

## **Monografia**

**"GERAÇÃO DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIO UTILIZANDO SISTEMA  
FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO - ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL COM SEIS PAVIMENTOS"**

Autor: Alisson Cruz Pereira

Orientador: Prof. José Cláudio Nogueira Vieira

Agosto/2012

Alisson Cruz Pereira

**"GERAÇÃO DE ENERGIA PARA CONDOMÍNIO UTILIZANDO SISTEMA  
FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO - ESTUDO DE CASO EM EDIFÍCIO  
RESIDENCIAL COM SEIS PAVIMENTOS"**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Sustentabilidade nas Construções

Orientador: Prof. José Cláudio Nogueira Vieira

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2012

## **DEDICATÓRIAS**

A Deus, a minha avó Aparecida, aos meus pais, irmãos, amigos, a minha esposa Silvânia e aos meus filhos Bruno e Rafael. O amor e o carinho de todos foram essenciais para esta conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais, Wilson Fonseca e Ana Regina, pela educação, amor e apoio que foram a base da construção de minha vida.

Agradeço aos meus irmãos: Alice, Ariane, Érica, Eder, Rosana, Juliana e Alex pela união e carinho de todos.

Agradeço a minha esposa Silvânia pelo amor incondicional e por estar sempre ao meu lado e aos meus queridos filhos Bruno e Rafael pelas tantas alegrias que me proporcionam.

Aos meus grandes amigos Elisson, Heloir, José Rogério, Marcos e Paulo.

A todos os amigos que tive o privilégio de conviver durante o curso, compartilhando conhecimento e experiências, em especial a Fernanda P. Lima, Karine B. Praes, Plínia P. B. Moura, Renato V. Barbosa e Vitor N. Arçari.

Ao Professor José Cláudio Nogueira Vieira, pelo apoio e contribuição na elaboração deste trabalho.

A todos os professores que tive o privilégio de conviver durante o curso.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para concretização deste trabalho.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIAS .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	iv
SUMÁRIO .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS .....	ix
RESUMO .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos .....	13
2.1.1 Sistemas fotovoltaicos interligados a rede (On-Grid).....	13
2.1.2 Sistemas fotovoltaicos autônomos (Off-Grid) .....	14
2.2 Módulos solares fotovoltaicos .....	15
2.2.1 Tecnologias fotovoltaicas.....	15
2.2.2 Princípio de funcionamento das células fotovoltaicas.....	15
2.3 Baterias estacionárias.....	18
2.4 Reguladores / controladores de carga .....	20
2.5 Inversor / conversor CC/CA .....	20
2.6 Lâmpadas LED (Diodo Emissor de Luz) .....	21
3. ESTUDO DE CASO .....	23
3.1 Projeto Proposto .....	23
3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico.....	24
3.2.2 Dimensionamento do inversor CC/CA .....	26
3.2.3 Dimensionamento do banco de baterias .....	29
3.2.3.1 Para um sistema fotovoltaico autônomo - SFA.....	29
3.2.3.2 Para um SFA com a utilização do circuito comutador .....	31
3.2.4 Dimensionamento do painel fotovoltaico .....	32
3.2.4.1 Disponibilidade de radiação solar.....	32
3.2.4.2 Inclinação do painel fotovoltaico.....	33

3.2.4.3 Quantidade de módulos fotovoltaicos.....	34
3.2.5 Dimensionamento do Controlador de Carga.....	35
3.2.6 Dimensionamento das bitolas dos cabos .....	36
3.3 Comparativo de custos entre os sistemas fotovoltaicos e convencional.....	38
3.3.1 Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico autônomo.....	39
3.3.2 Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico utilizando o circuito comutador .....	41
3.3.3 Custo da energia do sistema fotovoltaico utilizando o circuito comutador para o condomínio. ....	42
4. CONCLUSÃO .....	44
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Configuração sistema On-grid.....	14
Figura 2.2: Configuração sistema Off-grid.....	15
Figura 2.3: Princípio de funcionamento da Célula Solar.....	16
Figura 2.4: Modelo de Célula Solar.....	16
Figura 2.5: Curvas corrente x tensão e potência x tensão.....	17
Figura 2.6: Circuito equivalente de uma bateria para o modelo linear.....	18
Figura 2.7: Tensão em função da profundidade da descarga.....	19
Figura 2.8: Ciclos em função da profundidade da descarga.....	19
Figura 2.9: Modelo controlador de carga.....	20
Figura 2.10: Formas de onda típicas na saída do inversor.....	21
Figura 2.11: Modelo inversor senóide pura 12Vcc / 120 Vca.....	21
Figura 2.12: Modelo de lâmpada LED.....	22
Figura 3.1: Planta condomínio.....	23
Figura 3.2: Layout solução proposta com o circuito comutador.....	24
Figura 3.3: Diagrama de ligação das baterias para SFA.....	30
Figura 3.4: Diagrama de ligação das baterias para SFA com circ. Comutador...	32
Figura 3.5: Layout de instalação com respectivas distâncias.....	36
Figura 3.6: Layout de instalação para o sistema fotovoltaico autônomo - SFA...	37
Figura 3.7: Layout de instalação para o SFA com circuito comutador .....	38
Figura 3.8: Custo do projeto SFA x Economia (período de 20 anos).....	40
Figura 3.9: Custo do projeto x Economia (período de 20 anos).....	42
Figura 3.10: Custo de manutenção x Economia (período de 20 anos).....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Consumo estimado de carga para o condomínio.....	25
Tabela 3.2: Características técnicas motor portão eletrônico.....	27
Tabela 3.3: Principais características do inversor PROwatt SW1000 .....	28
Tabela 3.4: Radiação diária média mensal para Belo Horizonte – MG .....	32
Tabela 3.5: Fator de correção k para superfícies inclinadas para latitude 20°...	33
Tabela 3.6: Principais características do módulo fotovoltaico.....	34
Tabela 3.7: Principais características do controlador de carga.....	35
Tabela 3.8: Dimensionamento bitola dos cabos.....	37
Tabela 3.9: Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico autônomo..	39
Tabela 3.10: Custo do sistema fotovoltaico autônomo durante 20 anos.....	39
Tabela 3.11: Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico com circuito comutador.....	41
Tabela 3.12: Custo do sistema fotovoltaico com circuito comutador durante 20 anos.....	41
Tabela 3.13: Custo estimado de manutenção do sistema fotovoltaico com circuito comutador durante 20 anos.....	43

## **LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS**

ANEEL = Agência Nacional de Energia Elétrica.

Cemig = Companhia de Energia de Minas Gerais.

CEPEL = Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Eletrobrás).

CRESESB = Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.

SUNDATA = Potencial energético solar. Base de dados sobre radiação solar no Brasil do CRESESB.

EPE = Empresa de Pesquisa Energética (Vinculada ao Ministério de Minas e Energia).

NBR = Norma Brasileira.

SFA = Sistema Fotovoltaico Autônomo.

## RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade quanto a utilização de uma fonte de energia limpa, a energia solar, através de um sistema fotovoltaico autônomo (SFA) para suprir a demanda de energia de um condomínio de seis apartamentos.

Foram analisadas três possibilidades. Na primeira o dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo convencional com uma autonomia de quatro dias, na segunda foi proposto a utilização de um circuito comutador para realizar o controle e a comutação entre o sistema fotovoltaico e a rede elétrica convencional, possibilitando a redução na autonomia do sistema e na terceira foi considerado apenas os custos de manutenção do sistema que melhor se apresentou economicamente entre os dois primeiros.

Após a análise do custo do kWh para cada situação, constatou-se uma redução do mesmo com as possibilidades apresentadas, porém em nenhum dos casos o custo do kWh foi economicamente viável em comparação ao custo da concessionária local.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o tema sustentabilidade já faz parte do nosso dia a dia. Estamos cada dia mais conscientes de sua importância para o planeta e para nossas vidas.

O movimento a favor do desenvolvimento sustentável ganhou força a partir do “Relatório Brundtland” (BRUNDTLAND, 1987) ou, mais propriamente, o relatório intitulado “Nosso Futuro Comum”, produzido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

O relatório, publicado em 1987, traz considerações importantes sobre a utilização exacerbada dos recursos naturais sem respeitar a capacidade de ciclagem dos ecossistemas. É também desse relatório que sai a definição mais difundida de desenvolvimento sustentável, segundo a qual ele é o desenvolvimento que supre as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de suprir as suas próprias necessidades. Desde então outros importantes documentos foram somados ao “Relatório Brundtland” como a “Agenda 21” (1992) e a “Carta da Terra” (2000).

Sustentabilidade não é dever ou obrigação de um segmento específico. Deve estar presente em todos os segmentos que envolvam a humanidade e principalmente, na consciência de cada um de nós.

Na área da construção civil, várias temas são abordados, como: Eficientização energética, uso eficiente da água, uso eficiente dos demais recursos naturais, arquitetura bioclimática, acessibilidade, entre outros.

Este trabalho terá como foco a eficientização energética em edificações, propondo através de um sistema independente a utilização da radiação solar como fonte de energia elétrica para o condomínio de um edifício residencial com seis pavimentos e seis apartamentos, atendendo a princípio a demanda de iluminação, interfone, cerca elétrica e portão eletrônico para acesso de veículos,

proporcionando além de uma possível economia, maior comodidade na falta de energia convencional pública, quando o usuário terá por algumas horas ainda em funcionamento os componentes ligados ao sistema fotovoltaico.

A solução engloba a utilização de módulos solares fotovoltaicos (convertem energia solar em eletricidade), baterias estacionárias (podem operar com ciclos diários de carga e descarga mais profundos), reguladores de carga (regula a carga da bateria, impedindo que a mesma descarregue por completo ou continue a receber carga quando estiver completamente carregada), inversor senoidal (converte corrente contínua em alternada), lâmpadas LED (com o objetivo de reduzir ao máximo o consumo do sistema como um todo).

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos**

#### **2.1.1 Sistemas fotovoltaicos interligados a rede (On-Grid)**

Um sistema fotovoltaico conectado à rede trabalha convertendo a energia solar em eletricidade e injetando o potencial gerado diretamente à rede de distribuição.

O sistema on-grid depende da rede para funcionar, portanto caso ocorra a queda da rede o mesmo será imediatamente desligado não funcionando como sistema de backup. Isto é necessário, pois no caso de uma manutenção a rede não pode estar eletrificada e também para proteger o arranjo fotovoltaico, que não deve funcionar isolado.

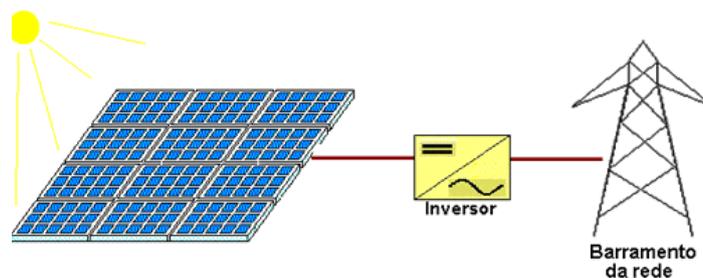
Os inversores para sistemas on-grid (grid-tie) são muito mais sofisticados que os inversores utilizados nos sistemas autônomos, pois são os mesmos que gerenciam todo o sistema. Os inversores grid-tie atuais, em sua grande maioria, possuem seguidor do ponto de máxima potência (MPPT), o qual permite aproveitar ao máximo a capacidade de geração do arranjo fotovoltaico ao qual está conectado.

Devido ao fato de não necessitarem de sistemas de armazenamento (controladores de carga e baterias), a rede elétrica age como uma carga, absorvendo a energia elétrica gerada. A eficiência do sistema está intimamente ligada à eficiência dos inversores: quanto mais eficiente o inversor, maior será o potencial aproveitado e injetado na rede de distribuição.

Devido os sistemas on-grid serem conectados a rede de distribuição elétrica das concessionárias seu uso deve ser regulamentado pelos órgãos responsáveis, no caso do Brasil a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL que aprovou recentemente (Abril de 2012) uma nova Resolução Normativa, criando a regulamentação necessária para que os consumidores de energia elétrica

possam ser também geradores de energia. Essa nova regulamentação cria um novo horizonte e incentivo para a produção de energia elétrica alternativa.

De acordo com estudo apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o custo médio da energia para residências que utilizam painéis solares (sistemas fotovoltaicos interligados a rede) já fica abaixo da tarifa residencial cobrada por algumas concessionárias brasileiras, tendo como referência uma produção de 5KWp.



*Figura 2.1: Configuração sistema On-grid (CRESESB 2012)*

### **2.1.2 Sistemas fotovoltaicos autônomos (Off-Grid)**

Um Sistema Fotovoltaico Autônomo depende unicamente da radiação solar para gerar energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos. Esse tipo de sistema, geralmente, possui um sistema de armazenamento de energia constituído por um Banco de Baterias e necessita, dependendo da aplicação, de controladores de carga e inversores CC/CA.

Conforme o CRESESB os sistemas são bastante duráveis e precisam de pouca manutenção. Os módulos fotovoltaicos normalmente têm garantia de 20 anos. Os dispositivos eletrônicos, inversor e controlador de carga, têm vida útil superior a 10 anos. As baterias são consideradas o ponto fraco do sistema, mas quando bem dimensionadas podem ter vida útil de 4 a 5 anos.

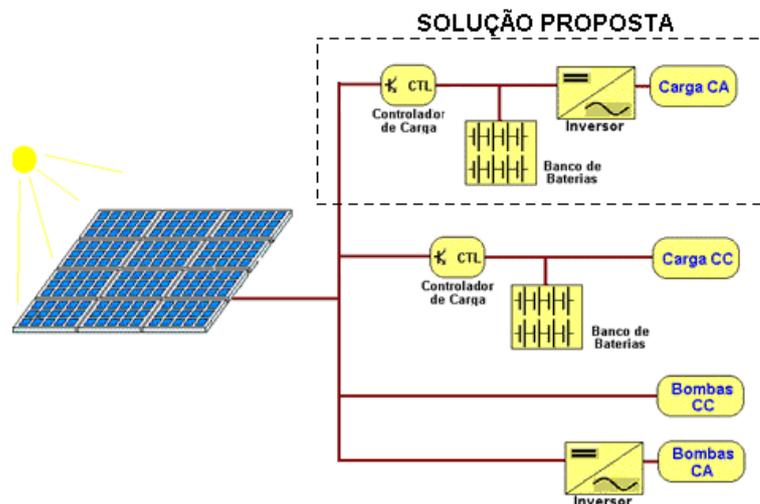


Figura 2.2: Configuração sistema Off-grid (CRESESB 2012 - Adaptado)

## 2.2 Módulos solares fotovoltaicos

### 2.2.1 Tecnologias fotovoltaicas

Segundo R  ther (2004), dentre os diversos semicondutores utilizados para a produ  o de células solares fotovoltaicas, destacam-se por ordem decrescente de maturidade e utiliza  o o silício cristalino (c-Si); o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou simplesmente a-Si); o telureto de cádmio (CdTe) e os compostos relacionados ao disseleneto de cobre (gálio) e   ndio (CuInSe<sub>2</sub> ou CIS e Cu(InGa)Se<sub>2</sub> ou CIGS). Neste último grupo aparecem elementos que são ou altamente tóxicos (Cd, Se, Te), ou muito raros (Te, Se, Ga, In, Cd), ou ambos, inviabilizando inicialmente o uso mais intensivo destas tecnologias.

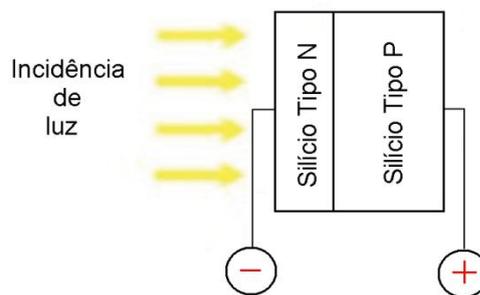
### 2.2.2 Princípio de funcionamento das células fotovoltaicas

A célula fotovoltaica    o elemento responsável pela transforma  o de energia solar em energia elétrica. Em suma    um dispositivo semicondutor que gera uma corrente elétrica quando exposto a luz (radia  o solar).

Os módulos fotovoltaicos mais comuns são fabricados de silício na forma pura. O cristal de silício puro    um mau condutor elétrico, pois não possui elétrons livres.

Este elemento passa então por um processo de dopagem (inserção de outros elementos). Mediante a dopagem do silício com o fósforo obtém-se um material com elétrons livres ou material com portadores de carga negativa (silício tipo N). Realizando o mesmo processo, mas acrescentando boro, obtém-se um material com características inversas (déficit de elétrons) ou material com cargas positivas (silício tipo P).

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de material tipo N e outra com maior espessura de material tipo P, conforme figura 2.3.



*Figura 2.3: Princípio de funcionamento da Célula Solar*



*Figura 2.4: Modelo de Célula Solar*

Ao incidir a luz sobre a célula fotovoltaica, os fótons que a integram chocam-se com os elétrons da estrutura do silício dando-lhes energia e transformando-os em condutores.

Devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N". Por meio de um condutor externo conecta-se a camada negativa à positiva. Gera-se assim um fluxo de elétrons (corrente elétrica) na conexão. Enquanto a luz continuar a incidir na célula o fluxo de elétrons se manterá. A intensidade da corrente gerada variará proporcionalmente conforme a intensidade da luz incidente.

Conforme o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, o valor mínimo de inclinação admitido é de  $10^\circ$ , para evitar o acúmulo de sujeira e facilitar a limpeza com a água da chuva.

As curvas corrente (I) x tensão (V) e potência (P) x tensão (V) típicas e o ponto de máxima produção de potência são mostrados na figura 2.5.

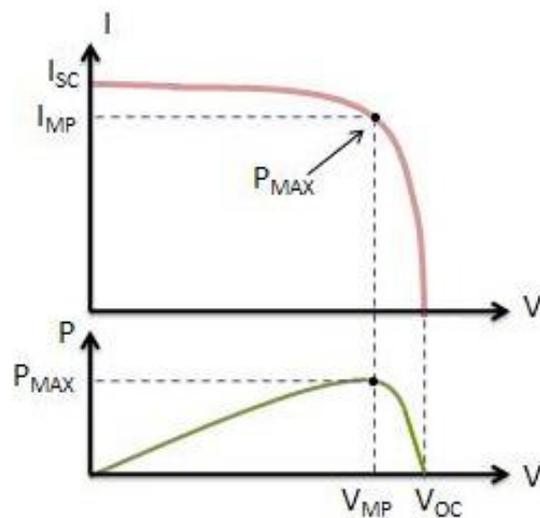


Figura 2.5: Curvas corrente x tensão e potência x tensão (Fonte: EPE – Nota Técnica)

### 2.3 Baterias estacionárias

As baterias usadas em sistemas fotovoltaicos são as do tipo estacionárias, ou seja, podem ser descarregadas a uma profundidade maior, garantindo uma vida útil significativamente maior ao se comparado a baterias convencionais.

A capacidade da bateria é quantificada de acordo com a quantidade de corrente que ela consegue oferecer por hora. A escolha da bateria será feita de acordo com o tamanho do sistema, considerando a potência das cargas a serem alimentadas e o tempo de autonomia desejado.

Segundo O Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos - CRESESB (2004), a operação de uma bateria usada em um sistema solar fotovoltaico deve atender a dois tipos de ciclos:

- ✓ Ciclos rasos a cada dia;
- ✓ Ciclos profundos por vários dias (tempo nublado) ou semanas (durante o inverno).

A figura 2.6 apresenta o circuito equivalente de uma bateria no modelo linear. Nesse modelo é considerada a resistência interna da bateria. O circuito elétrico equivalente passa a ser composto por uma fonte de tensão ( $E$ ) em série com uma resistência ( $R_{bat}$ ), onde  $V_{bat}$  passa a depender destes dois parâmetros.

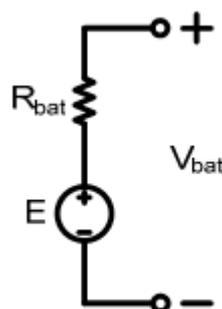


Figura 2.6: Circuito equivalente de uma bateria para o modelo linear.

As figuras 2.7 e 2.8 apresentam respectivamente os gráficos, tensão em função da profundidade de descarga e número de ciclos em função da profundidade de descarga. Nota-se que a profundidade da descarga da bateria influencia de forma exponencial em sua vida útil. Conforme o fabricante Moura, em regime de ciclagem constante como energias de origem fotovoltaica é recomendável que, durante o tempo máximo de autonomia a bateria não seja descarregada em níveis de profundidade de carga superiores a 25% de sua capacidade.

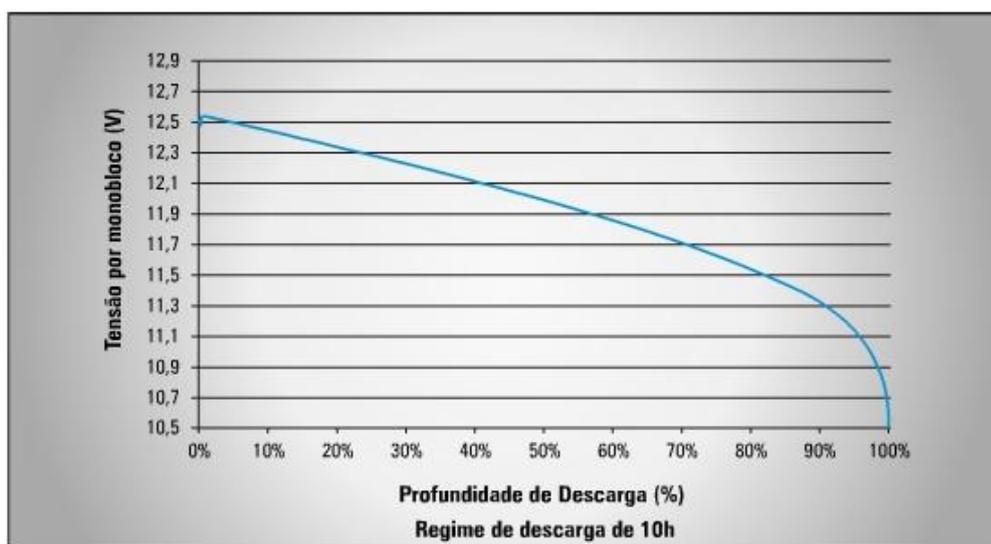


Figura 2.7: Tensão em função da profundidade da descarga (Fabricante Moura).

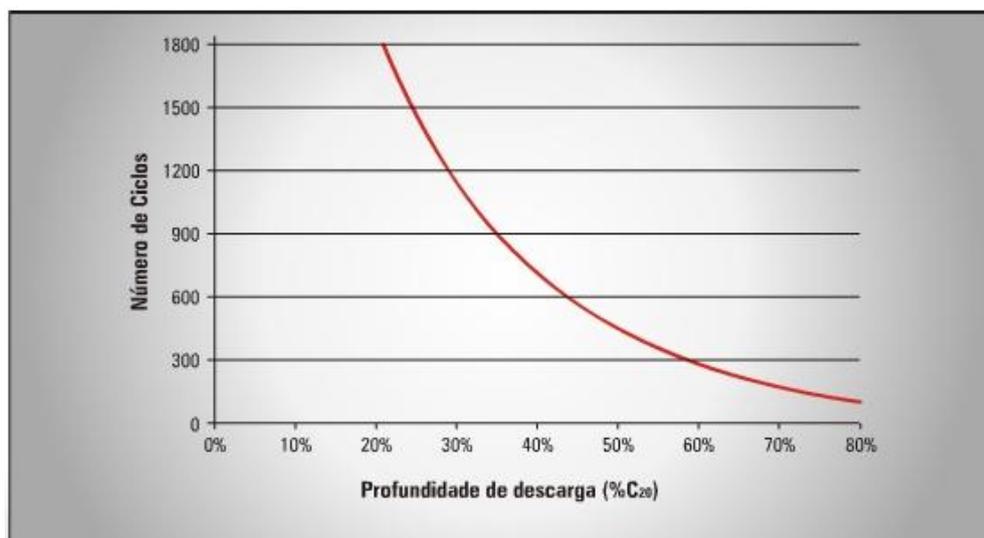


Figura 2.8: Ciclos em função da profundidade da descarga (Fabricante Moura).

## 2.4 Reguladores / controladores de carga

Os controladores de carga têm a função de controlar o fluxo de energia que carrega as baterias através da energia fornecida pelos módulos fotovoltaicos, evitando assim que as mesmas sejam excessivamente carregadas ou descarregadas. Isso contribui para o aumento da vida útil do sistema de armazenamento. Os Controladores modernos utilizam uma tecnologia chamada PWM – *Pulse With Modulation* ou modulação por pulsos ou ainda a tecnologia MPPT – *Maximum Power point Tracking* para assegurar que a bateria possa ser carregada até atingir sua capacidade máxima.



Figura 2.9: Modelo controlador de carga. (Fabricante Morningstar)

## 2.5 Inversor / conversor CC/CA

Como os módulos solares fotovoltaicos geram energia em corrente contínua é necessário o uso de um equipamento eletrônico conhecido como inversor, ou conversor CC-CA (corrente contínua – corrente alternada), para que se obtenha tensão em corrente alternada com as características (frequência, conteúdo de harmônicos, forma de onda, etc.) necessárias para sua utilização em equipamentos convencionais de 127 Volts.

Atualmente os inversores mais comuns são os de saída com senóide modificada ou senóide pura, conforme figura 2.10. A especificação de cada tipo depende das características da carga a ser alimentada.

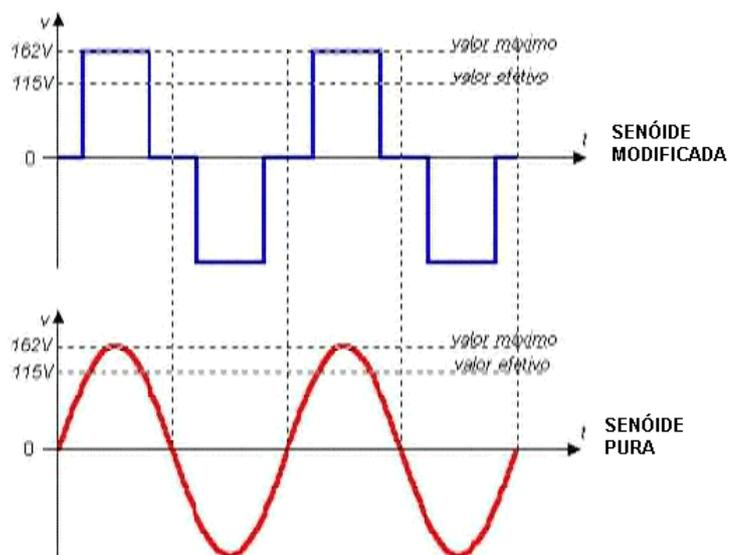


Figura 2.10: Formas de onda típicas na saída do inversor



Figura 2.11: Modelo inversor senóide pura 12Vcc / 120 Vac. (Fabricante Xantrex)

## 2.6 Lâmpadas LED (Diodo Emissor de Luz)

A tecnologia LED é bem superior as duas anteriores (incandescente e fluorescente). A lâmpada é fabricada com material semicondutor que quando percorrido por uma corrente elétrica, emite luz. O resultado é uma peça muito menor, que consome menos energia e tem uma durabilidade maior. Enquanto uma lâmpada incandescente tem vida útil de 1.000 horas e uma fluorescente de 10.000 horas, a LED rende entre 20.000 e 100.000 horas de uso ininterrupto, além de fornecer um fator de potência superior aos das lâmpadas fluorescentes.

Uma lâmpada incandescente converte em luz apenas 5% da energia elétrica que consome, sendo o restante dissipado em forma de calor. As lâmpadas LED

convertem até 40%. Essa maior otimização da energia proporciona uma economia considerável e conseqüentemente benefícios evidentes ao meio ambiente.



*Figura 2.12: Modelo de lâmpada LED G-310. (Fabricante G-LED)*

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 Projeto Proposto

O projeto proposto tem por objetivo o dimensionamento de um sistema autônomo e será baseado no consumo do condomínio de um prédio com seis apartamentos, localizado na região da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais.

O cálculo do sistema será realizado visando atender o consumo do condomínio, que compreende a iluminação da garagem e hall de escadas, interfone, cerca elétrica e portão eletrônico, conforme ilustrado na figura 3.1.

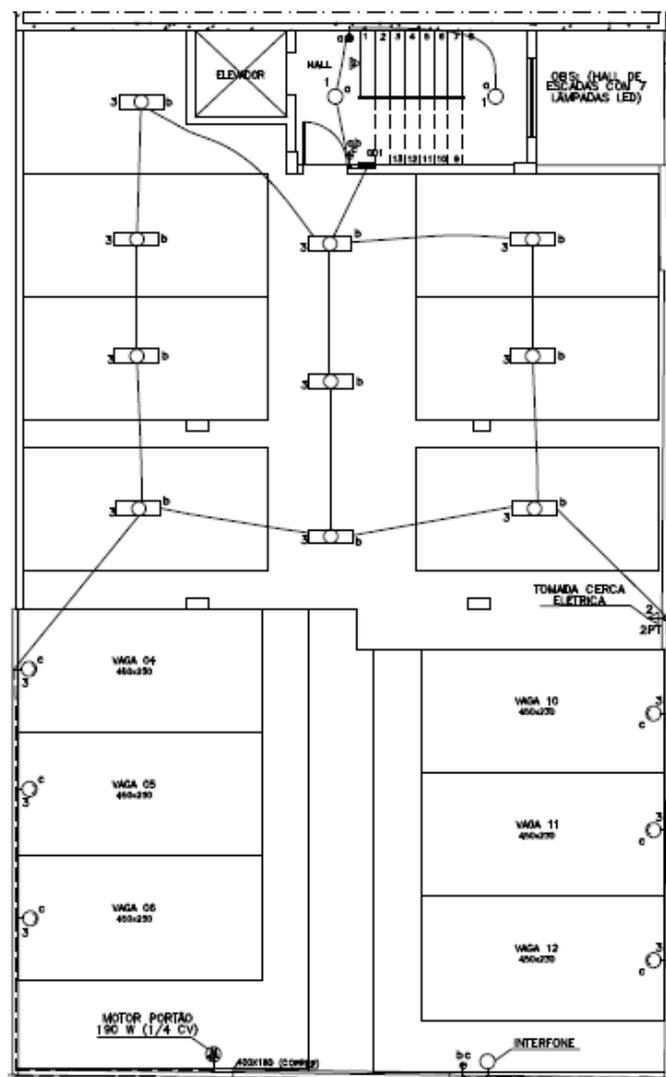


Figura 3.1: Planta iluminação garagem e hall escadas, interfone, cerca elétrica e motor portão.

### 3.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico

Para o dimensionamento do sistema será necessário o levantamento do consumo diário de carga necessária ao condomínio, o dimensionamento dos equipamentos inversor CC/CA, banco de baterias, painel fotovoltaico e controlador de carga. Além disso, para a segunda opção, propõem-se a instalação de um circuito comutador rede / sistema fotovoltaico, com o intuito de subdimensionar o sistema fotovoltaico, diminuindo consideravelmente o banco de baterias estacionárias e consequentemente proporcionando uma redução no custo final do projeto. Esta solução é possível devido a existência da rede concessionária no local da instalação.

A função deste circuito é analisar a carga da bateria e realizar a comutação para a rede quando a mesma estiver com 60% de carga e comutar novamente para o sistema quando a bateria recarregar e estiver com 100% de carga ou quando faltar energia na rede. Esta solução nos permite alterar um dado considerável no dimensionamento do sistema fotovoltaico: A autonomia.

A figura 3.2 ilustra a solução proposta com o circuito comutador.

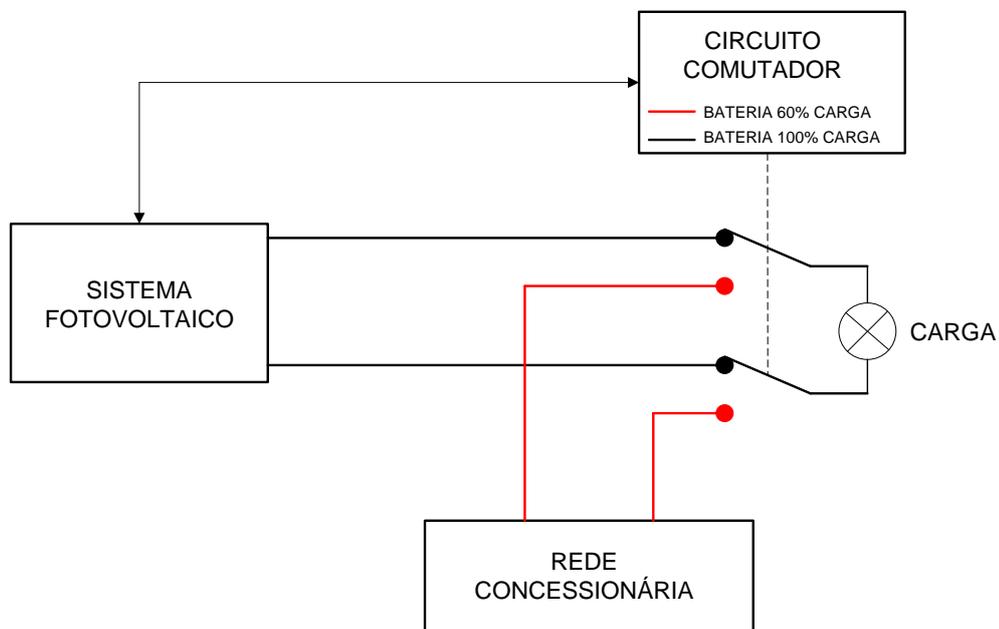


Figura 3.2 – Layout solução proposta com o circuito comutador.

### 3.2.1 Levantamento do consumo do condomínio

Para determinação do consumo da carga estimada para o condomínio em watts hora por dia (Wh/dia), foram adotadas lâmpadas LED e equipamentos comerciais de baixo consumo. A tabela 3.1, mostra que a carga instalada para o condomínio é de 310 watts (W) e que o consumo diário é cerca de 940 (Wh/dia), considerando o uso uniforme durante os dias da semana.

Será adotado lâmpadas LED do fabricante G-LED modelo G-310-2, 5W, 450 lúmens, bivolt (AC 85-265V), vida útil superior a 35.000 horas e de equivalência a uma incandescente de 40W.

É importante salientar que o sistema fotovoltaico poderá trabalhar com qualquer tipo de equipamentos e lâmpadas (LED, fluorescente ou incandescente), pois o mesmo irá fornecer através do inversor CC/CA, tensão de 127 V. A questão é que quanto mais potência solicitarmos do sistema, menor será sua autonomia, já que o mesmo será projetado para os equipamentos conforme tabela 3.1.

*Tabela 3.1: Consumo estimado de carga para o condomínio*

Quant.	Equipamento	Consumo Watts (W)		Horas de uso/dia	Consumo W/dia
		Unitário	total		
10	Lâmpada LED - garagem coberta com sensor de presença	5	50	4	200
6	Lâmpada LED - garagem descoberta	5	30	12	360
7	Lâmpada LED - Hall escadas com sensor de presença	5	35	2	70
1	Central cerca elétrica e interfone	5	5	24	120
1	Motor portão eletrônico	190	190	1	190
Total consumo			310 (W)		940 (Wh/dia)

Portanto o sistema deve gerar no mínimo 0,94 (kWh) por dia para atender a demanda do condomínio.

### 3.2.2 Dimensionamento do inversor CC/CA

Para o dimensionamento do inversor é necessário saber a potência que o mesmo terá de fornecer de maneira permanente. Para isso consideremos o pior caso, ou seja, todos os equipamentos ligados simultaneamente. Esse valor é então de 310 W, conforme tabela 3.1.

Logo, o inversor deverá possuir uma potência real mínima de 310 W. Porém como os inversores fornecem sua potência considerando uma carga puramente resistiva, consideraremos um fator de potência de 0.60, nominal das lâmpadas eletrônicas e motores monofásicos de baixa potência. Teremos então uma potência aparente máxima, em regime nominal, dada por:

$$S_N = \frac{P}{fp} = \frac{310W}{0.6} \cong 517VA$$

Onde:

- $S_N$  é a potência aparente (VA);
- $P$  é soma das potências ativas dos equipamentos (W);
- $fp$  é o fator de potência da carga.

Outro fator importante é que devido a carga possuir um motor monofásico para abertura do portão, devemos nos atentar para a corrente de partida  $I_p$  e adotar um inversor com saída senoidal pura, conforme indicado pelo fabricante Xantrex e ilustrado na figura 2.11.

Será adotado para o portão eletrônico um motor do fabricante Rossi com as características conforme tabela 3.2.

Tabela 3.2: Características técnicas motor portão eletrônico

Modelo	DZ3 SK Turbo
Potência nominal	0,25 CV $\approx$ 0,19kW
Rotação	1620 rpm
Redução	22:01
Corrente nominal ( $I_n$ )	1,7A
Corrente de partida ( $I_p$ )	7A

Será solicitado do inversor então uma potência maior para a partida do motor, conforme mostrado a seguir.

$$S_P = \frac{V_I \times I_P}{fp} = \frac{120V \times 7A}{0,6} = 1400VA$$

Onde:

- $S_P$  é a potência aparente de partida do motor;
- $V_I$  é a tensão na saída do inversor;
- $I_P$  é a corrente de partida do motor;
- $fp$  é o fator de potência do motor.

A pior situação ocorrerá quando o motor do portão for acionado com todas as demais cargas ligadas (lâmpadas, cerca elétrica e interfone). Considerando a cerca elétrica e interfone como cargas puramente resistivas, já que a potência consumida pelas mesmas é muita baixa, teremos então:

$$S_T = S_L + S_C + S_P$$

$$S_T = \frac{50 + 30 + 35}{0,6} + 5 + 1400 \cong 1595W$$

Onde:

- $S_T$  é a potência máxima exigida do sistema;
- $S_L$  é a potência das lâmpadas;
- $S_C$  é a potência da cerca elétrica e interfone.

Para este projeto será especificado o inversor do fabricante Xantrex, modelo PROwatt SW 1000 com as características indicadas na tabela 3.3.

Tabela 3.3: Principais características do inversor PROwatt SW1000

Modelo	PROwatt SW1000
Potência contínua de saída	1000 W
Potência de surto / pico	2000 W
Tensão de entrada	12 Vcc
Tensão de saída	120 Vac
Frequência de saída	60 Hz
Máxima eficiência	90%
Formato onda de saída	Senoidal pura

Para este inversor quando o mesmo estiver operando a plena carga nominal de projeto, teremos:

$$S_U = \frac{S_N}{S_{Inv}} = \frac{517}{1000} \times 100 \cong 52\%$$

Onde:

- $S_U$  é a potência utilizada;
- $S_{Inv}$  é a potência contínua de saída do inversor.

Desta forma o inversor estará trabalhando com 52% de sua capacidade, o que garante uma boa eficiência além de uma reserva para o caso de novas cargas adicionadas ao sistema.

Para a situação de pior caso,  $S_T = 1595W$ , o inversor também atende com alguma margem, já que conforme indicado na tabela 3.3, para situações de potência de surto / pico, o mesmo suporta 2.000 Watts.

### 3.2.3 Dimensionamento do banco de baterias

Conforme a tabela 3.1, o sistema deve gerar no mínimo 940 Watts por dia para atender a demanda do condomínio, porém conforme indicado na tabela 3.3, o inversor possui eficiência de 90%, portanto o valor a ser gerado diariamente pelo sistema fotovoltaico na entrada do inversor será:

$$S_{SF} = \frac{940 Wh / dia}{0,90} \cong 1045 Wh / dia$$

Onde:

- $S_{SF}$  é a potência a ser fornecida pelo sistema fotovoltaico.

#### 3.2.3.1 Para um sistema fotovoltaico autônomo - SFA

Como neste caso o sistema será totalmente autônomo, será adotado uma autonomia ( $N$ ) de quatro dias com o objetivo do sistema suprir, dentro do possível, a energia em tempos de pouca insolação, portanto:

$$N = 4$$

Para o cálculo da capacidade útil do banco de baterias, para quatro dias de autonomia, tem-se:

$$C_U = \frac{S_{SF} \times N}{V_i} = \frac{1045 Wh / dia \times 4}{12 V} \cong 350 Ah$$

Onde:

- $C_U$  é a capacidade útil do banco de baterias;
- $V_i$  é a tensão de operação do sistema.

Conforme indicado na figura 2.8, quanto maior a profundidade da descarga da bateria, menor seu tempo de vida útil. Com quatro dias de autonomia e profundidade de descarga no fim da autonomia em 60%, temos em torno de 15% de profundidade de descarga diária, e a projeção de mais de 1800 ciclos de carga e descarga, ou seja, vida útil estimada para o banco de baterias de cinco anos.

$$C_R = \frac{C_U}{P_d} = \frac{350 \text{ Ah}}{0,6} \cong 583 \text{ Ah}$$

Onde:

- $C_R$  é a capacidade real do banco de baterias;
- $P_d$  é a profundidade de descarga das baterias.

Portanto o banco de baterias deverá possuir capacidade real de 583 Ah para prover a potência de 1045 Wh/dia por quatro dias.

Será adotada a bateria estacionária do fabricante Moura, modelo Moura Clean Nano 12MF105 ( $C_N=105 \text{ Ah}$ ). A quantidade de baterias ( $N_B$ ) em paralelo é definido por:

$$N_B = \frac{C_R}{C_N} = \frac{583 \text{ Ah}}{105 \text{ Ah}} \cong 6$$

Como o sistema irá trabalhar com 12Vcc as baterias serão conectadas em paralelo conforme diagrama da figura 3.3.

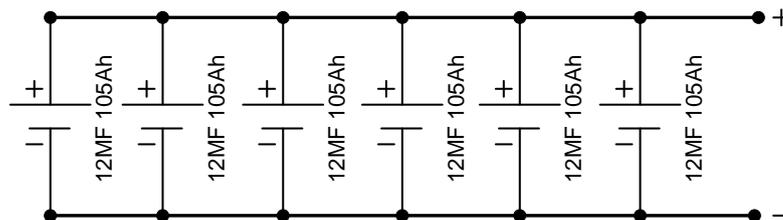


Figura 3.3: Diagrama de ligação das baterias para SFA.

### 3.2.3.2 Para um SFA com a utilização do circuito comutador

Devido ao fato do local possuir rede de concessionária disponível e com o intuito de viabilizar economicamente o projeto, será incorporado um circuito comutador, conforme figura 3.2, neste caso a autonomia adotada para o sistema será de apenas 12 horas, mesmo porque o único equipamento ligado por mais de doze horas é o interfone e a cerca elétrica, cujo consumo é muito pequeno, portanto:

$$N = 0,5$$

Para o cálculo da capacidade útil da bateria / banco de baterias, para 12 horas de autonomia, tem-se:

$$C_U = \frac{S_{SF} \times N}{V_i} = \frac{1045 \text{ Wh/dia} \times 0,5}{12 \text{ V}} \cong 44 \text{ Ah}$$

Conforme indicado na figura 2.8, quanto maior a profundidade da descarga da bateria, menor seu tempo de vida útil. Estipulando um tempo de vida útil de aproximadamente 5 anos, teremos uma profundidade de descarga em torno de 20%, ou seja, bateria com 80% de carga.

$$C_R = \frac{C_U}{P_d} = \frac{44 \text{ Ah}}{0,2} \cong 220 \text{ Ah}$$

Portanto o banco de baterias deverá possuir capacidade real de 220 Ah para prover a potência de 1045 Wh/dia por 12 horas.

Será adotada a bateria estacionária do fabricante Moura, modelo Moura Clean Nano 12MF105 ( $C_N=105 \text{ Ah}$ ). A quantidade de baterias em paralelo é definido por:

$$N_B = \frac{C_R}{C_N} = \frac{220 \text{ Ah}}{105 \text{ Ah}} \cong 2$$

Como o sistema irá trabalhar com 12Vcc as baterias serão conectadas em paralelo conforme diagrama da figura 3.4.

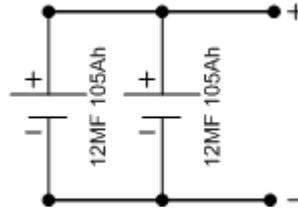


Figura 3.4: Diagrama de ligação das baterias para SFA com circuito comutador.

### 3.2.4 Dimensionamento do painel fotovoltaico

#### 3.2.4.1 Disponibilidade de radiação solar

Como o sistema fotovoltaico autônomo será instalado na região da Pampulha em Belo Horizonte, tem-se através do programa GoogleMaps ([maps.google.com](http://maps.google.com)) uma latitude aproximada de 19,92° Sul e sua longitude de 43,93° Oeste para este local.

O CRESESB disponibiliza a consulta através do sistema de dados SunData ([www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)). Através da latitude e longitude, obtemos a localidade mais próxima, com os dados conforme tabela 3.4.

Tabela 3.4: Radiação diária média mensal para Belo Horizonte – MG

(Fonte: SunData / CRESESB, 2012)

Município: Belo Horizonte - MG  
 Latitude: 19,920833° Sul  
 Longitude: 43,937777° Oeste  
 Distância: 8,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Radiação diária média mensal [kwh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	4,28	5,56	4,06	4,28	3,69	3,72	3,97	4,36	4,69	4,44	4,81	4,33	4,35	1,87
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	3,95	5,31	4,11	4,71	4,36	4,62	4,86	4,98	4,92	4,33	4,46	3,96	4,55	1,36
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	20° N	3,95	5,31	4,11	4,71	4,36	4,62	4,86	4,98	4,92	4,33	4,46	3,96	4,55	1,36
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	12° N	4,12	5,46	4,13	4,59	4,14	4,31	4,56	4,78	4,88	4,42	4,64	4,14	4,51	1,35

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, será considerado o mês de menor incidência solar (pior caso), que conforme tabela 3.3, corresponde ao mês de maio é de 3,69 KWh/m<sup>2</sup>.dia, para uma inclinação de 0°.

$$H_C = 3,69 \text{ KWh}/\text{m}^2 \times \text{dia}$$

Onde:

- $H_C$  é a energia solar incidente no local da instalação no plano horizontal

### 3.2.4.2 Inclinação do painel fotovoltaico

Além do plano horizontal o SunData fornece outras três inclinações. Estas são geralmente as inclinações mais favoráveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos. A escolha de uma delas depende principalmente da atividade final da instalação. Para este caso será adotado o ângulo igual á latitude, pois o mesmo é uma inclinação padrão, usada normalmente para locais onde são desenvolvidas atividades de caráter permanente como residências.

Conforme tabela 3.4, a inclinação do módulo fotovoltaico será então de 20° Norte.

Devido a esta inclinação, devemos aplicar o “fator de correção k para superfícies inclinadas”, disponível em ([www.blue-sol.com/downloads/HSP-e-FatorK.xls](http://www.blue-sol.com/downloads/HSP-e-FatorK.xls)), conforme tabela 3.5.

Tabela 3.5: Fator de correção k para superfícies inclinadas para latitude 20°

INC,	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0,99	1,01	1,02	1,04	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1	0,99	0,99
10	0,98	1	1,04	1,07	1,09	1,09	1,08	1,06	1,03	1	0,98	0,97
15	0,96	0,99	1,04	1,1	1,13	1,13	1,11	1,08	1,04	0,99	0,96	0,95
20	0,93	0,98	1,05	1,11	1,16	1,16	1,13	1,09	1,04	0,98	0,93	0,91
25	0,9	0,96	1,04	1,12	1,18	1,18	1,15	1,1	1,03	0,96	0,9	0,88
30	0,86	0,93	1,03	1,13	1,19	1,2	1,16	1,1	1,01	0,93	0,86	0,83
35	0,81	0,89	1	1,12	1,2	1,2	1,16	1,09	0,99	0,89	0,81	0,78
40	0,76	0,85	0,98	1,11	1,2	1,2	1,15	1,07	0,97	0,85	0,76	0,73
45	0,7	0,8	0,94	1,09	1,19	1,2	1,14	1,05	0,93	0,81	0,71	0,67
50	0,64	0,75	0,9	1,06	1,17	1,18	1,12	1,02	0,89	0,75	0,65	0,6
55	0,58	0,69	0,86	1,03	1,14	1,16	1,09	0,99	0,85	0,7	0,58	0,54
60	0,51	0,63	0,8	0,99	1,11	1,13	1,06	0,95	0,8	0,64	0,51	0,46
65	0,43	0,56	0,74	0,94	1,07	1,09	1,02	0,9	0,74	0,57	0,44	0,39
70	0,36	0,49	0,68	0,88	1,03	1,05	0,97	0,85	0,68	0,5	0,37	0,31
75	0,28	0,42	0,61	0,82	0,97	1	0,92	0,79	0,62	0,43	0,29	0,23
80	0,2	0,34	0,54	0,76	0,91	0,94	0,87	0,73	0,55	0,36	0,21	0,16
85	0,12	0,26	0,47	0,69	0,85	0,88	0,8	0,67	0,48	0,28	0,13	0,09
90	0,08	0,18	0,39	0,61	0,78	0,81	0,74	0,6	0,4	0,2	0,09	0,08

Conforme a tabela 3.5, para uma inclinação de 20° e mês de maio, temos K=1,16. Portanto:

$$H_{SP} = 3,69 \times 1,16 \cong 4,28 \text{ KWh/m}^2 \times \text{dia}$$

Onde:

- $H_{SP}$  é o potencial energético do local da instalação, no plano do painel.

Ou seja, essa é a energia irradiada por  $\text{m}^2$  para esta região com uma inclinação do painel em 20° orientado para o Norte geográfico.

### 3.2.4.3 Quantidade de módulos fotovoltaicos

Para este projeto será adotado o módulo fotovoltaico do fabricante Kyocera modelo KD135GX-LPU com as características indicadas na tabela 3.6.

Tabela 3.6: Principais características do módulo fotovoltaico KD135GX-LPU

Modelo	KD135GX-LPU
Potência de Pico (Wp)	135W
Tensão Nominal de trabalho (Vm)	12Vcc
Tensão em Máxima Potência (Vmpp)	17.7Vcc
Corrente em Máxima Potência (Impp)	7.63A
Tensão em Circuito Aberto (V <sub>OC</sub> )	22.1V
Corrente de Curto Circuito (I <sub>sc</sub> )	8.37A

Como a tensão do sistema fotovoltaico adotada para trabalho é de 12 Vcc os painéis serão conectados somente em paralelo. A quantidade de módulos é definido pela equação:

$$M_p = \frac{\frac{S_{SF}}{V_i}}{0,90 \times I_{mpp} \times H_{SP}} = \frac{1045}{0,90 \times 7,63 \times 4,28} \cong 3$$

Onde:

- $M_P$  é o número de módulos ligados em paralelo;
- $I_{mp}$  é a Corrente em Máxima Potência fornecida pelo painel.

Portanto será necessário a instalação de três painéis conectados em paralelo.

### 3.2.5 Dimensionamento do Controlador de Carga

O controlador de carga deverá suportar a corrente de curto circuito do painel, que será o pior caso.

$$I_{SC\ total} = M_P \times I_{SC\ módulo} = 3 \times 8,37A = 25,11A$$

Portanto esta deverá ser a menor corrente que o controlador deverá suportar. Adotaremos o inversor com tecnologia PWM, conforme descrito no capítulo 2 e ilustrado na figura 2.9, do fabricante Morningstar modelo ProStar PS30 12V, com as características indicadas na tabela 3.7.

Tabela 3.7: Principais características do controlador de carga ProStar PS30.

Modelo	ProStar PS30
Corrente Nominal do Painel Solar	30A
Corrente Nominal da Carga	30A
Tensão do Sistema	12/24V
Temperatura de Operação	-40°C a +60°C
Consumo Próprio	22mA

### 3.2.6 Dimensionamento das bitolas dos cabos

Para este tipo de sistema as bitolas dos cabos deverão ser dimensionadas levando em consideração a queda de tensão relativa ao comprimento dos cabos, principalmente nos ramos onde a tensão é de 12Vcc, pois nestes casos a corrente será bem maior em comparado aos ramos onde a tensão é de 120Vac.

Para o projeto proposto as distâncias são definidas conforme o layout de instalação ilustrado na figura 3.5

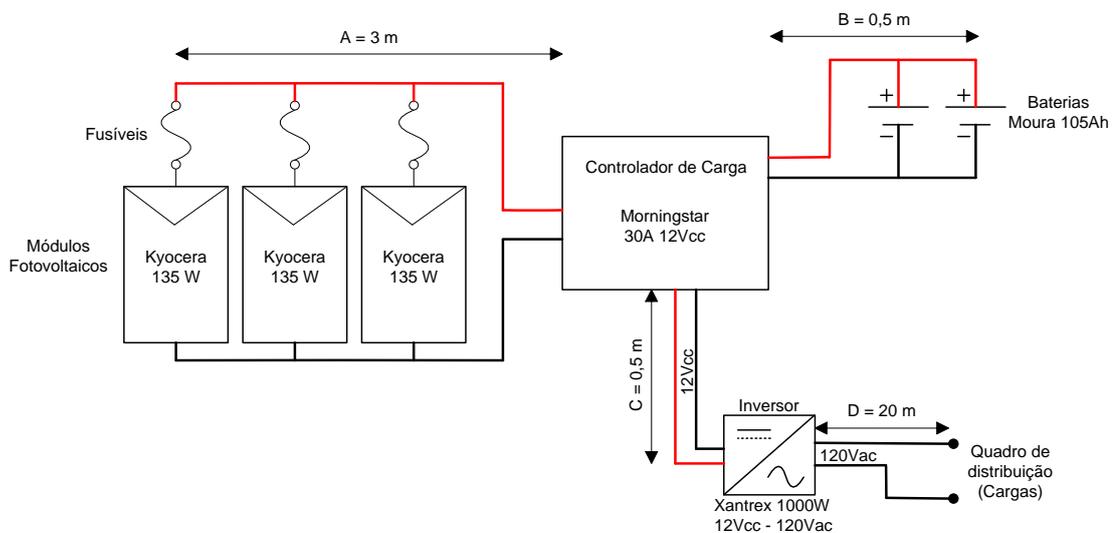


Figura 3.5: Layout de instalação com respectivas distâncias

Conforme o manual Greenpro e considerando 3% de perdas percentuais da linha, temos que:

$$S = \frac{L \times P}{3\% \times U^2 \times k}$$

Onde:

- S é a seção transversal do cabo em mm<sup>2</sup>;
- L é o comprimento do cabo em metros;

- P é a potência transmitida na linha;
- Perdas percentuais da linha (geralmente 3%);
- U é a tensão no ramal do sistema;
- K é a condutividade elétrica (para o cobre  $k=56$ ).

Na tabela 3.8 são apresentados os cálculos referente as bitolas dos cabos e as bitolas especificadas para o projeto conforme padrão disponível de mercado.

Tabela 3.8: Dimensionamento bitola dos cabos.

Cablagem entre trechos	Compr. (m) positivo e negativo	Componentes	Tensão no Trecho	Potência em Watts	Ø Calculado em mm <sup>2</sup>	Ø Especificada em mm <sup>2</sup>
(A+B)	7	Gerador / Baterias	12Vcc	405	11,71	16
(B+C)	2	Baterias / Inversor	12Vcc	1595	13,18	16
(D)	40	Inversor / QDC	120Vac	1595	2,64	4

O layout completo proposto para a instalação do sistema fotovoltaico autônomo - SFA e um SFA com o circuito comutador sistema fotovoltaico / rede concessionária é ilustrado na figura 3.6 e 3.7, respectivamente.

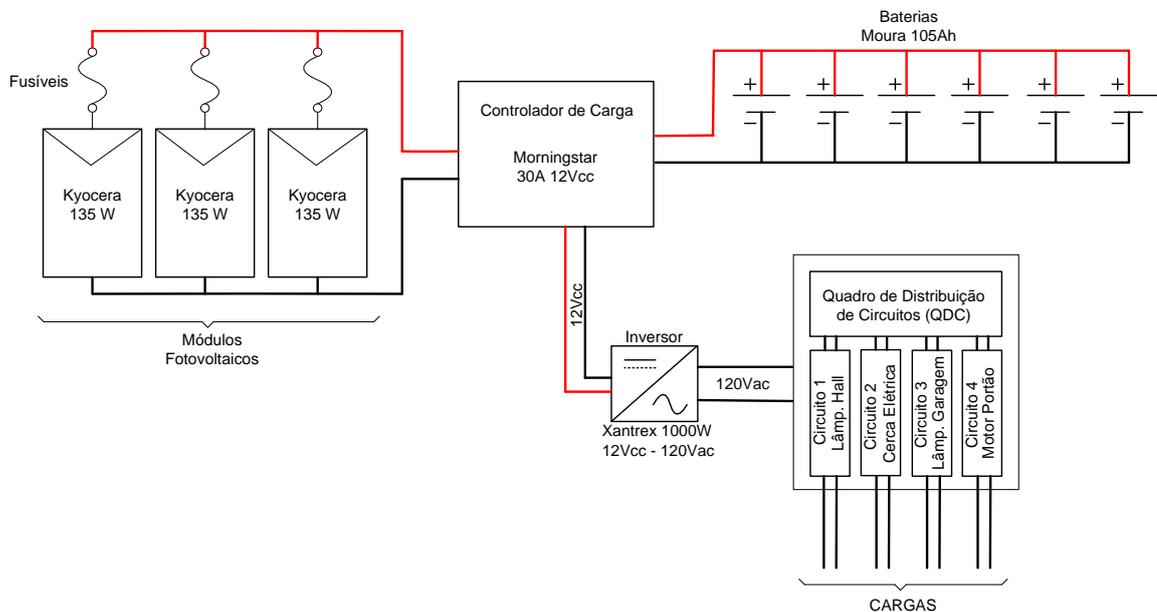


Figura 3.6: Layout completo de instalação para o sistema fotovoltaico autônomo - SFA

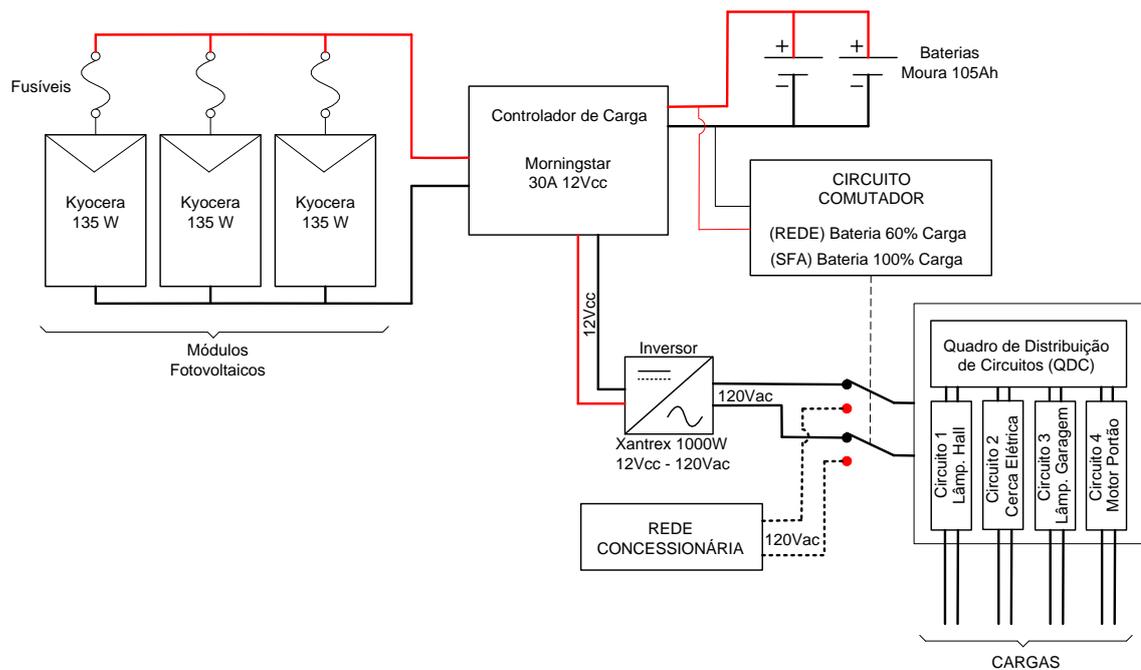


Figura 3.7: Layout completo de instalação para o SFA com circuito comutador

### 3.3 Comparativo de custos entre os sistemas fotovoltaicos e convencional

Para este cálculo analisaremos os seguintes dados:

- ✓ Produção de energia diária pelo sistema fotovoltaico, conforme tabela 3.1: 0,94 kWh/dia (28,20 kWh/mês e 338,40 kWh/ano);
- ✓ Custo do kWh residencial na região: R\$0,63. (Fonte: Cemig, julho/2012);
- ✓ Economia em reais com a utilização do sistema fotovoltaico:  $338,40 \times R\$ 0,63 = R\$213,20/\text{ano}$ ;
- ✓ Vida útil estimada para os módulos fotovoltaicos, conforme descrito em 2.1.2: 20 anos;
- ✓ Vida útil estimada para o inversor e controlador, conforme descrito em 2.1.2: 10 anos;
- ✓ Vida útil estimada para as baterias, conforme descrito em 2.1.2 e 3.2.3.2: 5 anos.

### 3.3.1 Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico autônomo

O custo estimado de cada equipamento para a implantação do projeto, disponível em ([www.neosolar.com.br](http://www.neosolar.com.br), acesso em junho 2012) é indicado na tabela 3.9.

Tabela 3.9: Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico autônomo.

Equipamento	Quant.	Modelo	Fabricante	Preço unit.	Total
Inversor / Conversor	1	PROwatt SW1000	Xantrex	R\$ 2.390,00	R\$ 2.390,00
Bateria Estacionária	6	Clean Nano 12MF105	Moura	R\$ 589,00	R\$ 3.534,00
Painel Fotovoltaico	3	KD135GX-LPU	Kyocera	R\$ 929,00	R\$ 2.787,00
Controlador de Carga	1	ProStar PS30	Morningstar	R\$ 729,00	R\$ 729,00
(Cabos e acessórios)	1	-	-	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Total					R\$ 10.040,00

Fazendo uma estimativa para um período de vinte anos, que no caso seria um ciclo completo de vida de todos os equipamentos envolvidos, conforme descrito em 2.1.2 e levando em consideração os custos de implantação e de manutenção, temos a seguinte situação, conforme tabela 3.10 e figura 3.8.

Tabela 3.10: Custo do sistema fotovoltaico autônomo durante 20 anos.

Equipamento	Durabilidade (anos)	Quantidade (em 20 anos)	Custo Unit.	Custo Total
Inversor / Conversor	10	2	R\$ 2.390,00	R\$ 4.780,00
Bateria Estacionária	5	24	R\$ 589,00	R\$ 14.136,00
Painel Fotovoltaico	20	3	R\$ 929,00	R\$ 2.787,00
Controlador de Carga	10	2	R\$ 729,00	R\$ 1.458,00
(Cabos e acessórios)	-	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Total				R\$ 23.761,00

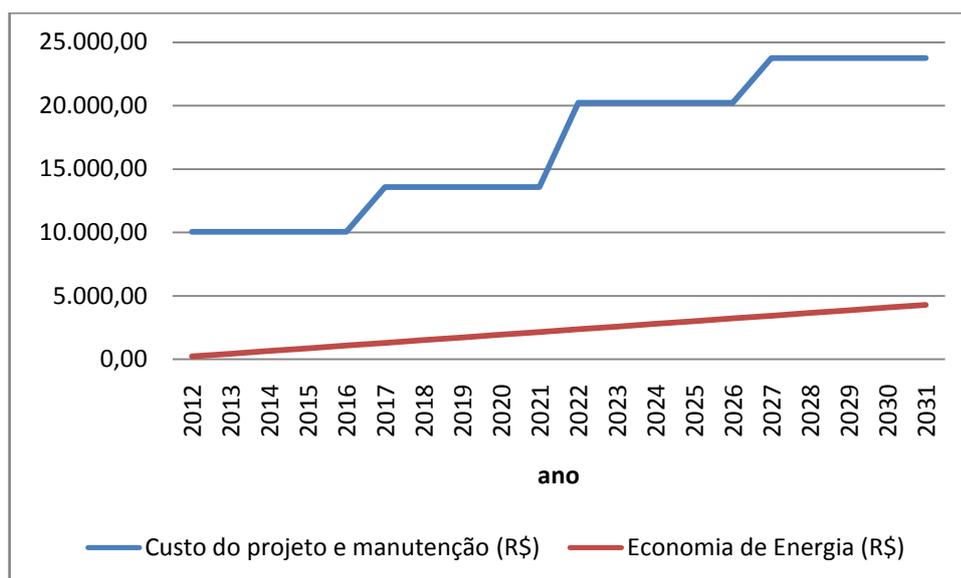


Figura 3.8: Custo do projeto SFA x Economia (período de 20 anos)

Como comparativo, não levando em consideração eventuais reajustes comuns aos dois sistemas durante os vinte anos, podemos observar que o custo do kWh de um sistema convencional será de R\$0,63/kWh, enquanto para que o sistema fotovoltaico autônomo será de:

$$\frac{R\$23.761,00}{20 \text{ anos} \times 338,40 \text{ kWh/ano}} = R\$3,51/\text{kwh}$$

Ou seja, o custo do sistema fotovoltaico autônomo para este projeto é cerca de cinco vezes mais caro que o sistema convencional.

### 3.3.2 Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico utilizando o circuito comutador

O custo estimado de cada equipamento para a implantação do projeto, disponível em ([www.neosolar.com.br](http://www.neosolar.com.br), acesso em junho 2012) é indicado na tabela 3.11.

Tabela 3.11: Custo estimado para o projeto do sistema fotovoltaico com circuito comutador.

Equipamento	Quant.	Modelo	Fabricante	Preço unit.	Total
Inversor / Conversor	1	PROwatt SW1000	Xantrex	R\$ 2.390,00	R\$ 2.390,00
Bateria Estacionária	2	Clean Nano 12MF105	Moura	R\$ 589,00	R\$ 1.178,00
Painel Fotovoltaico	3	KD135GX-LPU	Kyocera	R\$ 929,00	R\$ 2.787,00
Controlador de Carga	1	ProStar PS30	Morningstar	R\$ 729,00	R\$ 729,00
(Cabos, Circ. Comutador)	1	-	-	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Total					R\$ 7.684,00

Fazendo uma estimativa para um período de vinte anos, que no caso seria um ciclo completo de vida de todos os equipamentos envolvidos, conforme descrito em 2.1.2 e levando em consideração os custos de implantação e de manutenção, temos a seguinte situação, conforme tabela 3.12 e figura 3.9.

Tabela 3.12: Custo do sistema fotovoltaico com circuito comutador durante 20 anos.

Equipamento	Durabilidade (anos)	Quantidade (em 20 anos)	Custo Unit.	Custo Total
Inversor / Conversor	10	2	R\$ 2.390,00	R\$ 4.780,00
Bateria Estacionária	5	8	R\$ 589,00	R\$ 4.712,00
Painel Fotovoltaico	20	3	R\$ 929,00	R\$ 2.787,00
Controlador de Carga	10	2	R\$ 729,00	R\$ 1.458,00
(Cabos, Circ. Comutador)	-	1	R\$ 600,00	R\$ 600,00
Total				R\$ 14.337,00

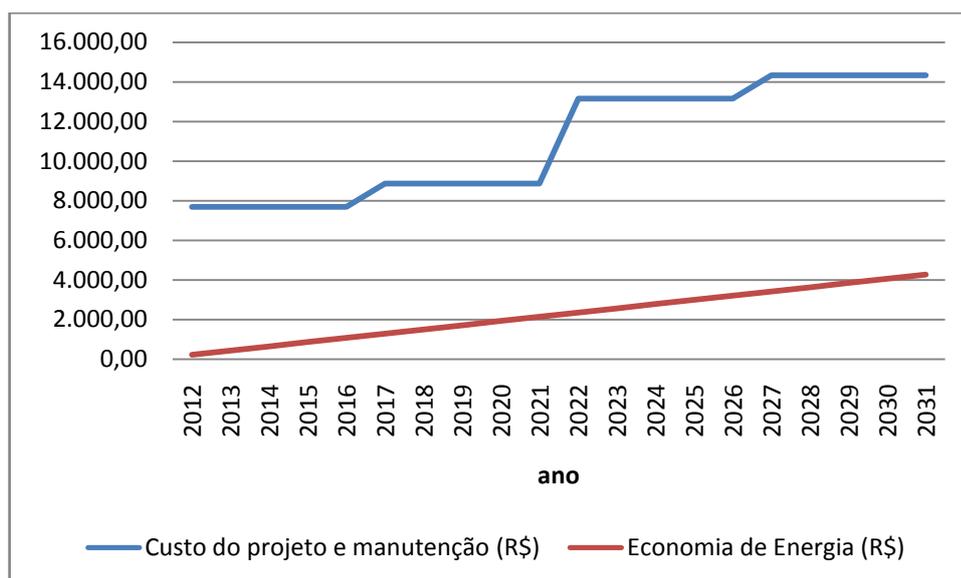


Figura 3.9: Custo do projeto x Economia (período de 20 anos)

Como comparativo, não levando em consideração eventuais reajustes comuns aos dois sistemas durante os vinte anos, podemos observar que o custo do kWh de um sistema convencional será de R\$0,63/kWh, enquanto para que o sistema fotovoltaico autônomo com o circuito comutador será de:

$$\frac{R\$14.337,00}{20 \text{ anos} \times 338,40 \text{ kWh/ano}} = R\$2,12/\text{kwh}$$

Ou seja, o custo do sistema fotovoltaico com o circuito comutador melhorou em relação ao sistema totalmente autônomo, porém ainda ficou bem acima da tarifa da concessionária local.

### 3.3.3 Custo da energia do sistema fotovoltaico utilizando o circuito comutador para o condomínio.

Supondo que o custo inicial de implantação do sistema ficasse a cargo da construtora do edifício e que o mesmo fosse incorporado pelo condomínio, sendo o mesmo responsável por arcar com as manutenções futuras. Neste caso teríamos então a seguinte situação em relação ao condomínio, conforme tabela 3.13 e figura 3.10.

Tabela 3.13: Custo estimado de manutenção do sistema fotovoltaico com circuito comutador durante 20 anos.

Equipamento	Durabilidade (anos)	Quantidade (em 20 anos)	Custo Unit.	Custo Total
Inversor / Conversor	10	1	R\$ 2.390,00	R\$ 2.390,00
Bateria Estacionária	5	6	R\$ 589,00	R\$ 3.534,00
Painel Fotovoltaico	20	0	R\$ 929,00	R\$ 0,00
Controlador de Carga	10	1	R\$ 729,00	R\$ 729,00
(Cabos, Circ. Comutador)	-	0	R\$ 600,00	R\$ 0,00
Total				R\$ 6.653,00

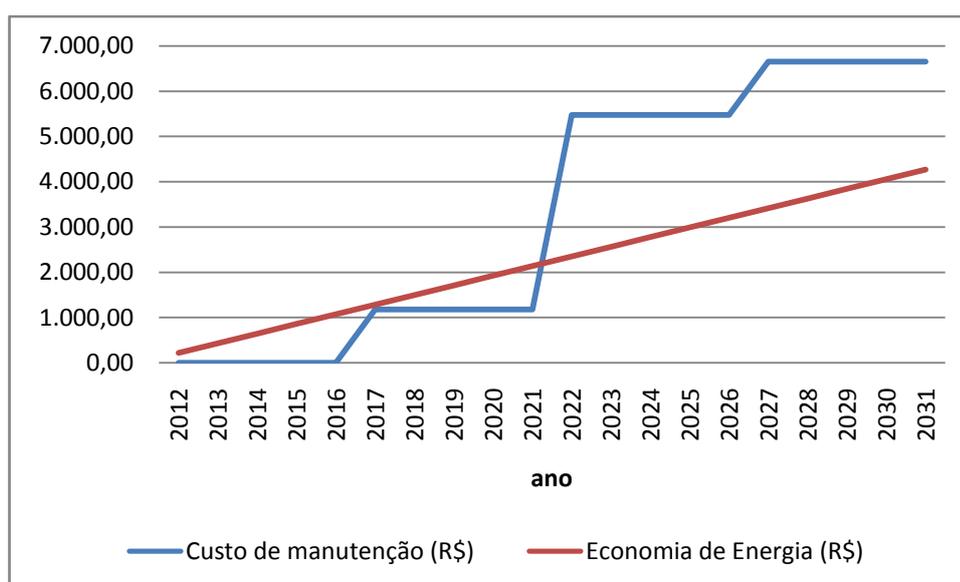


Figura 3.10: Custo de manutenção x Economia (período de 20 anos)

Para esta situação onde se levou em consideração apenas os custos de manutenção do sistema fotovoltaico autônomo com o circuito comutador, o custo do kWh para o condomínio, nos primeiros vinte anos, será de:

$$\frac{R\$6.653,00}{20 \text{ anos} \times 338,40 \text{ kWh/ano}} = R\$0,98/\text{kwh}$$

Mesmo para esta situação o custo do kWh ainda ficou acima da concessionária, sofrendo ainda um aumento progressivo se analisado para um período acima de 20 anos.

#### 4. CONCLUSÃO

Para as três situações propostas em nenhuma o sistema foi economicamente viável em comparação ao custo do kWh da concessionária de energia local, mesmo para a situação do sistema utilizando o circuito comutador e ser incorporado pelo condomínio o custo do kWh, considerando apenas as manutenções, será abaixo do valor da concessionária apenas nos dez primeiros anos, conforme ilustrado na figura 3.10, sofrendo um aumento gradativo com o passar dos anos devido as manutenções necessárias e se tornando inviável a partir de dez anos de utilização.

Portanto a solução de sistemas fotovoltaicos autônomos, aparentemente, se mostra viável apenas em locais remotos, onde ainda não existe a disponibilidade de fornecimento de energia por concessionárias, lembrando que a solução deve ser analisada caso a caso, pois em alguns locais mesmo com a existência de concessionária o usuário tem que arcar com um investimento inicial, por exemplo, por não existir disponibilidade de carga solicitada para o local da instalação.

Vale ressaltar que a sustentabilidade atualmente é um quesito muito importante ao sucesso de um empreendimento e que a mesma busca um equilíbrio baseado em um tripé fundamental: O ambiental, o financeiro e o social. Esta tecnologia (Off-Grid) para este projeto em específico, apesar de não atender ao quesito financeiro, atende aos outros dois e tende a cada dia a se tornar mais competitiva devido sua maior utilização e surgimento de novas tecnologias, como por exemplo, as baterias de lítio-enxofre ainda em desenvolvimento, mas que pelas pesquisas já realizadas apresenta uma expectativa de autonomia de até quatro vezes as das baterias atuais de íon-lítio.

Uma sugestão seria o desenvolvimento deste projeto utilizando a solução de sistema fotovoltaico conectado à rede (On-Grid), já que o mesmo foi recentemente regulamentado pela ANEEL e conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), para uma produção de 5kwp residencial, já se mostra economicamente viável em algumas regiões do país.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A.P.C. Guimarães, C.M. Ribeiro, L.E.G. Bastos, L.C.G. Valente, P.C.D. Silva, and R.X.D. Oliveira, “Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos”, CEPEL - CRESESB, 2004.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11704: Sistemas Fotovoltaicos - Classificação. Rio de Janeiro, 2008.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11876: Módulos Fotovoltaicos - Especificação. Rio de Janeiro, 2010.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-11877: Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-14298: Sistemas Fotovoltaicos - Banco de Baterias - Dimensionamento. Rio de Janeiro, 1999.
- [6] BlueSol Energia Solar: Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaicas. Material utilizado no curso. Belo Horizonte, 2012.
- [7] Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL (Vinculado a Eletrobrás). Disponível em: <[http:// www.cepel.br](http://www.cepel.br) >. Acesso em 02 jun. 2012.
- [8] Empresa de Pesquisa Energética - EPE (Vinculada ao Ministério de Minas e Energia). Disponível em: <[http:// www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br) >. Acesso em 15 jun. 2012.
- [9] Google Maps – Base de dados geográficos do Google. Disponível em: <[http:// www.maps.google.com](http://www.maps.google.com) >. Acesso em 07 jun. 2012.
- [10] GREENPRO. Energia Fotovoltaica – Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação. Janeiro de 2004 - Holanda, Alemanha, Itália, Reino Unido e Portugal (União Européia).

[11] Minha Casa Solar - Empresa especializada em energia solar fotovoltaica. Disponível em: <[http:// www.minhacasasolar.com.br](http://www.minhacasasolar.com.br) >. Acesso em 01 jul. 2012.

[12] Neosolar Energia - Empresa especializada em energia solar fotovoltaica. Disponível em: <[http:// www.neosolar.com.br](http://www.neosolar.com.br) >. Acesso em 01 jul. 2012.

[13] SERRÃO, M. A. S. Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajuíba - Paraty. Monografia. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

[14] SUNDATA - Base de dados sobre radiação solar no Brasil do CRESESB. Disponível em: <[http:// www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br) >. Acesso em 02 jun. 2012.