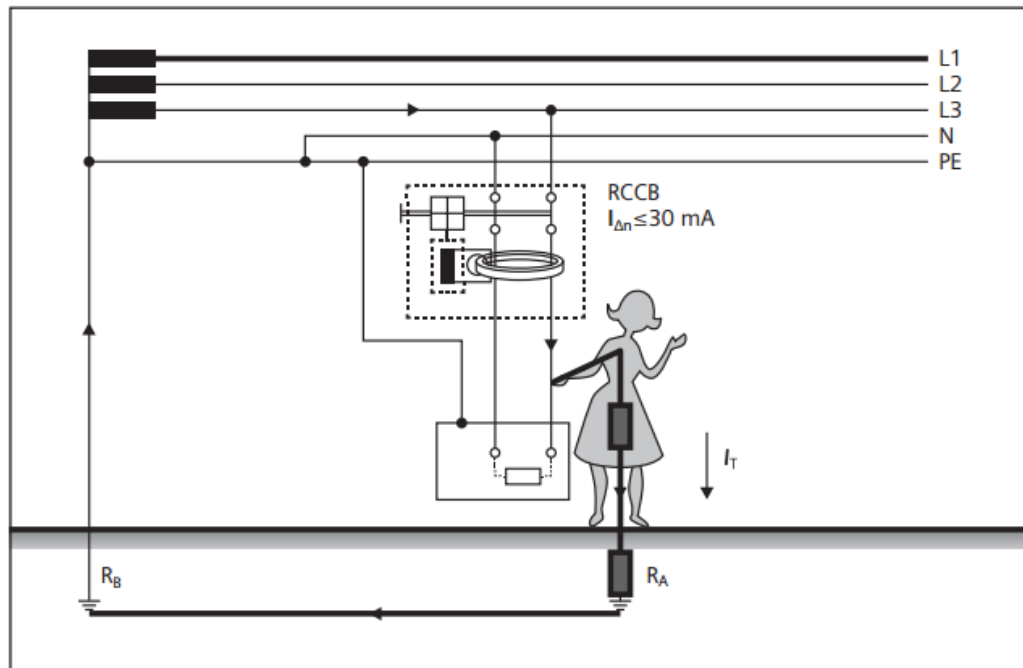
Um disjuntor eletrônico CC apresenta resposta rápida e sem o surgimento de arcos. Além disso, pode integrar outras funcionalidades, como limitador de corrente, suportar e reduzir correntes de *in rush*. Também atuam em limites de sobrecargas menores sem falhas, já que são mais toleráveis a picos de corrente. Um aspecto desvantajoso é a grande perda de energia em seus componentes internos. Um disjuntor híbrido possui uma parte eletrônica que assume quando há início de sobrecorrente ou a diferença de tensão é excedida. Esta faz os arcos se extinguirem. Após o controle, a parte eletrônica é desativada e um contato mecânico é aberto proporcionando uma isolamento física. Este sistema é mais confiável, porém mais caro (LED PROFESSIONAL, 2016).

#### 4.4.3 Dispositivo de corrente diferencial-residual (DR)

O dispositivo de corrente de fuga ou de proteção a corrente diferencial-residual (DR) é um dispositivo que atua em casos de fuga de corrente para a terra. Diferente de um disjuntor ou fusível que protege o sistema elétrico e as cargas, o DR não irá atuar em caso de sobrecorrente ou curto-circuito que não implique fuga de corrente a terra. O DR é utilizado para proteção de pessoas e evitar incêndios. Segundo a NBR 5410:2004 seu uso é obrigatório em circuitos de banheiros, tomadas de áreas externas, cozinhas, lavanderias, garagens, equipamentos situados próximos a piscinas e locais internos sujeitos a circulação de água. Os locais de estocagem ou processo de materiais inflamáveis também são obrigatórios sua utilização (ABNT, 2004).

O funcionamento do DR ocorre quando há contato do corpo humano em partes energizadas da linha, contato direto, de acordo com Figura 4.3, ou por contato indireto ao tocar um corpo condutor de eletricidade energizado (carcaça de um equipamento).










Figura 4.3 – Contato direto a linha energizada



Fonte: (SIEMENS, 2010)

Quando qualquer um dos casos ocorrerem, um sensor magnético contendo uma toroide que envolve os condutores detecta uma diferença na soma algébrica das correntes, que deveria ser zero, por causa da fuga de corrente para a terra. A atuação na maioria dos dispositivos se dá quando a corrente residual ( $I_{\Delta n}$ ) chega a 30 mA, corrente considerada segura para vida, porém não impede a sensação do choque elétrico antes de desarmar o DR (SCHONEK, 2006). Os aspectos construtivos de um DR em CA e outro em CC são diferentes, os tipos mais comuns usados nas residências, comércios e indústrias é o tipo AC, que somente detecta corrente alternada. O tipo necessário para instalações em CC é o tipo B que detecta corrente alternada, continua pulsante e continua pura, conforme indica a Figura 4.4

Figura 4.4 – Tipos de DR, correntes aceitas e corrente de acionamento

Formas de corrente	Funcionamento do dispositivo DR de acordo com o seu tipo				Corrente de disparo
	AC	A	F	B	
					0,5 até 1,0 I <sub>Δn</sub>
	-				0,35 até 1,4 I <sub>Δn</sub>
	-				ângulo de atraso de corrente 90 0,25 até 1,4 I <sub>Δn</sub>
	-				ângulo de atraso de corrente 135 0,11 até 1,4 I <sub>Δn</sub>
	-				max. 1,4 I <sub>Δn</sub> + 6 mA
	-	-			max. 1,4 I <sub>Δn</sub> + 10 mA
	-	-			0,5 até 1,4 I <sub>Δn</sub>
	-	-	-		0,5 até 2,0 I <sub>Δn</sub>
	-	-	-		Frequência de corrente 150 Hz 0,5 até 2,4 I <sub>Δn</sub>
	-	-	-		Frequência de corrente 400 Hz 0,5 até 6 I <sub>Δn</sub>
	-	-	-		Frequência de corrente 1000 Hz 0,5 até 14 I <sub>Δn</sub>

Fonte: (ABB, 2013)

#### 4.5 SEGURANÇA PESSOAL

A corrente contínua circulante no corpo humano necessita ser entre duas a quatro vezes maior que o valor da alternada para produzir o mesmo efeito. Os efeitos e as correntes necessárias são descritos na Figura 4.5

Figura 4.5 – Influência da corrente elétrica no corpo humano

## INFLUÊNCIA DA CORRENTE

I (m A)		REAÇÃO FISIOLÓGICA	CONSEQUÊNCIA	SALVAMENTO	RESULTADO FINAL MAIS PROVÁVEL
C.A.	C.C.				
ATE 25	ATE 80	1 mA (C.A)-Limiar da sensação/sens. de formigamento 5-15 mA(C.A)-Contração muscular 15-25 mA(C.A)-Contr.Violenta Impossib. de soltar o eletrodo. Prob. Respiratório	Se a corrente for próxima 25 mA --- pode haver Asfixia e conseq. Morte Aparente.	RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL	RESTABELECIMENTO
25-80	80-300	- Sensação Insuportável - Contrações Violentas - Asfixia	MORTE APARENTE	RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL	RESTABELECIMENTO
>80	>300	- Asfixia Imediata - Fibrilação Ventric. - Alteração Musculares (Químicas). - Queimaduras	MORTE APARENTE	- RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL - MASSAGEM CARDÍACA	CASO LEVADO AO HOSP. E FEITO A DESFIBRILAÇÃO -- RESTABELECIMENTO
CORRENTE DA ORDEM DE AMPÈRES		- Queimaduras (Efeito Térmico). - Necrose dos tecidos - Fibrilação Vêntric. - Asfixia Imediata - Danos Posteriores Resultado do Produto da Eletrolise	- MORTE APARENTE - DEPENDENDO DA EXTENSÃO DAS QUEIMADURAS, SE QUELAS OU MORTE	- RESPIRAÇÃO ARTIFICIAL - MASSAGEM CARDÍACA - TRATAMENTO HOSPITALAR	- HOSPITAL - DESFIBRILAÇÃO - RECUPERAÇÃO DIFÍCIL - ATROFIA MUSCULAR - OUTROS DANOS

Fonte: (LIMA, 2012)

Em corrente alternada, a intensidade da corrente necessária para causar a percepção e os riscos variam de acordo com a frequência. As correntes com frequência entre 20 Hz e 100 Hz, especialmente a usada no sistema brasileiro de 60 Hz, apresentam os maiores perigos à saúde com maior possibilidade de ocorrer fibrilações ventriculares, dor severa e contração muscular involuntária. A partir de 2000 Hz a corrente passa a circular na parte externa do corpo humano evitando danos aos órgãos internos, porém com capacidade de gerar queimaduras na pele (SENAI-SP, 2015)

Independente de qual corrente elétrica é mais perigosa qualquer uma das duas podem oferecer riscos à saúde e devem ser evitadas o contato direto principalmente na utilização de alta tensão. As instalações elétricas em CC até 1500 V deve seguir a norma NBR 5410 para segurança de pessoas e equipamentos, e para seu bom funcionamento. Qualquer manuseio com eletricidade acima de 50 V em CA ou superior a 120 V em CC deve ser feito por profissional habilitado e com curso da NR10.

## 5 APLICAÇÃO RESIDENCIAL

Neste capítulo, foi desenvolvido um comparativo simplificado entre os circuitos CA e CC com base nos conceitos explorados neste estudo. A comparação foi feita com uma casa residencial padrão onde seus diversos eletroeletrônicos foram listados e o consumo de energia elétrica total necessária calculado com base na eficiência dos diferentes circuitos. Primeiramente, foi calculado num sistema convencional com utilização da rede elétrica da concessionária em dois diferentes casos: com equipamentos típicos encontrados atualmente nas residências e a outra com os modernos e possíveis produtos CC apresentados neste estudo. Posteriormente, foi utilizado um sistema através da energia solar e baterias para alguns eletrodomésticos, uma vez que o dimensionamento para a casa inteira deixaria o sistema com custo inviável como é apresentado.

A Tabela 5.1, reúne os principais equipamentos que foram utilizados na análise, assim como o consumo médio mensal dado em kWh, baseado nos dados da PROCEL (2006). Já a Tabela 5.2 apresenta os produtos CC mais eficientes substitutos dos equipamentos CA.

Tabela 5.1 – Equipamentos eletroeletrônicos utilizados e o consumo médio mensal

(continua)				
Cômodo	Equipamento eletroeletrônicos	Modelo Interno	Quantidade	Consumo médio mensal (kWh)
Sala	TV LED 42"	CC	1	30,00
	DVD	CC	1	0,45
	Home Theater	CC	1	10,50
	Videogame	CC	1	1,44
	Ventilador de teto	CA	1	18,00
	Lâmpada LED de teto	CC	1	1,80
Cozinha	Geladeira / Freezer ~440 L	CA	1	39,60
	Micro-ondas	CA	1	14,00
	Máquina de café	CC	1	8,00
	Torradeira	Resistivo	1	4,00
	Lâmpada LED de teto	CC	1	1,80
Área de Serviço	Máquina de Lavar Roupa	CA	1	1,80
	Ferro	Resistivo	1	12,00
	Lâmpada LED de teto	CC	1	1,80
Garagem	Lâmpada LED de teto	CC	2	3,60
Escritório	Computador	CC	1	18,00
	Monitor 23" LCD	CC	1	8,16
	Impressora	CC	1	0,45
	Modem de internet	CC	1	5,76
	Telefone	CC	1	2,16
Banheiro	Chuveiro elétrico	Resistivo	1	88,00

					(conclusão)
Cômodo	Equipamento eletroeletrônicos	Modelo Interno	Quantidade	Consumo médio mensal (kWh)	
Quarto	Lâmpada LED de teto / espelho	CC	2	3,60	
	Notebook	CC	1	12,00	
	Lâmpada LED de teto / abajur	CC	2	3,60	
	TV 32"	CC	1	14,25	
	Aparelho de Som	CC	1	6,60	
	Ar Condicionado 9000 BTU	CA	1	195,00	
	Carregador de Celular	CC	1	0,15	
<b>TOTAL</b>				<b>506,52</b>	

Fonte: Autor

Tabela 5.2 – Produtos residenciais em suas versões CC mais eficientes

Equipamentos CA	Equipamento CC	Economia de energia	Consumo médio mensal (kWh)
Ventilador de teto <sup>1</sup>	Motor BLDC	66,6%	6,00
Geladeira/ Freezer ~440 L <sup>1</sup>	Inversor de Frequência / Motor BLDC	24,5%	29,90
Máquina de Lavar Roupa <sup>2</sup>	Motor BLDC	30,0%	1,26
Chuveiro elétrico <sup>2</sup>	Bomba de Calor com inversor de frequência / motor BLDC	50,0%	44,00
Micro-ondas <sup>2</sup>	Versão CC	-	14,00
Ar Condicionado 9000 BTU <sup>1</sup>	Inversor de Frequência / Motor BLDC	31,0%	134,40
<b>TOTAL</b>			<b>229,56</b>

Fonte: Autor

## 5.1 INSTALAÇÃO DE SISTEMA CA E CC SEM ENERGIA RENOVÁVEL

Para o cálculo realizado na Tabela 5.3 e Tabela 5.4, não foi considerado a perda de energia elétrica nos cabos. Foi considerado que o consumo médio descrito na Tabela 5.1 e Tabela 5.2 não incluem as perdas de conversão quando o produto é internamente CC. Para as cargas CC com potência elevada da Tabela 5.2, com exceção do ventilador (25 W), é utilizado fator de conversão CA-CC de 80% conforme Figura 3.9 para instalação CA, já para instalação em CC é usado 95% do retificador central, uma vez que alimentação é de 380 V. Os dados das equações analisadas na seção 3.7 foram utilizados para calcular as perdas de energia em cada sistema e assim seu consumo total. Foram utilizados os valores de maior eficiência encontrado. Para o

<sup>1</sup> Dados retirados dos produtos apresentados no capítulo 3

<sup>2</sup> Dados retirados segundo pesquisa Garbesi, Vossos e Shen (2011)

caso de produtos CA em uma instalação CC 380 V / 24 V deve ter novamente uma conversão CC-CA, a eficiência total ( $\eta_{CC2}$ ) de 85,5% dado pela equação (8)

$$\eta_{CC2} = \eta_{CA-CC(CENTRAL)} \times \eta_{CC-CA} = 0,95 \times 0,9 = 0,855 \quad (8)$$

Tabela 5.3 – Perdas energéticas no sistema CA e sistema CC (380 V / 24 V) com cargas tradicionais

Equipamentos por categoria	Consumo mensal (kWh)	Eficiência CA ( $\eta_{CA-CC}$ )	Perda CA (kWh)	Eficiência CC ( $\eta_{CC}$ )	Perda CC (kWh)
CC	134,12	75%	44,70	85,5%	22,74
CA	268,40	100%	-	85,5%	45,52
Resistivo	104,00	100%	-	95%	5,50
Total	506,52		44,70		73,76

Fonte: Autor

Tabela 5.4 – Perdas energéticas no sistema CA e sistema CC (380 V / 24 V) com cargas equivalentes em CC

Equipamentos por categoria	Consumo mensal (kWh)	Eficiência CA ( $\eta_{CA-CC}$ )	Perda CA (kWh)	Eficiência CC ( $\eta_{CC}$ )	Perda CC (kWh)
CC	140,12	75%	46,70	85,5%	23,76
CC alta potência	223,56	80%	55,89	95%	11,76
Resistivo	16,00	100%	-	95%	0,84
Total	379,68		102,59		36,36

Fonte: Autor

Nota-se da Tabela 5.3 que o consumo mensal total da casa somado as perdas de conversão foi 551,22 kWh para a instalação CA e 580,28 kWh para instalação CC, um acréscimo de 5,27%. Isso ocorre pois grande parte do consumo total é dado por equipamentos em CA de alta potência (motores de indução), praticamente o dobro do consumo dos equipamentos em CC, apesar da proporção de 5 equipamentos internamente CA para 20 internamente CC. No circuito CC também há uma pequena perda com equipamentos resistivos que irá ocorrer no retificador central.

Na Tabela 5.4, o sistema em CC obteve melhores resultados com consumo mensal mais perdas de conversão de 416,04 kWh e o sistema CA com 482,27 kWh, uma redução de 13,73% na comparação entre as correntes. Em razão, agora, da maior parte do consumo elétrico ocorrer por equipamentos CC mais eficientes que proporcionaram uma redução de 126,84 kWh (25%) no consumo mensal comparado a cargas convencionais, descontando as perdas de conversão.

Entretanto, esses eletroeletrônicos não são comuns no mercado, são mais caros e muitos ainda estão em fase de desenvolvimento.

### 5.1.1 Consumo de energia em sistema híbrido

No intuito de se obter um sistema com uma eficiência mais alta no cenário atual com cargas tradicionais foi elaborado a Tabela 5.5 que representa um sistema híbrido com alimentação em CA tradicional e 24 V em CC. Devido a potência total necessária para componentes CC de baixa tensão ser menor, de acordo com Figura 3.9, o retificador central teria eficiência de 85%, mas foi utilizado 90%, já que retificadores de mesma potência e alto desempenho podem ser encontrados no mercado.

Tabela 5.5 – Sistema híbrido CA e 24 V em CC com equipamentos tradicionais

Equipamentos por categoria	Consumo mensal (kWh)	Eficiência CA ( $\eta_{CA-CC}$ )	Perda CA (kWh)	Eficiência CC ( $\eta_{CC}$ )	Perda CC (kWh)
CC	134,12	-	-	90%	14,90
CA	268,40	100%	-	-	-
Resistivo	104,00	100%	-	-	-
Total	506,52				14,90

Fonte: Autor

O sistema apresenta somente a perda de conversão no retificador central para eletrônicos de baixa tensão. Com consumo total de 521,42 kWh, o sistema é 5,4% mais eficiente que o sistema CA com cargas tradicionais. Todavia, uma distribuição em 24 V pela residência ocasiona um dimensionamento maior da seção dos condutores. Segundo Creder (2007), o dimensionamento do condutor utilizando o método da queda de tensão se dá pela equação (9).

$$S = 2 \times \rho \times \frac{1}{e \times V^2} \times (P_1 l_1 + P_2 l_2 \dots) \quad (9)$$

Sendo:

$S$  (mm<sup>2</sup>) = seção do condutor

$P$  (W) = potência consumida

$\rho$  ( $\frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}$ ) = resistividade do condutor – cobre =  $\frac{1}{58} \frac{\Omega \times \text{mm}^2}{\text{m}}$

$l$  (m) = comprimento

$e$  = queda de tensão – considerada 0,03

V = Tensão do sistema

Portanto, para um circuito de 24 V com 1000 W de 10 metros de distância obtém-se:

$$S = \frac{2 \times 1000 \times 10}{0,03 \times 58 \times 24^2} = 19,95 \text{ mm}^2$$

Para 127 V:

$$S = \frac{2 \times 1000 \times 10}{0,03 \times 58 \times 127^2} = 0,71 \text{ mm}^2$$

A seção do condutor para 24 V foi de 19,95 mm<sup>2</sup> sendo a seção comercial mais próxima de 25 mm<sup>2</sup>, muito superior à seção em circuitos CA de 127 V que utilizam condutores de 1,5 mm<sup>2</sup> para iluminação e 2,5 mm<sup>2</sup> para tomadas de uso geral. O preço de cabos com seção de 25 mm<sup>2</sup> é em média R\$ 25 / m e os cabos com seção de 1,5 mm<sup>2</sup> de R\$ 0,67 / m e os de 2,5 mm<sup>2</sup> de R\$ 0,89 / m (C&C, 2016).

O retificador de 1600 W da empresa *Nextek Power System* (2016) possui 16 saídas, limitado em 100 W por circuito, suficiente para alimentação de 10 lâmpadas LED. Desta maneira conseguem reduzir o tamanho da seção dos cabos. A empresa utiliza a norma americana para seção dos condutores, o *American Wire Gauge* (AWG), e aconselha o uso de condutores da classe 10 AWG para distâncias até 17 metros e 12 AWG para distâncias de 10 metros. A seção de 10 AWG é equivalente a 5,26 mm<sup>2</sup>, para norma brasileira seria 6 mm<sup>2</sup> com custo de R\$ 2,69 / m e a seção 12 AWG equivalente a 3,3 mm<sup>2</sup>, para norma brasileira seria 4 mm<sup>2</sup> com custo de R\$ 1,79 / m. Apesar das seções dos cabos serem reduzidas, mais cabos serão necessários para atender a demanda da residência.

Segundo a NBR 5410 em locais de habitação, pontos de iluminação e tomadas de uso geral não podem ter corrente de projeto superior a 16 A. Isso significa que no caso apresentado com 1000 W, não poderia ocorrer num único circuito, uma vez que a corrente seria 41,6 A. Para a tensão de 24 V, desta maneira fica limitado as divisões dos circuitos em 384 W.

Então, para a instalação de um sistema híbrido com 24 V é importante a localização do retificador central para este não ficar longe das cargas CC principais. O custo da instalação envolvendo os cabos e eletrodutos se tornam significativos, o que ocorre um aumento do tempo de retorno do capital investido, deve ser feita uma avaliação se a construção suporta maiores

quantidades e seções maiores dos cabos, e uma análise da potência total das cargas deve ser feita para não ultrapassar 16 A na instalação.

## 5.2 INSTALAÇÃO DE SISTEMA CA E CC COM ENERGIAS RENOVÁVEIS

A Tabela 5.6 apresenta os equipamentos considerados nesta análise e suas potências assim como o consumo diário.

Tabela 5.6 – Equipamentos selecionados para análise com energia solar

Equipamento eletroeletrônicos	Modelo	Consumo médio mensal (kWh)	Potência (W)
TV LED 42"	CC	30	200
Videogame	CC	1,44	24
Ventilador de teto	CA	18	75
Lâmpada LED de teto (6)	CC	10,8	60
Geladeira / Freezer ~440 L	CA	39,6	100
Computador	CC	18	75
Monitor 23" LCD	CC	8,16	34
Modem de internet	CC	5,76	8
Telefone	CC	2,16	3
Notebook	CC	12	50
Carregador de Celular	CC	0,15	5
<b>TOTAL</b>		<b>146,07</b>	<b>634</b>

Fonte: Autor

Primeiramente, é necessário calcular o consumo diário em cada sistema. É utilizado o valor do consumo mensal corrigido com as eficiências de cada sistema dividido pelo total de dias igual a 30. Para ambos os sistemas é assumido uma perda de 3% em cabos, portanto  $\eta_{\text{CABO}} = 97\%$ . O sistema CC é de 24 V então só tem perdas do controlador de carga e cabos para cargas CC. E para cargas CA tem perdas do controlador, cabos e do inversor *off-grid* (eficiência na seção 3.7). O sistema CA tem toda sua carga através do inversor *off-grid* e controlador, desta forma com as cargas CC é utilizado a equação (6), vezes a eficiência dos cabos. A Tabela 5.7 mostra o consumo total de cada sistema.

Tabela 5.7 – Consumo mensal e diário do sistema CA e CC

Equipamentos por categoria	Consumo mensal (kWh)	Eficiência CA	Consumo CA (kWh)	Eficiência CC	Consumo CC (kWh)
CC	88,47	65%	136,11	95%	93,12
CA	57,6	86,5%	66,59	86,5%	66,59
Total Mensal	146,07		202,7		159,71
Total Diário	4,87		6,76		5,32

Fonte: Autor

### 5.2.1 Dimensionamento do painel fotovoltaico

De acordo com Pinho e Galdino (2014), um dos métodos para dimensionar sistemas solares com bateria (*off-grid*) é o método do mês crítico. Para isso deve-se dimensionar o sistema para o mês com as piores condições ao sistema, maior consumo de energia e menor produção devido condições climáticas. Neste estudo, é considerado a energia elétrica calculada na Tabela 5.7, e para a irradiação solar é considerado a média anual do Vale do Paraíba informada pelo INPE (2006) de 5 kWh/m<sup>2</sup>. Então para o tempo de Horas de Sol Pleno (HSP) tem-se na equação (10):

$$HSP = \frac{E(\text{kWh/m}^2)}{G(\text{kW/m}^2)} \quad (10)$$

Em que:

E (kWh/m<sup>2</sup>) – Irradiação global incidente – 5 kWh/m<sup>2</sup>

G (kW/m<sup>2</sup>) – Irradiância de referência – 1 kW/m<sup>2</sup> (padrão)

Portanto, obtêm-se 5 HSP. A potência do painel fotovoltaico é obtida através da equação (11):

$$P_m = \frac{L}{HSP} \quad (11)$$

Em que:

L (kWh/dia) – Energia consumida diariamente pelo sistema CA ou CC

P<sub>m</sub> (kW) – Potência do conjunto fotovoltaico

Então, tem-se para sistema CA a necessidade de 1,35 kW e para CC 1,06 kW. É escolhido o painel CSI CS6P-265P da *Canadian Solar*. Este possui potência de 265 Wp, 30,6 Vm e 8,66 Im. Para saber a quantidade de painéis necessários utiliza-se a equação (12) e equação (13):

$$N_s > \frac{V_{\text{Sistema}}}{V_{\text{painel}}} \quad (12)$$

$$N_s > \frac{24 \text{ V}}{30,6 \text{ V}} = 0,78$$

Sendo:

$N_s$  – Número de painéis em série.

$$N_p = \frac{P_m}{N_s \times P_{\text{mod}}} \quad (13)$$

Sendo:

$N_p$  – Número de painéis em paralelo

$P_{\text{MOD}}$  – Potência de cada painel fotovoltaico

Sistema CA:

$$N_p = \frac{1350}{1 \times 265} \approx 5$$

Sistema CC:

$$N_p = \frac{1060}{1 \times 265} = 4$$

Tem-se para ambos os sistemas um único painel em série, suficiente para gerar 24 V. Já para atender a demanda de potência de cada sistema há diferença de um painel.

### 5.2.2 Dimensionamento do Banco de Baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias é necessário ter o consumo diário, o tempo que se deseja de autonomia (em dias) e a profundidade de descarga das baterias. Este último dado indica em termos percentuais quanto da capacidade nominal foi retirado a partir do estado

de plena carga. Normalmente é entre 20% e 40% para baterias de ciclo raso e 50% a 80% para de ciclo profundo (PINHO; GALDINO, 2014). A profundidade de descarga selecionada afeta diretamente o tempo de vida útil da bateria, sendo preferível dimensionar o banco de baterias para descargas menores. Com a equação (14) é possível saber a capacidade do banco de baterias em Ah (Ampere x Hora).

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{L \times N}{P_D \times V_{Sistema}} \quad (14)$$

Sendo:

$P_D$  (%) – Profundidade da descarga

$N$  (dias) – Autonomia do banco de baterias

$CBI_{C20}$  (Ah) – Capacidade do banco de baterias

$L$  (Wh/dia) – Energia consumida diariamente pelo sistema CA ou CC

O regime de descarga em 20 horas (C20) é comumente usado por fabricantes de bateria na especificação de sua capacidade e, portanto, é usado para o cálculo. É utilizado uma autonomia para oito horas (um terço do dia), suficiente para maioria das residências em que as pessoas têm o hábito de voltar entre 16h e 17h do trabalho e ficarem acordadas até as 24h. Dessa forma é possível carregar as baterias durante o dia e utilizar a energia solar armazenada no período noturno quando tem mais demanda de energia para lâmpadas e eletrodomésticos. Deve ficar claro que este sistema não é inteiramente *off-grid* e as cargas precisam ser conectadas a rede elétrica em caso de uma demanda maior do que a capacidade das baterias ou baixa produção de energia (dias nublados). É escolhido 20% de profundidade de descarga para maior tempo de vida das baterias. Então:

Sistema CA:

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{L}{P_D \times V_{Sistema}} \times N = \frac{6760}{0,2 \times 24} \times \frac{1}{3} = 469 \text{ Ah}$$

Sistema CC:

$$CBI_{C20}(Ah) = \frac{L}{P_D \times V_{Sistema}} \times N = \frac{5320}{0,2 \times 24} \times \frac{1}{3} = 369 \text{ Ah}$$

Conhecendo a capacidade total necessária é preciso calcular a quantidade de baterias a ser usada. As baterias tradicionais encontradas a venda no Brasil normalmente possuem 12 V, e os bancos de bateria são configurados em 12 V, 24 V ou 48 V. O sistema dimensionado é de 24 V, então, é preciso de 2 baterias em série de acordo com a equação (15). Para determinar quantas baterias em paralelo a equação (16) é usada. Para isso, é essencial escolher as baterias segundo sua capacidade em C20. Para o sistema CA é usado a bateria estacionária Freedom DF4001 220 Ah, 12 V e para o sistema CC a Freedom DF3000 170 Ah, 12 V.

$$N_{\text{Baterias Série}} = \frac{V_{\text{Sistema}}}{V_{\text{bateria}}} = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}} = 2 \quad (15)$$

$$N_{\text{Baterias Paralelo}} = \frac{CBI_{C20}}{CBI_{BAT}} \quad (16)$$

Sendo:

$CBI_{C20}$  – Capacidade total dos bancos de bateria calculado anteriormente

$CBI_{BAT}$  – Capacidade da bateria especificado pelo fabricante em regime C20

Então:

Sistema CA:

$$N_{\text{Baterias Paralelo}} = \frac{CBI_{C20}}{CBI_{BAT}} = \frac{469 \text{ Ah}}{220 \text{ Ah}} = 2,13 \approx 2$$

Sistema CC:

$$N_{\text{Baterias Paralelo}} = \frac{CBI_{C20}}{CBI_{BAT}} = \frac{369 \text{ Ah}}{170 \text{ Ah}} = 2,17 \approx 2$$

Desta forma, são usadas 4 baterias em cada sistema. Optou-se por manter 2 baterias em paralelo mesmo sendo o valor obtido nos cálculos um pouco maior, pois o custo de uma bateria a mais é significativo comparado com a perda de alguns minutos ao adotar 2 baterias.

### 5.2.3 Dimensionamento do controlador de carga MPPT, inversor e cabos

Para os controladores de carga MPPT é utilizado o Epsolar Tracer-4210A 40A 12/24V no sistema CC, já para o sistema CA que possui mais potência é necessário um com capacidade de 60 A, assim é escolhido o Controlador de Carga Solar SR 60 A. Foram escolhidos os equipamentos analisando no *datasheet* a potência máxima ( $P_m$ ) permitida na entrada. Para os inversores foram escolhidos conforme a potência total do sistema, não foi dimensionado com fator de demanda, uma vez que a potência é muito baixa. Para o CA foi escolhido o inversor *Off Grid* Hayonik (800W) 24Vcc/127Vca e para o sistema CC o Hayonik (400W) 24Vcc/127Vca

Os cabos podem ser determinados pela equação (9). Utilizou-se uma distância de 5 metros entre os painéis e o controlador de carga das baterias, dessa forma é possível usar 16 mm<sup>2</sup> com custo de R\$ 7,27 / m, no total de R\$ 72,70. Para as cargas na instalação CA, foi usado 2 circuitos de 10 metros de distância com cabos 2,5 mm<sup>2</sup>. E na instalação CC foi usado 3 circuitos de distância de 10 metros com cabos 4 mm<sup>2</sup>, e mais um circuito para geladeira e ventilador com cabo 2,5 mm<sup>2</sup>, 10 metros de distância.

### 5.2.4 Análise de custo

O custo de cada componente utilizado em ambas instalações é dado na Tabela 5.8. Através dela é possível calcular o tempo de retorno do investimento.

Tabela 5.8 – Custo dos componentes para instalação solar CC e CA

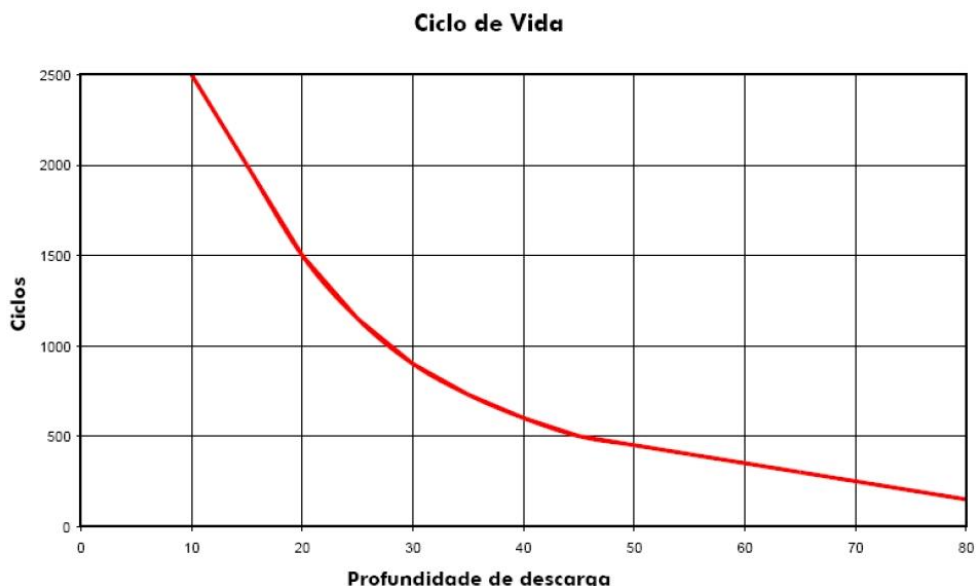
Equipamentos	Quantidade (CA)	Custo (R\$)(CA)	(continua)	
			Quantidade (CC)	Custo (R\$)(CC)
Painel Solar (CSI CS6P-265P)	5	4250,00	4	3400,00
Bateria Freedom DF3000 170 Ah	-	-	4	3840,00
Bateria Freedom DF4001 220 Ah	4	4760,00	-	-
Controlador de Carga Epsolar Tracer-4210A 40A 12/24V	-	-	1	989,00
Controlador de Carga Solar SR 60 A	1	2760,00	-	-

Equipamentos	Quantidade (CA)	Custo (R\$)(CA)	(conclusão)	
			Quantidade (CC)	Custo (R\$)(CC)
Inversor Off-Grid Hayonik (400W) 24Vcc/127Vca	-	-	1	268,00
Inversor Off-Grid Hayonik (800W) 24Vcc/127Vca	1	458,00	-	-
Cabos		108,30		197,9
Custo inicial total		12336,30		8694,90

Fonte: Autor

Além do custo inicial, é necessário saber o custo de manutenção deste sistema. Os equipamentos disponibilizados possuem expectativa de vida superior a 20 anos, desta forma não foi considerado custo de manutenção com exceção da bateria. A bateria, conforme Figura 5.1, especificada pelo fabricante tem vida útil pouco superior a 4 anos usando uma descarga de 20%. Logo, é necessária sua substituição a cada 4 anos.

Figura 5.1 – Ciclo de Vida das baterias Freedom DF



Fonte: (NEO SOLAR, 2016)

O custo da tarifa (verde) de energia é de 0,50057 R\$/kWh e devido ao consumo mensal total da casa em CA inicialmente simulada (551,22 kWh) tem-se a alíquota de 25% de ICMS e a taxa PINS+COFINS é estipulada em 5,63% (EDP, 2016). A equação (17) permite encontrar a economia anual ao deixar de utilizar os equipamentos selecionados para o teste. No sistema CA tradicional sem painel solar o consumo mensal dos equipamentos da Tabela 5.6,

considerando eficiência da conversão CA-CC de 75%, foi de 175,56 kWh ( $\frac{88,47}{0,75}$  kWh de equipamentos CC e 57,6 kWh de equipamentos CA). Então:

$$R=12 \times (C_{\text{mensal}} \times T_{\text{tarifa}} \times (1+\text{PINS}+\text{COFINS})+\text{ICMS}) \quad (17)$$

$$R=12 \times (175,56 \times 0,50057 \times (1+0,0563)+30,94)$$

$$R = \text{R\$ } 1485,25$$

Sendo:

R (R\$) – Gasto anual de energia elétrica incluindo impostos

$C_{\text{MENSAL}}$  (kWh) – Consumo de energia mensal da instalação CA sem painel solar

$T_{\text{TARIFA}}$  (R\$/kWh) – Tarifa da energia elétrica cobrada.

A equação (18) é usada para o tempo de retorno do capital investido:

$$T_{\text{Retorno}} \times R - \text{Manutenção}_{\text{BATERIA}} - \text{Custo Inicial} = 0$$

(18)

$$T_{\text{Retorno}} \times R - \frac{T_{\text{RETORNO}} \times PT_{\text{BATERIA}}}{T_{\text{UTIL}}} - \text{Custo Inicial} = 0$$

Sendo:

$T_{\text{RETORNO}}$  (ano) – Tempo de retorno sobre o capital investido

$PT_{\text{BATERIA}}$  (R\$) – Preço total do banco de baterias

$T_{\text{UTIL}}$  (ano) – Tempo de vida útil das baterias

Custo Inicial (R\$) – Custo inicial de todos os equipamentos

Sistema CA:

$$1485,24 T_{\text{RETORNO}} - 1190 T_{\text{RETORNO}} = 12336,3$$

$$T_{\text{RETORNO}} = \frac{12336,3}{295,24} = 41,78 \text{ anos}$$

Sistema CC:

$$1485,24 T_{\text{RETORNO}} - 960 T_{\text{RETORNO}} = 8694,9$$

$$T_{\text{RETORNO}} = \frac{8694,9}{525,24} = 16,55 \text{ anos}$$

Logo, o melhor investimento é o sistema CC com um menor custo inicial e um tempo de retorno do capital investido bem inferior de 16 anos e meio comparado a mais de 41 anos para a instalação CA. Após este tempo, o consumidor passaria a ter lucro pela instalação investida, todavia, nota-se que ambos os tempos são demasiadamente grandes para serem considerados para uma aplicação real em que o investimento deve se pagar num período mais curto. Considera-se através desta aplicação que a instalação CC possui uma integração mais eficiente com a geração de energia em CC, no caso a solar. Espera-se que esta proporção de eficiência entre as instalações CA e CC continuem existindo com a evolução de tecnologias de painéis fotovoltaicos mais eficientes e baterias com melhor tempo de vida e de maior capacidade. Desta maneira, no futuro, será viável ao investidor realizar a instalação em CC com menor tempo de retorno do seu investimento do que com a instalação CA convencional.

Em outra análise, caso esta instalação for realizada com todos os equipamentos CC, geladeira e ventilador, seguindo este procedimento, obtêm-se um tempo ainda menor de 12 anos devido ao melhor dimensionamento com baterias mais baratas, painéis solares e o inversor deixa de ser necessário. De outro modo, se for dimensionado para todas as cargas da Tabela 5.1, é necessário o uso de pelo menos 14 baterias, e para um sistema totalmente *off-grid* que necessita de pelo menos 2 dias de autonomia usaria cerca de 80 baterias. Como a bateria é um fator decisivo neste tipo de instalação um sistema *off-grid* completo para uma casa com alto consumo é inviável atualmente.

## 6 CONCLUSÃO

Inicialmente, foi discutido o conceito da microrrede e as topologias CC, podendo coexistir ambas as correntes (híbrido) ou exclusivamente. Independente de seguir a recomendação da *EMerge Alliance*, é importante ressaltar que não há uma padronização bem definida para a instalação e produtos CC, com pesquisas seguindo normas diferentes em suas análises.

Ao discutir os produtos com maior participação nas casas brasileiras, nota-se que a maioria do consumo é dada por equipamentos CA ou resistivos. Deste modo, foi possível apresentar soluções em CC que apresentam eficiências superiores ao mesmo tempo que evitam a perda por conversão de corrente. Entretanto, a maioria dos fornecedores são pequenos e estrangeiros, o que encarece e dificulta a compra de produtos.

Discute-se dispositivos de proteção e aterramento para garantir a segurança do usuário final. Em comparação com CA, o aterramento e dispositivos de proteção funcionam de maneira muito semelhante, necessitando os dispositivos serem um pouco mais robustos devido ao arco voltaico que é a maior preocupação neste tipo de corrente. Por outro lado, a corrente em CC deve ser muito maior para causar o mesmo efeito do choque no corpo humano, e ao trabalhar em baixa tensão o sistema se torna muito mais seguro e de fácil manutenção.

A aplicação residencial revelou dados significantes sobre a eficiência de cada sistema. No caso da utilização da rede da concessionária, a maior demanda de energia era para equipamentos CA mesmo existindo 5 vezes mais equipamentos CC. Isso fez com que o sistema CC se tornasse pouco eficiente, a não ser no caso da substituição dos produtos CA por versões CC. Nesta situação o sistema híbrido obteve vantagem, mas se deve ter cautela devido a questão do cabeamento.

Já para sistemas com painéis fotovoltaicos mais bateria o sistema CC se mostrou claramente vantajoso. Neste caso, até uma pequena variação do consumo significa componentes mais baratos. O tempo de retorno de capital investido mais plausível foi utilizando cargas CC que permitiu uma redução no tempo para 12 anos. Apesar de plausível, instalações *off-grid* são muito caras e muito dependentes do ciclo de vida das baterias. No Brasil, as baterias mais vendidas no mercado não apresentam um bom benefício para essa aplicação, com baixa capacidade e alta demanda de manutenção. Deve-se usar o sistema *off-grid* em casos que estão isolados da rede elétrica ou que esta apresenta falhas constantes e é necessário um *back-up*. Para casas com alto consumo recomenda-se diminuí-lo usando eletrodomésticos mais eficientes e buscar outras soluções como o sistema *grid tie*.

Recomenda-se o contínuo estudo em instalações CC e que seja feito uma simulação real para comparação de eficiência energética entre as duas correntes.

## REFERÊNCIAS

80PLUS. Plug Load Solutions, 2016. Disponível em: <<https://plugloadsolutions.com/80PlusPowerSupplies.aspx>>. Acesso em: 06 Outubro 2016.

ABB. **Protection against earth faults with Residual Current Devices**. ABB SACE. Vittuone. 2013. (2CSC 420 004 B0201).

ABNT. **NBR 5410 Instalações elétricas de baixa tensão**. ABNT. Rio de Janeiro. 2004. (978-85-07-00562-9).

BACKHAUS, S. et al. **DC Microgrids Scoping Study - Estimate of Technical and**. Los Alamos National Laboratory. Los Alamos. 2015.

BOEKE, U.; WENDT, M. **DC Power Grids for Buildings**. IEEE First International Conference on DC Microgrids. Atlanta: IEEE. 2015. p. 210-214.

C&C. Material Elétricos: Fios e Cabos, 2016. Disponível em: <<http://www.cec.com.br/material-eletrico/fio-e-cabo/cabo>>. Acesso em: 09 Novembro 2016.

CHAUHAN, R. K. et al. DC Grid Interconnection for Conversion Losses and Cost. In: HOSSAIN, J.; MAHMUD, A. **Renewable Energy Integration**. 1. ed. Singapore: Springer Science+Business Media, 2014. Cap. 14, p. 327-345.

CHAUHAN, R. K. et al. Voltage Standardization of DC distribution system for residential buildings. **Journal of Clean Energy Technologies**, v. 4, n. 3, p. 167-172, Maio 2016. ISSN 1793-821X. Disponível em: <<http://www.jocet.org/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=48&id=578>>. Acesso em: 12 Setembro 2016.

CREDER, H. **Instalações Elétrica**. 15. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007. ISBN 978-85-216-1567-5.

EDP. Tabela de Tarifas BT Preços Abertos. **EDP**, 2016. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-bandeirante/informacoes/comerciais/tarifas-de-fornecimento/Documents/TABELA%20DE%20TARIFAS%20BT%20PRE%C3%87OS%20ABERTOS%2001%2002%202016%20EDP%20Bandeirante.pdf>>. Acesso em: 12 Novembro 2016.

EMERGE ALLIANCE. Emerge Alliance, 2016. Disponível em: <<http://www.emergealliance.org/>>. Acesso em: 26 Agosto 2016.

ENERGY STAR. ENERGY STAR, 2016. Disponível em: <[https://www.energystar.gov/products/water\\_heaters/high\\_efficiency\\_electric\\_storage\\_water\\_heaters/how\\_it\\_works](https://www.energystar.gov/products/water_heaters/high_efficiency_electric_storage_water_heaters/how_it_works)>. Acesso em: 20 Outubro 2016.

EPE. **Projeção da demanda de energia para os próximos 10 anos (2015-2024)**. EPE. Rio de Janeiro. 2015.

FANARA, A. et al. **How Small Devices are Having a Big Impact on U.S. Utility Bills**. EPA. [S.l.]. 2006.

FEDRIGO, N. S.; GONÇALVES, G.; LUCAS, P. F. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

GARBESI, K. et al. **Optimizing Energy Savings From Direct-DC in U.S. Residential Buildings**. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley. 2011.

GARBESI, K.; VOSSOS, V.; SHEN, H. **Catalog of DC Appliances and Power Systems**. ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY. Berkeley. 2011.

GO SOLAR CALIFORNIA. List of Eligible Inverters per SB1 Guidelines, 2016. Disponível em: <<http://www.gosolarcalifornia.org/equipment/inverters.php>>. Acesso em: 16 Outubro 2016.

IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 24 Outubro 2016.

INPE. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. INPE. São José dos Campos. 2006. (85-17-00030-7).

JOHNSON, R. W. AC Versus DC Power Distribution. **EATON**, Novembro 2012. Disponível em: <[http://powerquality.eaton.com/About-Us/news-events/whitepapers/whitepaper.asp?doc\\_id=23611&paperID=61](http://powerquality.eaton.com/About-Us/news-events/whitepapers/whitepaper.asp?doc_id=23611&paperID=61)>. Acesso em: 11 Setembro 2016.

LED PROFESSIONAL. DC-Grids - Challenges and Chances for LED Lighting by the Fraunhofer Institute and LED professional. **LED Professional**, Julho 2016. Disponível em: <<https://www.led-professional.com/resources-1/articles/dc-grids-challenges-and-chances-for-led-lighting-by-the-fraunhofer-institute-and-led-professional>>. Acesso em: 28 Agosto 2016.

LIMA, C. E. S. **Equalização de Potencial Elétrico**. Insituto Brasileiro de Pesquisas Hospitalares - IPH. São Paulo. 2012.

MORALES, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio à gestão: classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo**. USP. São Paulo. 2007.

NEAA. Hot Water Solutions, 2016. Disponível em: <<https://hotwatersolutionsnw.org/what-is-a-heat-pump-water-heater>>. Acesso em: 20 Outubro 2016.

NEXTEK POWER SYSTEMS. Nextek Power, 2016. Disponível em: <<https://static1.squarespace.com/static/53769ce0e4b08ebb6e297ef8/t/5405d05ce4b096fd0ba051c8/1409667212367/DC+Bid+Instruct+v1-0++++8-1-13.pdf>>. Acesso em: 30 Agosto 2016.

NILSSON, D. **DC Distribution Systems**. Göteborg: Chalmers University of Technology, 2005. Disponível em: <<http://webfiles.portal.chalmers.se/et/Lic/NilssonDanielLic.pdf>>. Acesso em: 29 Setembro 2016.

NOTHERN ARIZONA WIND & SUN. Everything you need to know about the basics of solar charge controllers. **Solar Electric**, 2016. Disponível em: <<https://www.solar-electric.com/solar-charge-controller-basics.html/>>. Acesso em: 15 Outubro 2016.

PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY. **Analysis of Standards Options for Ceiling Fans**. PACIFIC GAS AND ELECTRIC COMPANY. California. 2004.

PANG, H.; LO, E.; PONG, B. **DC Electrical Distribution Systems in Buildings**. 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications. Hong Kong: [s.n.]. 2006. p. 115-119.

PINHEIRO, P. C. D. C. **Análise comparativa dos sistemas de aquecimento de água residencial**. ENCIT - Proceedings of the 11th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Curitiba: ABCM. 2006.

PINHO, J.; GALDINO, M. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL - CRESESB. Rio de Janeiro. 2014.

PROCEL. Dicas de Economia de Energia. **PROCEL**, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em: 2 Novembro 2016.

SALOMONSSON, D. **Modeling, Control and Protection of Low-Voltage DC Microgrid**. Royal Institute of Technology. Estocolmo. 2008. (ISBN 978-91-7178-867-2 / ISSN 1653-5146).

SALONEN, P. et al. **An LVDC Distribution System Concept**. Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics. Helsinki: Helsinki University of Technology. 2008.

SAUER, I. L. **Estudo de usos finais de energia elétrica e de avaliação do sistema elétrico de Boa Vista - RR Relatório Final**. USP. São Paulo. 1998.

SAVAGE, P.; NORDHAUS, R. R.; JAMIESON, S. P. DC Microgrids: Benefits and Barriers. In: PARKER, L.; MAXWELL, R. **From Silos To Systems: Issues in Clean Energy and Climate**

Change. [S.l.]: New Heaven: Yale School of Forestry & Environmental Studies, 2010. Cap. 5, p. 51-66.

SCHONEK, J. **Cahier Technique no. 114**. Schneider. [S.l.]. 2006. (114).

SENAI-SP. **NR-10 Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. São Paulo: SENAI-SP, 2015. ISBN 9788583931423.

SIEMENS. **Residual Current Protective Devices: BETA Low-Voltage Circuit Protection Technology Primer**. Siemens AG Industry Sector. Regensburg. 2010.

SOLAR CHOICE. SOLAR CHOICE, 2011. Disponível em: <<http://www.solarchoice.net.au/blog/types-of-solar-inverter-efficiency/>>. Acesso em: 15 Outubro 2016.

STARKE, M. R. **DC Distribution with Fuel Cells as Distributed Energy Resources**. Knoxville: The University of Tennessee, 2009. Disponível em: <[http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1721&context=utk\\_graddiss](http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1721&context=utk_graddiss)>. Acesso em: 23 Setembro 2016.

TEC MUNDO. AC/DC Hybrid Wiring System: corrente contínua na tomada da sua casa. **TEC MUNDO**, 2009. Disponível em: <<https://www.tecmundo.com.br/3006-ac-dc-hybrid-wiring-system-corrente-continua-na-tomada-da-sua-casa.htm>>. Acesso em: 02 Outubro 2016.

TESLA RESEARCH. War of currents: AC vs DC, 2016. Disponível em: <<http://teslaresearch.jimdo.com/war-of-currents/>>. Acesso em: 1 Dezembro 2016.

THOMAS, B. A.; AZEVEDO, I. L.; MORGAN, G. Edison Revisited: Should we use DC circuits for lighting in commercial buildings? **Energy Policy**, v. 45, p. 399-411, Junho 2012. ISSN 0301-4215. Disponível em: <[https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines\\_Azevedo/papers/thomas\\_2012.pdf](https://www.andrew.cmu.edu/user/ilimade/Ines_Azevedo/papers/thomas_2012.pdf)>. Acesso em: 23 Agosto 2016.

URBAN, B. et al. **Energy Consumption of consumer electronics in U.S. homes in 2013**. Fraunhofer USA Center for Sustainable Energy Systems. Boston. 2014.

WAFFENSCHMIDT, E. **Erdung von DC-Netzen**, 2012. Disponível em: <[https://www.f07.th-koeln.de/imperia/md/content/personen/waffenschmidt\\_eberhard/publications/waffenschmidt\\_erdung\\_von\\_dc\\_netzen\\_ecpe\\_2012.pdf](https://www.f07.th-koeln.de/imperia/md/content/personen/waffenschmidt_eberhard/publications/waffenschmidt_erdung_von_dc_netzen_ecpe_2012.pdf)>. Acesso em: 24 Outubro 2016.

WEISS, R.; OTT, L.; BOEKE, U. **Energy efficient low-voltage DC-grids for commercial buildings**. IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM). Atlanta: IEEE. 2015. p. 154-158.

WRIGHT, M. Lighting systems leverage DC distribution for maximum efficiency. **Illumination in Focus**, v. 3, n. 1, p. 15-18, Abril 2014. Disponível em: <<http://www.ledsmagazine.com/articles/iif/print/volume-3/issue-1/features/dc-grids/lighting-systems-leverage-dc-distribution-for-maximum-efficiency.html>>. Acesso em: 8 Agosto 2016.

ZIMMERMAN, S.; LIVESAY, W.; EVANS, W. DC-powered modular SSL delivers efficiency and flexibility. **LEDs Magazine**, v. 13, n. 6, p. 31-35, Julho 2016. Disponível em: <<http://www.ledsmagazine.com/articles/print/volume-13/issue-6/features/dc-modular-lighting/dc-powered-modular-ssl-delivers-efficiency-and-flexibility.html>>. Acesso em: 10 Agosto 2016.

**BIBLIOGRAFIA CONSULTADA**

BRASTEMP. Geladeiras. **Brastemp**, 2016. Disponível em: <<http://www.brastemp.com.br/categoria/geladeiras/>>. Acesso em: 28 Setembro 2016.

CONSUL. Geladeiras. **Consul**, 2016. Disponível em: <<http://www.consul.com.br/categoria/geladeiras/>>. Acesso em: 26 Setembro 2016.

DANTHERM. DC AIR CONDITIONERS. **Dantherm**, 2016. Disponível em: <<http://www.danthermcooling.com/us/electronics-cooling/products/dc-air-conditioner/>>. Acesso em: 2 Outubro 2016.

DC AIRCO. Comparison AC vs DC Air Conditioner. **DC Airco**, 2016. Disponível em: <<http://www.dcairco.com/product/mining-airconditioning/comparison-ac-vs-dc-air-conditioner>>. Acesso em: 1 Outubro 2016.

DIMPLEX. Bomba de calor de água quente 200 L - BWP 20A. **Dimplex**, 2016. Disponível em: <<http://www.dimplex.de/pt/bomba-de-calor/bomba-de-calor-de-agua-quente/bwp-20a.html>>. Acesso em: 23 Outubro 2016.

ELECTROLUX. Geladeiras / Refrigeradores. **Electrolux**, 2016. Disponível em: <<http://loja.electrolux.com.br/cozinha/geladeiras---refrigeradores>>. Acesso em: 1 Outubro 2016.

EMERSON. Emerson EcoMotor. **EMERSON CEILING FANS**, 2016. Disponível em: <<http://ceilingfans.emerson.com/shop/en/fan/FAN-en-us-Pages-eco-ceiling-fans>>. Acesso em: 2 Outubro 2016.

ENERGY SHOP. Controlador de Carga Solar SR 60 A. **Energy Shop**, 2016. Disponível em: <<http://www.energyshop.com.br/produto/controlador-sr-mppt-60a/controlador-de-carga-solar-sr-60a-12-24-36-48v-mppt>>. Acesso em: 13 Novembro 2016.

ENERGY SHOP. Inversor Off Grid Hayonik 400 W - 24 V. **Energy Shop**, 2016. Disponível em: <<http://www.energyshop.com.br/produto/inversor-off-grid-hayonik-400w-24v-127v/inversor-off-grid-hayonik-24vcc-127vca-400w>>. Acesso em: 14 Novembro 2016.

ENERGY SHOP. Inversor Off-grid Hayonik 800W - 24 V. **Energy Shop**, 2016. Disponível em: <<http://www.energyshop.com.br/produto/inversor-off-grid-hayonik-400w-24v-127v/inversor-off-grid-hayonik-24vcc-127vca-400w>>. Acesso em: 14 Novembro 2016.

HENLEY FAN. DC vs AC Ceiling Fans. **Henley Fan**, 2016. Disponível em: <<https://www.henleyfan.com/blog/dc-vs-ac-ceiling-fans/>>. Acesso em: 4 Outubro 2016.

KICHLER. Energy Star Kichler Ceiling Fans. **Kichler**, 2016. Disponível em: <<http://www.kichler.com/style-guide/learn-about-ceiling-fans/saving-energy-with-kichler-ceiling-fans.aspx>>. Acesso em: 30 Setembro 2016.

MONTE CARLO. 60" Maverick-Black. **Monte Carlo Fans**, 2016. Disponível em: <<http://www.montecarlofans.com/51314/60-Maverick---Black-3MAVR60BK.html>>. Acesso em: 30 Setembro 2016.

NEO SOLAR. Bateria estacionária Freedom DF4001 220 Ah, 2016. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>>. Acesso em: 10 Novembro 2016.

NEO SOLAR. Controlador de Carga MPPT Epsolar Tracer- 4210A. **Neo Solar**, 2016. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/controlador-de-carga-mppt-epsolar-tracer-4210a-40a-12-24v.html>>. Acesso em: 12 Novembro 2016.

NEO SOLAR. Painel Solar Fotovoltaico 265 WP - Canadian. **Neo Solar**, 2016. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-265wp-canadian-csi-cs6p-265p.html>>. Acesso em: 12 Novembro 2016.

OCHSNER. Europa 250 DK. **OCSHNER BOMBAS DE CALOR**, 2016. Disponível em: <<http://int.ochsner.com/pt/ochsner-produkte/produktdetail/produkt/europa-303-dkl/produktreferersite/23/>>. Acesso em: 26 Outubro 2016.

PANASONIC. Refrigeradores. **Panasonic**, 2016. Disponível em: <<http://www.panasonic.com/br/consumidor/eletrodomesticos/refrigeradores.html>>. Acesso em: 28 Setembro 2016.

PHOCOS. FR Series Fridges. **Phocos**, 2016. Disponível em: <<http://www.phocos.com/blog/portfolio/fr240/>>. Acesso em: 24 Setembro 2016.

SECURUS. Solar Air Conditioners. **Securus AIR**, 2016. Disponível em: <<http://www.securusair.com/>>. Acesso em: 3 Outubro 2016.

STECA. Steca PF 166 / PF 240 Solar Refrigeration/freezer. **STECA**, 2016. Disponível em: <<http://www.steca.com/index.php?Steca-PF-166-240-en>>. Acesso em: 29 Setembro 2016.

SUN DANZER. Product Category: Household. **Sun Danzer**, 2016. Disponível em: <[http://www.sundanzer.com/product\\_category/household/](http://www.sundanzer.com/product_category/household/)>. Acesso em: 25 Setembro 2016.

SUN FROST. Efficient refrigerator specs. **SUN FROST**, 2016. Disponível em: <[http://www.sunfrost.com/efficient\\_refrigerator\\_specs.html](http://www.sunfrost.com/efficient_refrigerator_specs.html)>. Acesso em: 29 Setembro 2016.

SUN POWER TECHNOLOGIES. DC air conditioners. **Sun Power Technologies**, 2016. Disponível em: <<http://www.sunpowertech.com/>>. Acesso em: 4 Outubro 2016.