

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ESTUDO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO
A VAPOR UTILIZANDO ENERGIA SOLAR COMO FONTE GERADORA.**

Autor: Paulino Cutrim Martins

Orientador: Prof.Dr.Luis Felipe Mendes de Moura

Co-Orientador: Prof.Dr.Waldemir Silva de Lima

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

**ESTUDO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO
A VAPOR UTILIZANDO ENERGIA SOLAR COMO FONTE GERADORA.**

Autor: *Paulino Cutrim Martins*

Orientador: *Prof.Dr.Luis Felipe Mendes de Moura*

Co-Orientador: Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima

Curso: Engenharia Mecânica – Mestrado Profissional

Área de Concentração: Refrigeração e Conforto Ambiental.

Trabalho Final de Mestrado Profissional apresentado à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre Profissional em Engenharia Mecânica/Refrigeração e Conforto Ambiental.

Campinas, 2004

MA.- Brasil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÉRMICA E FLUIDOS**

Trabalho Final de Mestrado Profissional

**ESTUDO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO
A VAPOR UTILIZANDO ENERGIA SOLAR COMO FONTE GERADORA.**

Autor: *Paulino Cutrim Martins*

Orientador: *Prof. Dr. Luis Felipe Mendes de Moura*

Co-orientador: *Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima*

Prof. Dr. Kamal A.R. Ismail

UNICAMP

Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima

UEMA

Prof. Dr. Valdemar Silva Leal

UEMA

Campinas, 23 de fevereiro de 2004

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais Francisco Martins e Neide Cutrim Martins, in memoriun; e a minha amiga e companheira Edna Maria Costa da Silva.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

A Deus.

Ao Prof. Dr. Kamal A.R. Ismail.

Ao Prof. Dr. Luiz Felipe Mendes de Moura, orientador.

Ao Prof. Dr. Waldemir Silva de Lima, co-orientador.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica e Produção

“Por isso, vos digo: Pedi, e dar-se-vos-á; buscai, e achareis; batei, e abrir-se-vos-á. Pois todo o que pede recebe; o que busca encontra; e a quem bate, abrir-se-lhe-á.”

Lucas 11,9.

Resumo

MARTINS, Paulino Cutrim, *Estudo do Sistema de Refrigeração por Compressão a Vapor Tendo como Geradora Energia Solar*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 101 p. Trabalho Final de Mestrado Profissional

O presente trabalho apresenta um estudo teórico sobre a aplicação da Energia Solar através de módulos fotovoltaicos para gerar energia elétrica. A energia gerada é armazenada em baterias e depois transformada em corrente alternada, através de conversores que acionarão um sistema de refrigeração de compressão a vapor o qual será utilizado em regiões do Estado que não tem energia convencional.

Palavras Chave: Energia Solar, Sistema Fotovoltaico, Refrigeração a vapor.

Abstract

MARTINS, Paulino Cutrim, *Study System about Reprigerator for Compressor the Steam about Solar Energy*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004.p. Trabalho Final de Mestrado Profissional

The present work show a theoric study about Solar Energy application thur photovoltaic modulus for eletric energy generction. The power generction is stored in batteries and then transformed in alternate current by energy conversors to bing into action a stream compressor system to enviroment refrigeractor which was utilized in regions where no have conventional eletric energy

Key Words: Solar Energy, Photovoltaic System, Steam Refrigeration.

Índice

Lista de figuras	iii
Lista de Tabelas	iv
1 Introdução	01
2 Justificativa	03
3 Objetivo	05
4 Revisão Bibliográfica	06
4.1 Energia Solar	06
4.1.1 O sol	06
4.1.2 Potencial solar	08
4.1.3 Potencial solar brasileiro	09
4.1.4 Horas de insolação diária	10
4.1.5 Cálculo das horas de insolação para a cidade de São Luís.	12
4.1.6 Disponibilidade da Energia Solar	13
4.1.7 Posição e inclinação do Módulo Solar	16
4.1.8 Radiometria	17
4.1.9 Teoria do Semicondutor	17
4.1.10 Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica	23
4.1.11 As Junções “P-N” e as Células Solares	28
4.1.12 Baterias ou Acumuladores	30
4.1.13 Controladores de Carga/Descarga	33
4.1.14 Característica de um Sistema Fotovoltaico	37
4.2 Estudo do ciclo de refrigeração por compressão de vapor	37
4.2.1 Ciclo de refrigeração	37
4.2.2 Estudo termodinâmico de um ciclo e compreensão de vapor	44

4.2.3 Trocadores de calor	45
4.2.4 O ciclo real de compressão de vapor	46
4.2.5 Compressores	47
4.2.6 Condensadores	61
4.2.7 Evaporadores	62
4.2.8 Dispositivo de Expansão	64
4.2.9 Acessórios	69
4.2.10 Refrigerantes	70
5 Metodologia	73
6 Custo da Energia Convencional	90
7 Conclusão	91
Referências Bibliográficas	92
Apêndice	96

Lista de figuras

Figura 1 - Representação esquemática e simplificada da anatomia do sol.	07
Figura 2: Potencialidade de utilização de energia solar no planeta Terra.	09
Figura 3 - Distribuição da latitude no território brasileiro.	10
Figura 4	11
Figura 5	12
Figura 6 - Distribuição da inclinação do módulo solar no mapa do Brasil	16
Figura 7 - Espectro de resistividade	18
Figura 8 - Estrutura Atômica (a) do Ge e (b) do Si	19
Figura 9 - Ligação covalente do átomo de Silício	19
Figura 10 vista ampliada	20
Figura 11 - Diagrama de Blocos da Dopagem	21
Figura 12: Material tipo n(a), (b) e (c)	22
Figura 13: Material tipo P (a), (b) e (c)	23
Figura 14 - Painel solar com alguns dispositivos auxiliares	28
Figura 15 - Níveis de energia de uma junção P-N	29
Figura 16- Circuito de regulação	34
Figura17: Controlador com regulador serie	34
Figura 18 - Controlador com regulador paralelo	35
Figura 19 - Controlador MPP	36
Figura 20 - Ciclo de refrigeração	39
Figura 21 - Exigências de temperatura impostas sobre um ciclo de refrigeração	40
Figura 22 - Ciclo de refrigeração operando com um gás como fluido refrigerante	41
Figura 23 - Ciclo de refrigeração com um refrigerante bifásico	42
Figura 24 - ciclo de refrigeração com compressão seca	42
Figura 25 - Ciclo padrão de refrigeração por compressão de vapor.	43

Figura 26 - Diagrama pressão – entalpia do ciclo padrão de compressão de vapor	44
Figura 27 – Esquema de um ciclo de refrigeração com trocador de calor e diagrama P-H do ciclo	45
Figura 28 – Ciclo de compressão de vapor real comprado com o padrão	47
Figura 29 – Diagrama P-V de um compressor alternativo ideal	50
Figura 30 – Eficiência volumétrica do espaço nocivo e vazão mássica para um compressor ideal	52
Figura 31 – trabalho de compressão e potencia para um compressor Ideal	54
Figura 32 – Efeito de refrigeração e capacidade de refrigeração de um compressor ideal	55
Figura 33 – Coeficiente de eficácia e razão voluntária por unidade de refrigeração para um compressor ideal	56
Figura 34 - Eficiência volumétrica e razão mássica para um compressor ideal	57
Figura 35 - Efeito e capacidade de refrigeração para um compressor ideal	58
Figura 36 - Trabalho de compressão e potência para um compressor ideal.	59
Figura 37 - Eficiência volumétrica efetiva e de espaço nocivo em função da razão de pressões.	60
Figura 38 - Esquema de um condensador evaporativo	61
Figura 39 - Esquema de um evaporador seco.	63
Figura 40 - Esquema de um evaporador inundado	64
Figura 41- Pontos de equilíbrio entre um compressor alternativo e um tubo capilar	66
Figura 42 - Esquema de uma válvula de expansão de pressão constante	66
Figura 43 - Condição de equilíbrio com a válvula de expansão de pressão constante	67
Figura 44: Esquema da válvula de expansão termostática	68
Figura 45 - pontos de equilíbrio com válvula de bóia.	69
Figura 46 - Diagrama de blocos de um sistema fotovoltaico.	74

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados químicos solar	08
Tabela 2 – Cálculo das horas de insolação para São Luís	13
Tabela 3 - Disponibilidade teórica da energia solar para a cidade de São Luís para um dia	15
Tabela 4 - Disponibilidade teórica da energia solar durante um ano para São Luís	15
Tabela 5 - Capacidade Nominal	32
Tabela 6 - Tensões de Flutuação e Carga	32
Tabela 7 - Dimensões Físicas	32

Capítulo 1

Introdução

O sistema de refrigeração a vapor se compõe basicamente de compressor, válvula de expansão e evaporador. A refrigeração é usada para produzir frio, para conforto térmico, para conservação de alimentos, climatizar ambiente de máquina, etc.

O sistema térmico de refrigeração para que funcione precisa de energia do meio externo para acionar o compressor essa forma de energia pode ser elétrica ou pode ser outra forma de energia alternativa. No sistema em estudo o compressor que, compõe o referido sistema é alternativo, sendo que o sistema pesquisado usa energia elétrica. O estudo que será feito visa usar uma fonte alternativa de energia, sendo no caso a energia solar que será captada através de placas e armazenamento em baterias.

Antes das novas tecnologias da aplicação da radiação solar, a Europa pouco iluminada e aquecida pelo sol o denominava de hulha de ouro, embora tenha a média de insolação abaixo de 240 horas/ano. Para o Brasil com a irradiação solar acima de 2500 horas/ano o aproveitamento tanto do calor como da luz transformada em energia aparecem com condições maiores que a Europa.

A energia solar é a fonte de energia mais antiga disponível na terra. Trata-se de uma fonte não poluente e praticamente inesgotável. Estima-se em alguns bilhões de anos o tempo necessário para o exaurimento da energia solar.

Estimativas indicam que um ser humano adulto necessita em torno de 4800Kj de energia para manter sua vida e realizar suas tarefas diárias.

Sendo a energia solar média absorvida pela terra durante um dia, igual a $1,0 \times 10^{22}$ Joules, apenas 1% desta energia seria suficiente para manter a vida de 10^{12} seres humanos.

A energia solar apresenta como vantagens:

- a) Não produz poluição
- b) Além de ser disponível em grande escala, trata-se de uma fonte renovável praticamente inesgotável.
- c) Em sua aplicação os dispositivos, auxiliares não possuem partes móveis que significa considerável simplificação técnica.
- d) A tecnologia, envolvida para o aproveitamento da energia solar é simples e está ao alcance de todos os países inclusive os subdesenvolvidos.
- e) Os raios solares atingem todas as superfícies e da atmosfera terrestre, sendo que o uso da energia solar é particularmente em regiões de difícil acesso.

Por causa da inclinação dos raios solares, é fácil verificar que a energia solar é mais disponível para os países tropicais do terceiro mundo. Verificando o planisfério terrestre observa-se que o Brasil é o maior e o mais populoso entre os países tropicais que possui maior disponibilidade de energia solar.

A conversão direta da energia radiante solar em corrente elétrica é realizável mediante o efeito foto voltaico, que consiste na geração de uma diferença de potencial elétrica, por interação de um fluxo de energia radiante com a matéria. Convém uma análise Custo x Benefício da sua satisfação, pois os brasileiros reclamam formas alternativas de energia elétrica e o Brasil por estar numa condição favorável em termos de insolação é um grande mercado para esse tipo de produto.

Capítulo 2

Justificativa

No início deste século no Brasil, a ordem é economizar energia elétrica. A principal fonte de eletricidade no Brasil são as hidrelétricas. Esta economia é devido principalmente o baixo nível de água nas represas e segundo o Governo Brasileiro, se o consumo for reduzido em no mínimo de 20% evitar-se-á suspensões totais de fornecimento por algumas horas em cada dia

O racionamento de energia expõe a falta de planejamento por parte do Governo e abriga a sociedade a exigir soluções que não tenha custos sociais ou impactos ambientais demasiado alto.

A energia solar por ser gratuita inesgotável e não poluente se constituir em uma alternativa potencial e imediata, caso ganhe espaço nas preocupações dos planejadores nos dias atuais.

A transformação direta da energia solar em energia elétrica é possível através da utilização de células fotovoltaicas num processo que não utiliza peças móveis e um custo operacional baixo.

A quantidade de radiação solar incidente no Brasil, é um fator animador para o aproveitamento dessa energia. A constante redução dos preços que os módulos fotovoltaicas vem apresentando juntamente com os crescimento dos valores obtidos para eficiência de conservação especialmente para as células de silício mono cristalino, também são motivadores.

Com base no acima citado, desenvolveremos um estudo visando o aproveitamento da energia solar para acionar um sistema de refrigeração de compressão a vapor no caso específico de **5 freezers** e ao mesmo tempo fazer um comparativo em termos econômicos com o sistema convencional de energia **vendida** pela concessionária.

Capítulo 3

Objetivo

O trabalho estuda um sistema de refrigeração por compressão a vapor usando a energia solar como fonte geradora. O trabalho visa usar o sistema de refrigeração em regiões onde não existe a energia elétrica e ao mesmo tempo faz um comparativo entre custo-benefício com outras formas de energia, especificamente com a energia elétrica convencional.

Capítulo 4

Revisão Bibliográfica

4.1 Energia Solar

4.1.1 O sol

O sol é a única estrela do sistema solar e pode ser considerado uma fonte inesgotável de energia, uma vez que a minúscula parcela de radiação emitida por ele, que atinge a terra, corresponde a aproximadamente do que seria gerado em dez bilhões de usinas do porte de Itaipu, operando em carga máxima. Para se ter uma idéia, em apenas uma hora, ele fornece a terra uma quantidade de energia superior ao que aqui se consome durante um ano. Além disso é uma energia gratuita e não poluente.

O sol possui um diâmetro equatorial da ordem de um milhão e quatrocentos mil Km, e está a uma distância média da terra de cento e cinquenta milhões de Km. Segundo pesquisas recentes, estima-se que o sol existe aproximadamente quatro bilhões e quinhentos milhões de anos, e segundo os resultados, também, destes estudos estima-se que o sol, atualmente encontra-se na metade de sua vida, isto é: ele deverá brilhar por mais quatro bilhões e quinhentos milhões de anos.

A massa total do sol equivale a, aproximadamente, 333400 vezes a massa da terra, que é de 5976 sextilhões de toneladas isto faz com que somente ele seja responsável por mais de 99% da massa de todo sistema solar.

A temperatura do sol na sua superfície é de aproximadamente 6000°C , e, em seu núcleo a temperatura chega em torno de $20\,000\,000^{\circ}\text{C}$. Por meio de processos de fusão núcleos ocorre a transformação de átomos de hidrogênio em Hélio e, nessa transformação, ocorre a emissão de energia em todos os comprimentos de ondas do espectro eletromagnético.

A figura 1 mostra a estrutura do sol em corte. Ao centro, encontra-se o núcleo solar com raio de aproximadamente 35.000 km que é o local onde ocorrem as fusões nucleares transformando o hidrogênio em Hélio. Nessa região acontece a liberação da energia solar, fazendo com que a temperatura atinja em torno de 20 milhões de graus centígrados. Ao redor do núcleo existe uma zona com aproximadamente 305 mil quilômetros de espessura, na qual a energia se propaga por radiação. E mais perto da superfície há uma outra região com uma espessura de aproximadamente dez mil km na qual a energia se propaga por convecção. Extremamente encontra-se a fotosfera que corresponde a superfície solar, granulada e com manchas.

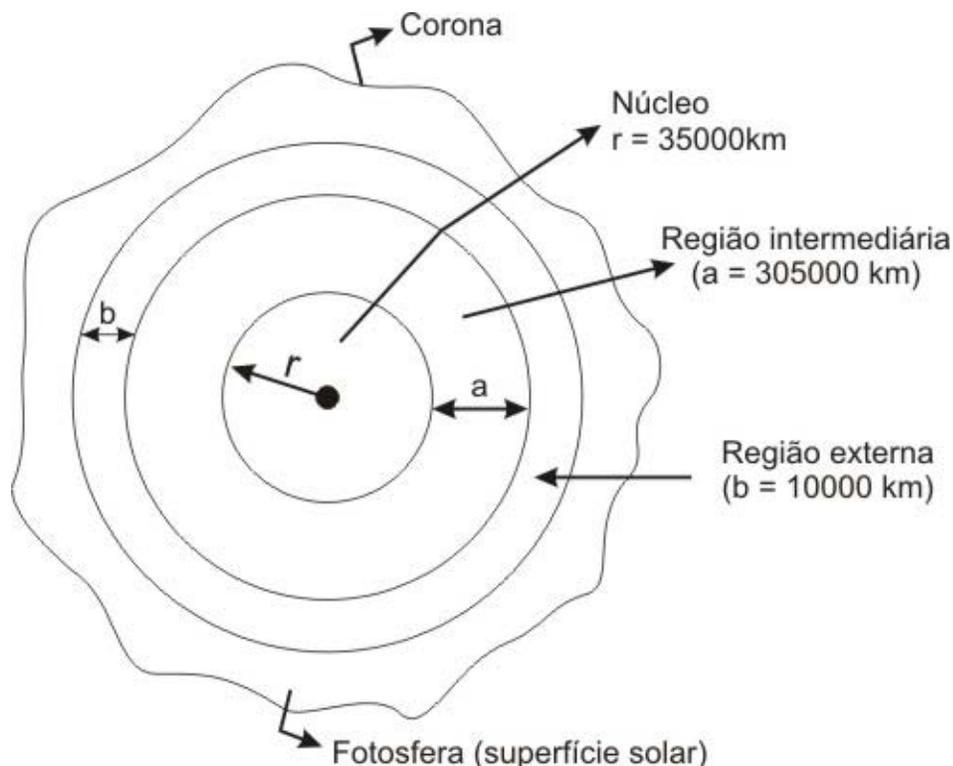


Fig.1 - Representação esquemática e simplificada da anatomia do sol, CAVALCANTI e LOPES (2001)

O Sol é composto pelos mesmos elementos químicos encontrados aqui na terra apenas em quantidades diferentes. Ao todo são mais de 70 elementos químicos presentes no interior do Sol.

Tabela 1: Dados químicos solar, COMMETA (1982)

Elemento químico	Porcentagem
Hidrogênio	92,1%
Hélio	7,8%
Oxigênio	0,061%
Carbono	0,030%
Nitrogênio	0,0084%
Neônio	0,0076%
Ferro	0,0037%
Silício	0,0031%
Magnésio	0,0024%
Enxofre	0,0015%
Outros	0,0015%

4.1.2 Potencial solar

O potencial de energia solar de uma determinada região é determinado, em função da sua localização no Globo. As regiões localizadas acima do Círculo Polar Ártico e abaixo do Círculo Polar Antártico são consideradas como de baixo potencial de energia solar. As regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos são consideradas como médio potencial de energia solar. E as regiões localizadas entre as linhas tropicais são consideradas de alto potencial de energia solar conforme figura 2.

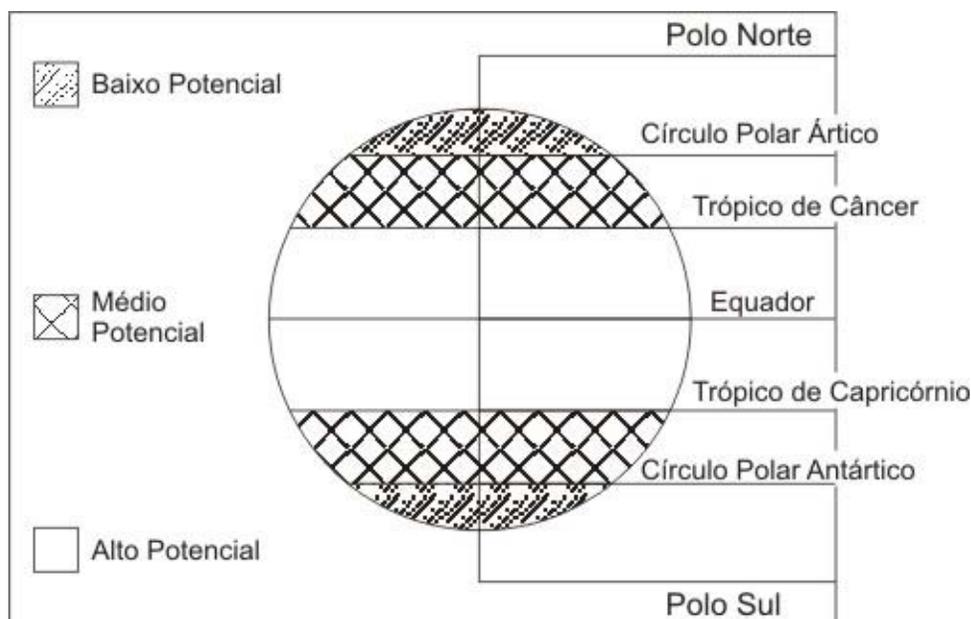


Fig 2: Potencialidade de utilização de energia solar no planeta Terra, CAVALCANTI E LOPES (2001)

4.1.3 Potencial solar brasileiro

O Brasil é um país que possui a grande maioria de seu território localizado na região de alto potencial de energia solar. Seu território se estende, aproximadamente, desde 5° norte até 32° sul, deste modo pode-se observar que o Brasil se encontra na faixa privilegiada em relação a disponibilidade de energia solar, em particular a região nordeste do Brasil situada aproximadamente entre 3° norte e 13° sul, possui um potencial máximo para aproveitamento de energia solar, como mostra a figura 3.

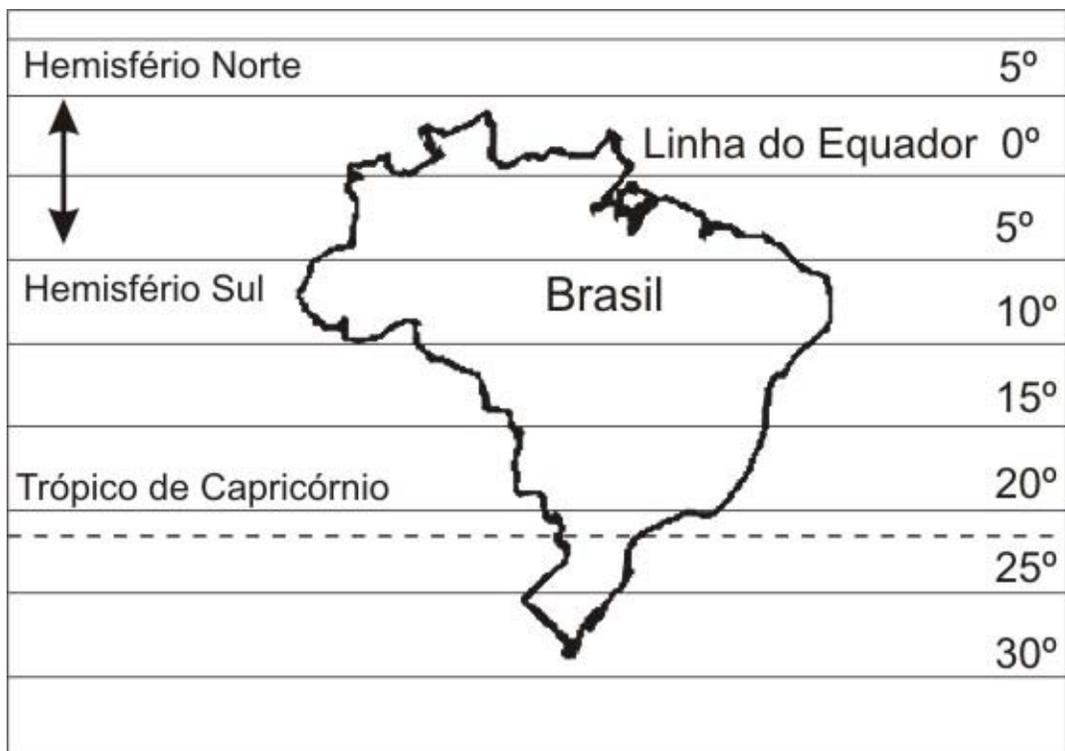


Fig. 3 - Distribuição da latitude no território brasileiro, CAVALCANTI E LOPES (2001)

4.1.4 Horas de insolação diária

Para fazer o cálculo do número teórico de horas de insolação diária, é necessário fazer algumas definições básicas sobre as relações angulares Sol-Terra.

Ângulos básicos

Para determinar a posição de um ponto “p” na superfície da Terra em relação aos raios solares, torna-se necessário conhecer num dado instante, o ângulo horário do ponto, a latitude e a declinação do Sol.

A declinação é a distância angular entre o Equador terrestre e o plano de órbita. Este ângulo (δ), varia durante o ano de $23,45^\circ$ (solstício de verão no hemisfério Norte 22 de junho) a $-23,45^\circ$ (solstício de inverno no hemisfério Norte 22 de dezembro). Nos equinócios (da primavera e do outono) o ângulo de inclinação é zero. A declinação solar é calculada pela equação:

$$\delta = 23,45\text{sen}(360/d.365,25) \quad (4.1)$$

onde d é o número de dias decorridos desde o equinócio do dia 21 de março (primavera) até o dia considerado.

Denomina-se latitude (ϕ) de um ponto da superfície da Terra, ao menor ângulo formado entre a vertical desse ponto e o plano do Equador. A latitude é expressa em graus a partir do Equador (0°), até o pólo Norte (90°) ou o pólo Sul (-90°). O Equador serve de referência para determinar a latitude de qualquer local.

Ângulo horário (h) é uma expressão que descreve a diferença entre o fuso horário local e o meio dia. Embora seja calculado diretamente pela medição das horas é expressa em unidade angular.

$$a \cos(h) = -tg\phi.tg(\delta) \quad (4.2)$$

onde:

ϕ = latitude do local em grau

δ = declinação solar

Na figura 4, temos:

h – ângulo horário

δ – declinação

L – latitude

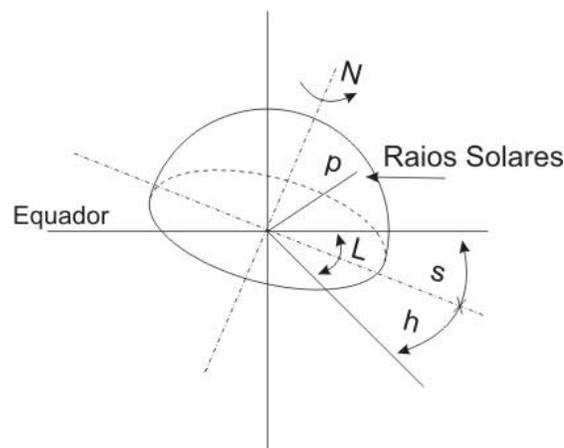


Fig. 4 – Determinação do ponto (p) na superfície da terra, BEZERRA E MOURA (2001).

Ângulos solares derivados.

Tem-se que o zenital (Ψ) é o ângulo que faz os raios solares com a vertical.

Altitude (β) é o ângulo formado entre os raios solares e sua projeção no plano horizontal,

$$\Psi + \beta = \pi/2. \quad (4.3)$$

O azimute (ρ) é o ângulo no plano horizontal formado entre o norte e a projeção horizontal dos raios solares. A figura 5 mostra os ângulos acima.

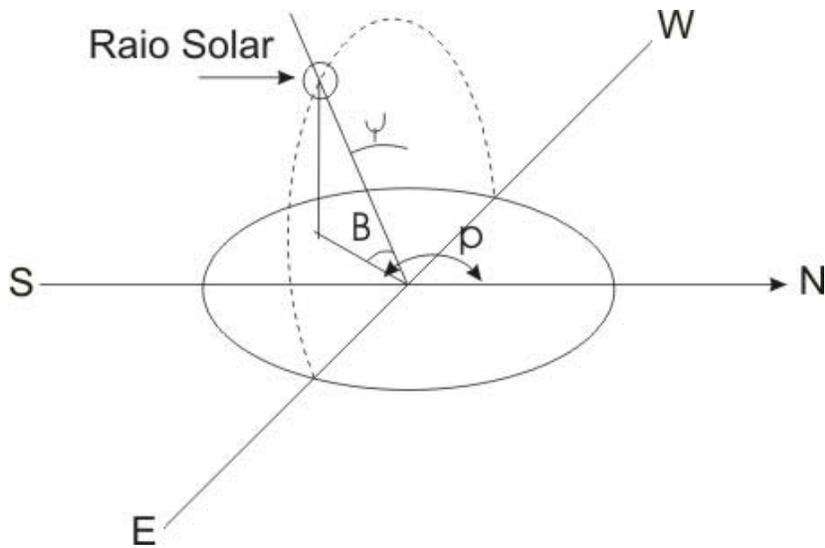


Fig.5 – Ângulos solares derivados, BEZERRA E MOURA (2001).

4.1.5 - Cálculo das horas de insolação para a cidade de São Luís.

Cálculo das horas de insolação durante o ano para a cidade de São Luís, cuja localização é latitude $2,550^\circ$ S e longitude $44,275^\circ$ W. Utilizando os parâmetros anteriormente definidos podemos obter o total de horas de insolação mostrado na tabela 3 onde indicamos a declinação solar e a equação do tempo no dia 21 de cada mês.

Tabela 2 – Cálculo das horas de insolação para São Luís

São Luís (Lat = 2,550° S e longitude = 44,275° W)					
Data	Mês	N	δ	h	N_1
21	JAN	306	-19,97	89,07	11,87
21	FEV	337	-10,25	89,54	11,94
21	MAR	0	0	90	12,00
21	ABR	31	12,07	90,54	12,07
21	MAI	61	20,50	90,95	12,12
21	JUN	92	23,43	91,10	12,14
21	JUL	122	19,90	90,92	12,12
21	AGO	153	10,68	90,48	12,06
21	SET	184	-1,58	89,93	11,99
21	OUT	214	-13,06	89,40	11,92
21	NOV	245	-21,22	89,00	11,86
21	DEZ	275	-23,36	88,89	11,85

Onde:

N – número de dias do ano

δ – declinação

h – ângulo horário em graus

N_1 – número teórico de horas de insolação durante cada dia

$$N_1 = \frac{2h}{15} \quad (4.4)$$

4.1.6 Disponibilidade da Energia Solar

A intensidade I_0 de energia incidente por unidade de área horizontal, desprezando a absorção pela atmosfera terrestre, pode ser considerada igual a constante solar. As medidas da constante solar feitas por satélites fornecem o seguinte valor médio para esta constante solar $I_0 = 1,353 \text{ KW/m}^2$, ADIR JUNIOR (1985).

A energia total incidente por unidade de área horizontal e por unidade de tempo é dada pela expressão abaixo:

$$E_T = \left[E_0 \cdot N_1 \cdot \sin \phi \cdot \sin \delta + \left(\frac{24}{\pi} \right) \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sinh \right] \quad (4.5)$$

Onde:

E_T : energia total incidente em (cal/cm².dia)

$E \rightarrow I_0 = 1,353 \text{ KW/m}^2$ ou $I_0 = 118 \text{ cal/cm}^2.\text{h}$

N_1 : número teórico de horas de insolação durante cada dia.

ϕ : latitude

δ : declinação solar em graus

h : ângulo horário em graus

Utilizando a equação (4.5) calcula-se a energia total incidente sobre uma área horizontal durante o ano para a cidade de São Luís, cuja latitude é de 2,550° S e longitude 44,275° W, sem levar em conta a absorção da atmosfera. Os resultados são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Disponibilidade teórica da energia solar para a cidade de São Luís para um dia

São Luís (Lat = 2,550° S e longitude = 44,275°W)			
δ	N_1	h	E_T
-19,97	11,87	89,07	825,45
-10,25	11,94	89,54	875,45
0	12	90,00	901,02
12,07	12,07	90,54	894,31
20,50	12,12	90,95	866,13
23,45	12,14	91,10	851,81
19,90	12,12	90,92	868,77
10,68	12,06	90,48	897,12
-1,58	12,99	89,93	898,79
-13,06	11,92	89,40	863,52
-21,22	11,86	89,00	817,26
-23,36	11,85	88,89	802,34

$$\underline{X_{ET} = 863,50 \text{ cal/cm}^2 \text{ dia}}$$

Pela média dos valores acima, podemos obter os resultados indicados na tabela 5.

Tabela 5: Disponibilidade teórica da energia solar durante um ano para São Luís

Latitude	E(Kcal/cm ² ano)	Γ (%)
2,550 S	315	97,8

Onde:

Γ : porcentagem da energia incidente, durante um ano, em relação à energia máxima.

$$\Gamma = \frac{E_t}{E_m} \cdot 100 \quad (4.6)$$

E_m : energia máxima incidente para latitude de 0° .
($E_m = 322 \text{ Kcal/cm}^2\text{ano}$) tabelado = constante

4.1.7 Posição e inclinação do Módulo Solar

O módulo solar deve ficar sempre voltado para o Norte. Sua inclinação deve possuir o grau exato, de acordo com o Atlas Geográfico da região onde o mesmo vai ser instalado.



Fig. 6 - Distribuição da inclinação do módulo solar no mapa do Brasil, BEZERRA E MOURA (2001)

1. De 0 a 8 graus:

Amazonas, Norte do Tocantins, Rio Grande do Norte, Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Paranaíba.

2. De 8 a 16 graus:

Pernambuco, Acre, Rondônia, Mato Grosso. Tocantins, Norte de Goiás, Bahia, Alagoas, Sergipe, Distrito Federal e Norte de Minas.

3. De 16 a 24 graus:

Mato Grosso do Sul, Sul de Goiás, Minas, Espírito Santo, São Paulo, Rio de Janeiro, Norte do Paraná.

4. De 24 a 32 graus:

Sul do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul.

4.1.8 Radiometria

Radiometria é a investigação e registro das variações da energia solar incidente sobre uma região. Essa medição da radiação solar direta e difusa pode ser feita descontinuamente ou então continuamente, adaptando-se, nesta última eventualidade, um sistema registrador de dados o qual pode ser numérico ou então gráfico.

- Radiômetro: detecta os efeitos térmicos da radiação na faixa infra vermelho.
- Piranômetro: mede a radiação solar direta e também toda radiação espalhada que atinge o aparelho dentro do hemisfério mencionado.
- Fotômetro: determina a intensidade luminosa de uma superfície ou fonte luminosa.
- Pereliômetro: mede a radiação solar direta. A luz difusa que penetra no tubo do medidor fica restrita às radiações que passam no tubo através de um ângulo na ordem de 5° (correspondente ao campo de visão do instrumento). O seu movimento está sincronizado com o da terra.
- Par termoelétrico, termopar ou termopilha: mede o fluxo luminoso baseado no efeito termoelétrico. Quando uma das juntas de metais diferentes é aquecida enquanto a outra junta permanece na temperatura ambiente, surge uma corrente elétrica e uma ddp entre as juntas.
- Fotocélula: quando a radiação eletromagnética atinge uma placa metálica, a superfície do metal libera elétrons (efeito fotoelétrico externo). A medida da intensidade luminosa é possível pela mensuração da corrente fotoelétrica.
- Célula Solar: É usado tanto para gerar corrente elétrica como para determinação da intensidade luminosa de um feixe. Sendo que esta última exige uma calibração (ou equação teórica) a fim de se estabelecer a relação entre a corrente produzida e a intensidade luminosa do feixe incidente.

4.1.9 Teoria do Semicondutor

Um semi condutor é, um material que possui um nível de condutividade entre os extremos de um isolante e um condutor.

Inversamente relacionada a condutividade de um material está sua resistência ao fluxo de carga, ou corrente. O termo resistividade (ρ) é geralmente usado quando se compara os níveis de resistência dos materiais.

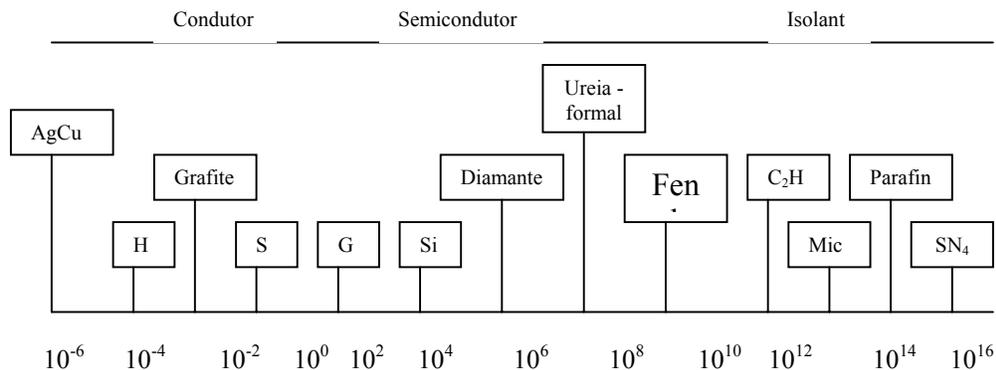


Fig. 7 - Espectro de resistividade, BEZERRA E MOURA (1997).

O Silício e o Germânio são dois materiais que são muito usados no dispositivo de semicondutores. O que justifica a sua utilização é o fato de eles poderem ser fabricados em um nível ótimo de pureza. Esta pureza pode atingir níveis da ordem de 10 bilhões em uma parte do material intrínseco. Esse índice (1 : 10.000.000.000) é necessário, se for considerado que adição de uma parte de impureza (do tipo adequado) por milhão em um wafer do material de Silício pode mudar aquele material de um condutor relativamente pobre para um bom condutor de eletricidade. A capacidade de mudar as características do material através deste processo é conhecido como dopagem, o que já é uma razão porquê o “Ge” e o “Si” têm recebido toda esta atenção. Outra razão é que suas características podem ser alteradas pela aplicação de calor ou luz.

a) Estrutura Atômica

O átomo é composto de três partículas básicas, o elétron, o próton e o nêutron. Na estrutura atômica os nêutrons formam o núcleo, enquanto que os elétrons giram em torno do núcleo em uma órbita fixa. Os modelos de Bohr dos dois semicondutores mais comumente usados, Germânio e Silício, são mostrados na figura 8.

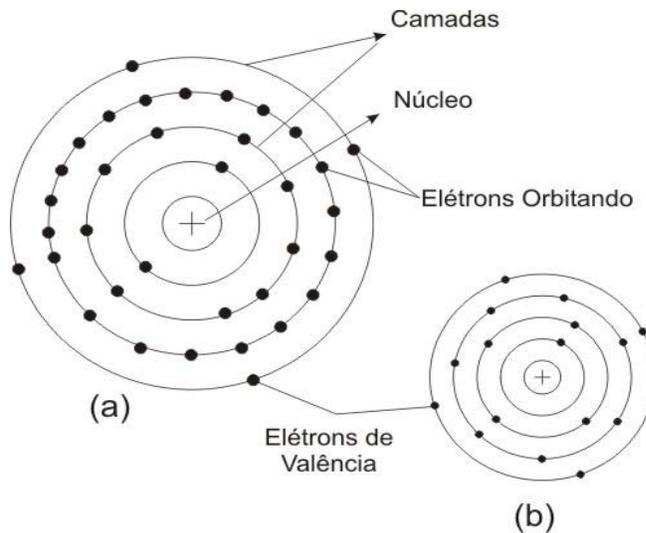


Fig. 8 - Estrutura Atômica (a) do Ge e (b) do Si, BEZERRA E MOURA (1997).

Conforme indicado pela figura 7(a), o átomo de Germânio tem 32 elétrons orbitando, enquanto que o de Silício tem 14. Em cada caso, existem quatro elétrons na camada mais externa (valência). O potencial (potencial de ionização) exigido para qualquer um destes quatro elétrons de valência é menor do que o necessário para qualquer outro na estrutura. Em um cristal puro de Germânio e Silício, estes quatro elétrons de valência estão ligados a quatro átomos de ligação conforme a figura 8 para o Silício. Tanto o Germânio como o Silício são referidos como átomos tetravalentes, pois eles têm, cada um, quatro elétrons de valência.

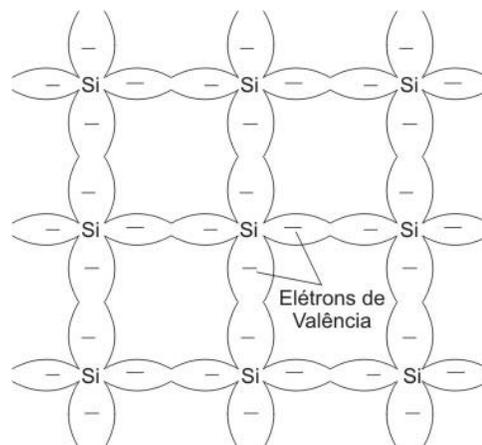


Fig. 9 - Ligação covalente do átomo de Silício, BEZERRA E MOURA (1997).

A ligação de átomos, baseada no compartilhamento de elétrons, é chamada ligação covalente.

A temperatura ambiente, existem aproximadamente $1,5 \times 10^{10}$ portadores livres em um centímetro cúbico de material Silício intrínseco e $2,5 \times 10^{13}$ portadores livres no Germânio intrínseco. Isto não quer dizer que o Germânio é melhor condutor à temperatura ambiente, pois são considerados maus condutores no estado intrínseco.

Um aumento de temperatura de um semiconductor pode resultar em um aumento substancial no número de elétrons livres no material.

A medida que a temperatura aumenta a partir do zero absoluto, um número cada vez maior de elétrons de valência absorve energia térmica suficiente para quebrar a ligação covalente e contribuir para o número de portadores livres. Este número de portadores irá aumentar o índice de condutividade e produzir um menor nível de resistência.

b- Níveis de Energia

Na estrutura atômica isolada existem níveis de energia discretos associados com cada elétron em órbita.

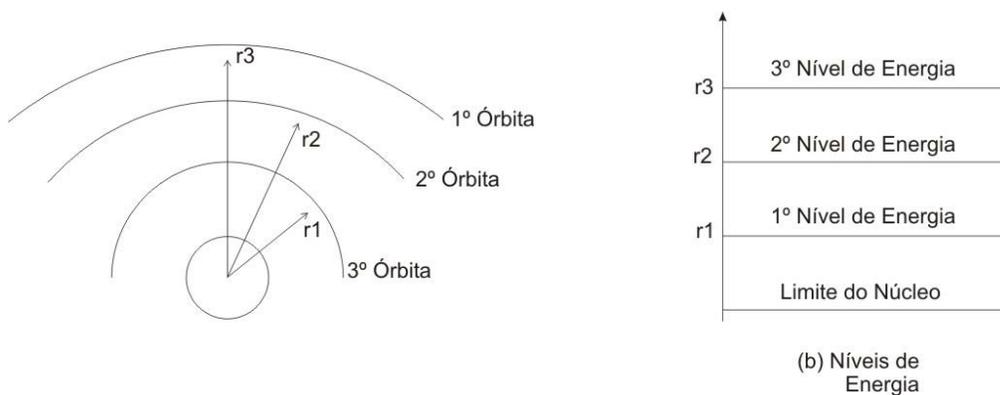


Fig. 10 vista ampliada: Níveis de energia, BEZERRA E MOURA (1997).

Na Figura 10 é necessário energia para deslocar um elétron de uma órbita menor para maior, pois é necessário realizar trabalho para vencer a atração do núcleo.

Se o átomo for bombardeado com energia outra radiação, pode haver um acúmulo dessa energia num dos elétrons e ele é, então, elevado a um nível de energia mais alto.

c) Materiais Extrínsecos

Ao se adicionar certos átomos de impureza no material semiconductor relativamente puro as características destes são alterados significativamente.

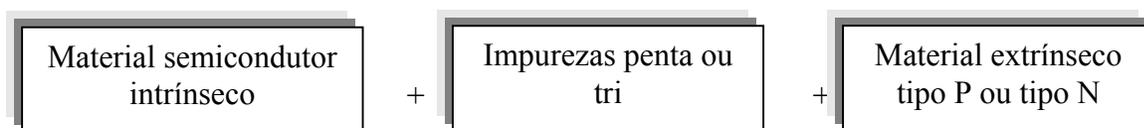


Fig. 11 - Diagrama de Blocos da Dopagem, BEZERRA E MOURA (1997).

C1) Material tipo N

É obtido introduzindo-se os elementos de impurezas que têm cinco elétrons (penta valentes) de Valência como Antimônio (Sb), Arsênio (As) e o Fósforo (p). Neste material o portador majoritário é o elétron e o minoritário é a lacuna.

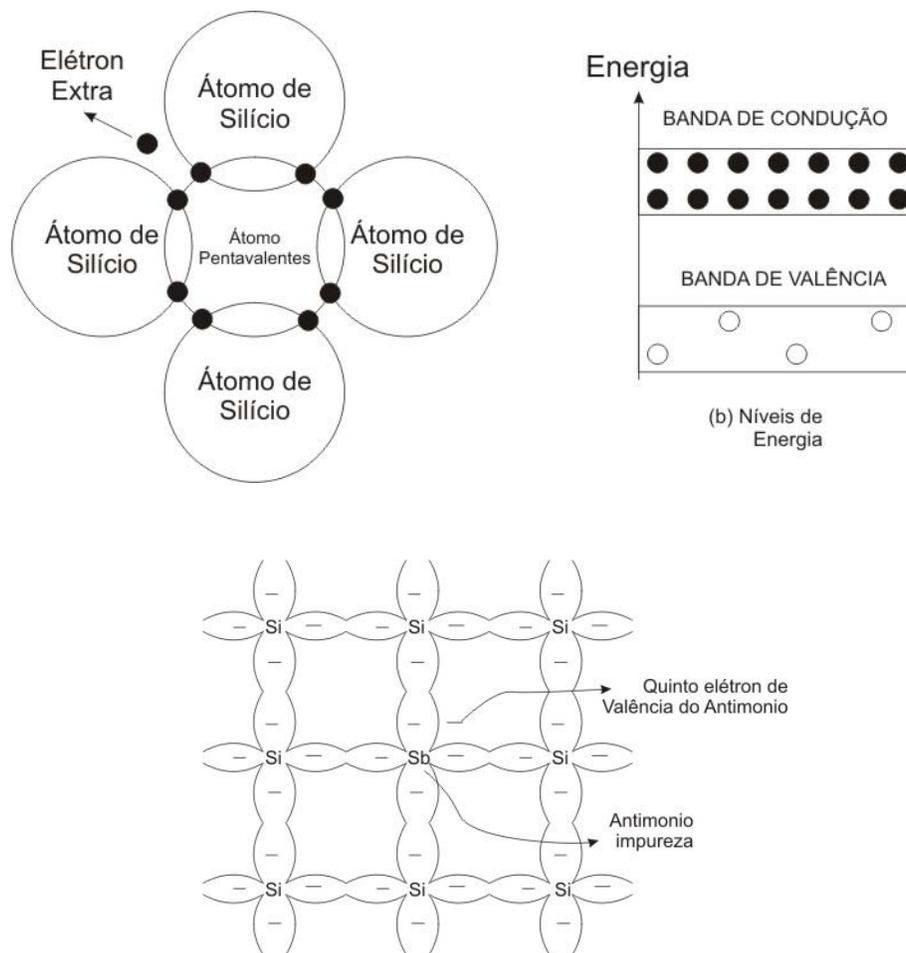


Fig. 12: Material tipo n(a), (b) e (c), BEZERRA E MOURA (1997).

C2) Material tipo P

O material tipo P é formado dopando-se um cristal de Germânio ou Silício puro com átomos de impureza apresentando três elétrons de valência. Os elementos mais frequentemente usados para este propósito são o Boro (B), o Gálio (Ga) e o Índio (In).

Existindo um número insuficiente de elétrons para completar as ligações covalentes da rede recentemente formada, a lacuna resultante é chamada de buraco, e é representada por um pequeno círculo ou sinal positivo devido a ausência de uma carga negativa.

Neste material o buraco é portador majoritário e o elétron é o portador minoritário.

- (a) Dopagem com impureza aceitadora
- (b) Nível de energia
- (c) Impureza de Boro no material tipo (p)

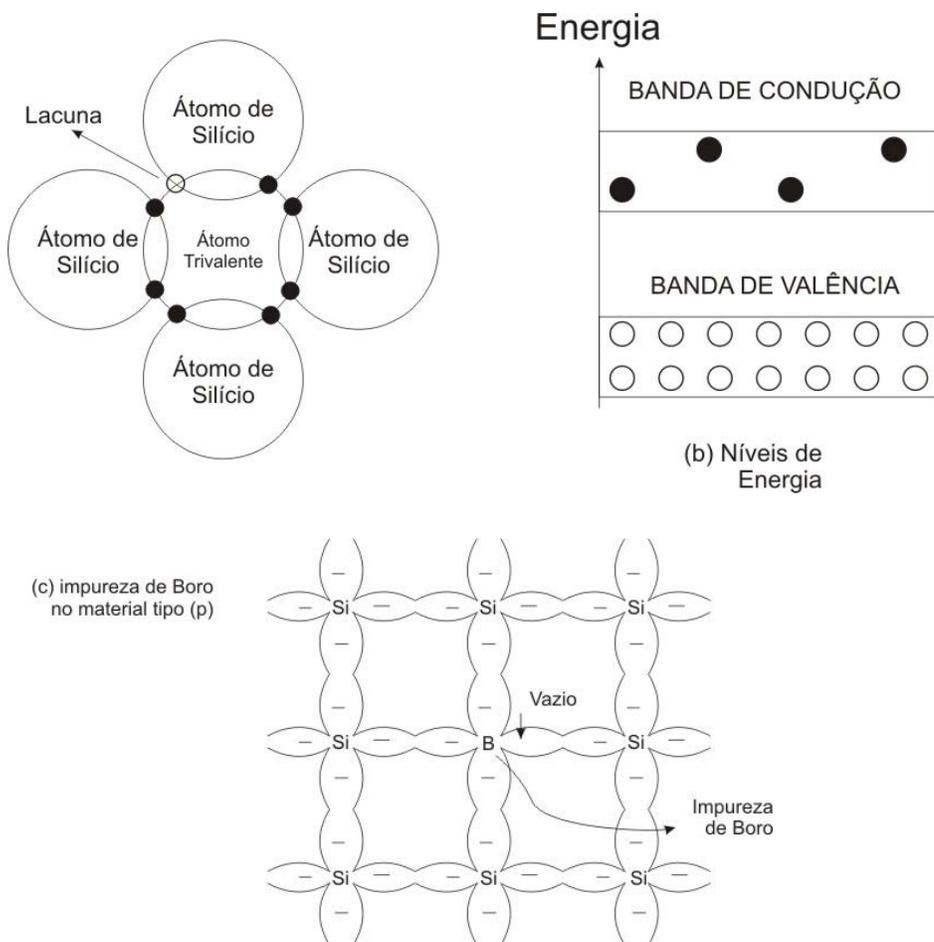


Fig. 13: Material tipo P (a), (b) e (c), BEZERRA E MOURA (1997).

4.1 10 - Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica

A energia solar sob a forma de radiação eletromagnética é a origem de todas as formas de energia, pois até os combustíveis fósseis dela se utilizaram em sua formação.

O princípio de funcionamento da célula fotovoltaica se baseia na propriedade que alguns materiais possuem, quando devidamente manuseados, de gerar uma corrente elétrica, quando sobre eles incide um feixe de luz.

A geração de eletricidade pode ser conseguida diretamente a partir de efeito fotovoltaico.

Quando a luz solar atinge uma junção P-N de um semicondutor, pode ocorrer o chamado efeito fotoelétrico interno (efeito fotovoltaico), ou seja a energia comunicada pelo fóton a um elétron da banda de valência é suficiente para promovê-lo para a banda de condução. Quanto maior a temperatura e a intensidade da radiação incidente maior é o número de elétrons promovidos para a banda de condução aumentando assim, a condutividade do material. Cada elétron promovido para a banda de condução deixa em seu lugar uma lacuna; este mecanismo denomina-se produção de um par elétron-lacuna.

Quando um feixe de luz incide sobre o material P surge através da junção uma diferença de potencial líquida que pode alimentar um circuito externo.

Os fótons incidentes são absorvidos pelo semicondutor P e para cada Fóton absorvido poderá ocorrer a promoção de um elétron para a banda de condução, desde que a fóton absorvido possua uma energia maior do que a energia correspondente a largura da banda proibida. A energia mínima deste processo é chamada de energia de excitação.

Todas as células solares possuem diversas características comuns:

- Existe sempre uma camada semicondutora que funciona como base;
- Possui um condutor ôhmico denominado injetor;
- Uma barreira de energia potencial do outro lado fornecida por uma junção P – N;

As células solares normalmente são colocadas no interior de cápsulas, a fim de protegê-las da ação corrosiva do meio ambiente.

Existem duas perdas básicas que limitem consideravelmente ao rendimento efetivo de uma célula solar. As perdas na junção e as perdas devido a próprio espectro solar.

Na junção “P – N” a principal perda é representada pela presença da densidade de corrente dos portadores minoritários, isto é, um aumento da densidade da corrente de saturação (aquela obtida quando se aplica uma tensão externa maior e contrária a tensão de saída), faz aumentar o valor da densidade de corrente que efetivamente é fornecida para o circuito externo.

As perdas da junção diminuem a medida que a intensidade da radiação aumenta, uma vez que aumenta a tensão efetiva nos terminais da célula. Contudo, a medida que a intensidade da radiação aumenta, ocorre também um aumento paralelo da temperatura da junção.

As perdas devido a existência do espectro da luz solar ocorrem se a energia do fóton for menor que a energia de excitação, pois não ocorre produção de nenhum par elétron-lacuna e sua energia é dissipada sob a forma de calor. Quando a energia do fóton for maior do que a energia de excitação ocorre formação de um par elétron – lacuna e o excesso desta energia se transforma em calor.

Como o espectro da luz solar está compreendido entre os comprimentos de onda de 4000 Å (da violeta) e 7000 Å (luz vermelha) e para uma célula solar de silício, o comprimento de onda de corte possui o valor. (símbolo) = 11000 Å, deduz-se que os fótons incidentes produzem a promoção dos elétrons da banda de valência para a banda de condução.

Existem duas perdas básicas que limitam consideravelmente o rendimento efetivo de uma célula solar; as perdas na junção e as perdas devido ao próprio espectro solar.

Na junção “P-N” a principal perda é representada pela presença da densidade de corrente dos portadores minoritários, isto é, um aumento da densidade da corrente de saturação (aquela obtida quando se aplica uma tensão externa maior e contrária a tensão de saída), faz aumentar o valor da densidade de corrente líquida que atravessa a junção, ocasionando uma diminuição do valor da densidade de corrente que efetivamente é fornecida para o circuito externo.

As perdas da junção diminuem a medida que a intensidade da radiação aumenta uma vez que aumenta a tensão efetiva nos terminais da célula. Contudo, a medida que a intensidade da radiação aumenta, ocorre também um aumento paralelo da temperatura da junção.

As perdas devido a existência do espectro da luz solar ocorrem se a energia do fóton for menor que a energia de excitação, pois não ocorre produção de nenhum par elétron-lacuna e sua energia é dissipada sob a forma de calor. Quando a energia do fóton for maior do que a energia de excitação ocorre formação de um par elétron-lacuna e o excesso desta energia se transforma em calor.

Como o espectro da luz solar está compreendido entre os comprimentos de onda de 4000 Å (da violeta) e 7000 Å (luz vermelha) e para uma célula solar de silício, o comprimento de onda de corte possui o valor: $\lambda = 11000 \text{ Å}$, deduz-se que os fótons incidentes produzem a promoção dos elétrons da banda de valência para a banda de condução. Como espectro solar possui um limite mínimo bastante inferior do comprimento de onda de corte (todos os comprimentos de onda de luz são menores que o comprimento de onda de corte), conclui-se que grande parte da radiação incidente é perdida sob a forma de calor, uma vez que cada fóton da radiação só pode excitar um único elétron e a energia excedente é transformada em calor.

Uma célula fotovoltaica gera uma diferença de potencial na ordem de alguns décimos de volts (0,5 volt, para uma célula de Silício cristalino). Para se obter tensões mais elevadas, basta conectar diversas células em série. Depois de atingir a tensão de saída desejada, se necessário, ligar outros conjuntos de células em paralelo a fim de se obter a potência útil estipulada em cada aplicação.

As células solares são ligadas entre si ou ao circuito externo mediante conexões ôhmicas; estes contatos devem possuir, necessariamente, uma resistividade quase nula a fim de diminuir as perdas por efeito Joule são em geral, redonda ou retangulares. Suas dimensões variam desde 20 até 50mm (de diâmetro) e desde 0,2 a 0,6 mm de espessura).

Um conjunto de células solares ligadas em série e/ou em paralelo constitui um módulo solar. O painel solar é constituído por um conjunto de módulos solares.

Os fatores, que influenciam a eficiência das células solares são:

- Reflexão da superfície;
- Incapacidade de responder a amplitude completa do espectro da radiação solar;
- A recombinação na qual os elétrons gerados pela luz e os furos se chocam uns com os outros ao acaso e se recombina;
- A resistência natural dos elétrons a fluir;
- As células solares de alta temperatura funcionam melhor em baixas temperatura.

Em um painel solar normalmente se associa um ou mais dispositivos auxiliares que são: reguladores de tensão, acumuladores eletroquímicos, conversores, bem como dispositivos óticos ou mecânicos destinados a aumentar o rendimento das células solares, como mostra a figura 14.

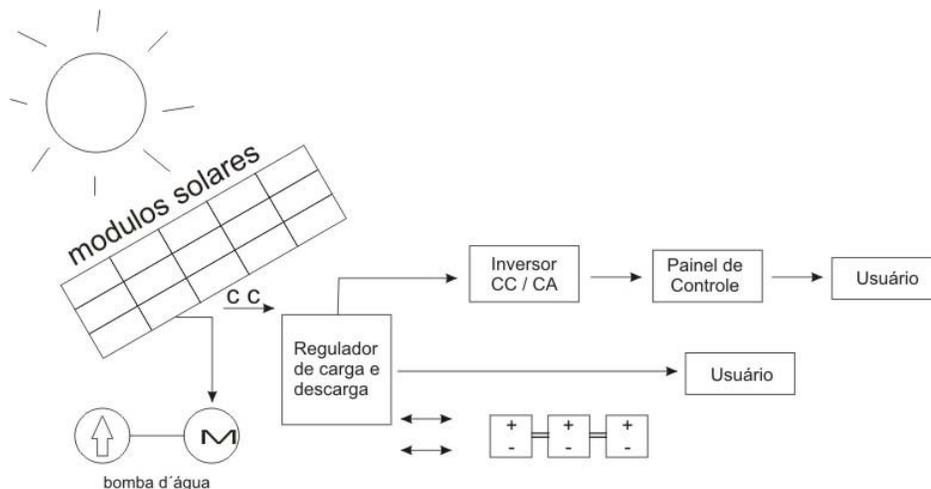


Fig. 14 - Painel solar com alguns dispositivos auxiliares,
CAVALCANTI E LOPES (2001).

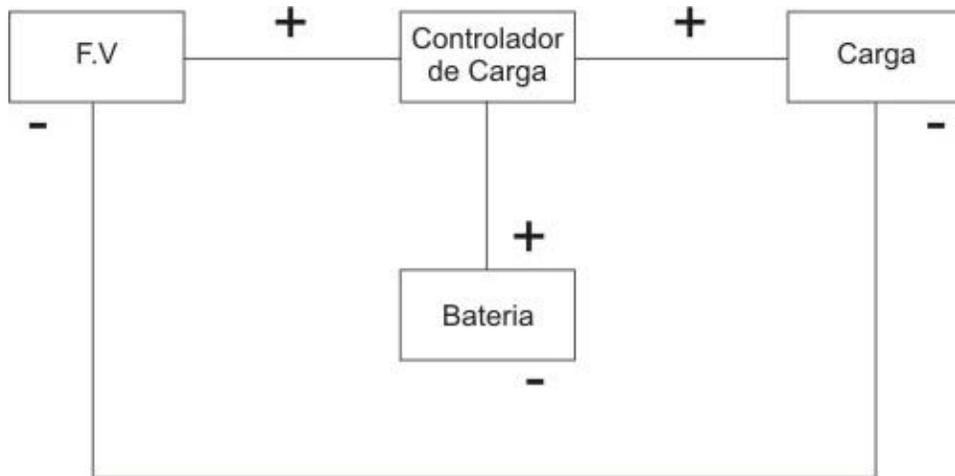


Fig 14: Diagrama de blocos de um sistema F.V, BEZERRA (2001)

Como a radiação solar varia ao longo do dia, de dia para dia e conforme as condições atmosféricas, na maior parte dos sistemas de energia solar será necessário prever armazenagem de energia, através de bactérias ou de acumuladores eletroquímicos.

4.1.11 – As Junções “P-N” e as Células Solares

Existem dois tipos básicos de junções “P-N”: as homojunções e as heterojunções. Uma homojunção é obtida por difusão ou por implantação de impurezas num mesmo semicondutor. A heterojunção é feita, mediante a junção de uma película de dado material com um substrato de outro material, através de pulverização catódica ou qualquer outro processo de deposição.

Numa junção “P-N” ocorre depósito de impurezas doadoras e aceitadoras no interior do mesmo cristal. No lado P da junção existem lacunas livres com uma concentração igual a das cargas negativas produzidas na ionização dos átomos das impurezas aceitadoras, de modo que existe elétrons livres em número igual ao dos átomos doadores. Os portadores de cargas mais importantes para estes dispositivos são as lacunas do lado P e os elétrons do lado N.

Os elétrons do lado “N” tendem a se difundir do lado “N” para o lado “P” e a difusão das lacunas do lado “O” ocorrem no sentido contrário. Contudo as duas difusões tendem a produzir uma neutralidade elétrica. A medida que uma pequena quantidade de cargas se transfere por difusão, surge do lado P um excesso de átomos aceitadores (-) negativo e, do lado n, um excesso de átomos doadores ionizados (+) positivo. Esta dupla camada de cargas cria um campo elétrico orientado da região N para a região P o qual inibe a difusão e mantém a separação entre os dois tipos de portadores.

Por causa deste campo, o potencial eletrostático no interior do cristal sofre um salto na região de transição da junção. Este salto denomina-se barreira potencial de junção “P-N”.

No zero absoluto a banda de condução de um semi condutor puro permanece vazia. A banda de valência permanece cheia, estando situada abaixo da banda de condução. A banda de condução é separada da banda de valência por um intervalo de energia que constitui a chamada banda proibida (E_p). A largura da banda proibida é a diferença de energia entre o ponto inferior da banda de condução e o superior da banda de valência.

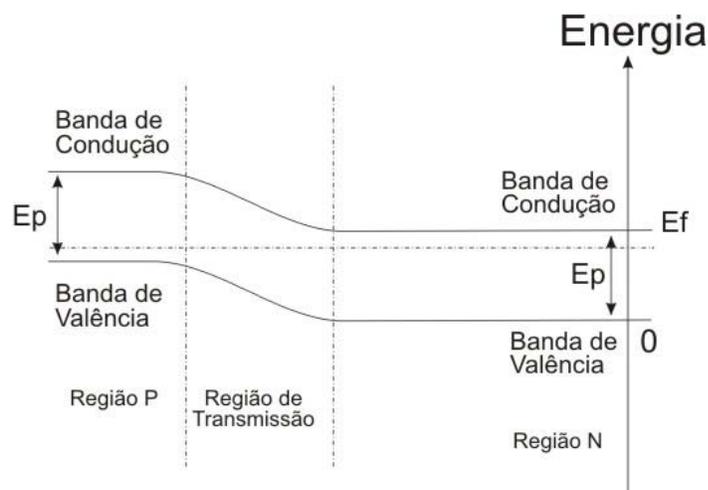


Fig. 15 - Níveis de energia de uma junção P-N, BEZERRA (2001).

A medida que a temperatura aumenta, os elétrons ficam excitados e passam da banda de valência para a banda de condução. Cada elétron que migra para a banda de condução deixa uma

lacuna no interior da banda de valência. Tanto os elétrons como as lacunas contribuem para a condutividade elétrica do semicondutor.

Quando um cristal possui a banda de condução parcialmente cheia, a aplicação de um campo elétrico externo produz uma corrente elétrica no material; quando a banda de energia dos elétrons está completamente vazia não pode ocorrer condução elétrica. Analogamente quando uma banda de energia está completamente cheia não é possível ocorrer uma corrente elétrica no material.

4.1.12 Baterias ou Acumuladores

São os elementos destinados a acumular a energia gerada pelo painel tornando-a disponível sempre que necessário.

Na bateria ou acumulador, a energia é obtida através de reações químicas que ocorrem no catodo (+) e no anodo (-). Na bateria, quando passa uma corrente no sentido contrário ao da corrente elétrica produzida pela bateria, a reação química se processa no sentido inverso e ocorre a restauração de cada eletrodo. Este processo reversível estende a vida da bateria, permitindo que ela seja usada durante vários ciclos de carga e descarga.

Para que uma bateria possa acumular energia de modo eficiente é necessário que ela possua as seguintes propriedades:

- Elevada densidade de energia elétrica;
- Baixa resistência interna;
- Resistência mecânica razoavelmente boa;
- Elevada durabilidade;
- Baixo custo de fabricação.

Uma bateria ideal é aquela que permite reversibilidade total nas reações químicas, com pequenas perdas de energia e sem deteriorização dos eletrodos.

As características principais de uma bateria são:

- Energia específica: que é a razão do peso da bateria pela energia total obtida até que a bateria se descarregue completamente;
- Densidade de energia: é a razão entre a energia total obtida, até que a bateria se descarregue completamente, e o volume da bateria;
- Número completo de ciclos de carga e descarga: relativo a durabilidade da bateria.

Ao se optar por colocação de baterias para auxiliar o sistema fotovoltaico é necessário focalizar pontos para se obter uma ótima escolha, que são os seguintes:

- Tipo de sistema e modo de operação;
- Ciclo profundo;
- Ciclo raso;
- Uso intermitente, ciclo profundo e raso.
- Características de carga; Necessidades Específicas;
- Qualidade e variabilidade da corrente de descarga;
- Profundidade máxima permitida de descarga;
- Exigências de Manutenção;
- Peso e tamanho;
- Configuração dos terminais
- Reputação do fabricante;
- Custo e garantia.

A bateria é própria para ser aplicada em módulos solares. É selada e livre de manutenção.

Tabela 6 - Capacidade Nominal (Baterias Moura SJ GR31F), Catalogo Bateria Moura SJGR31F (2000).

Capacidade Nominal *	
Tempo (horas)	Consumo – Amperes – Horas
100	12
20	110
10	100
5	84
3	72

Tabela 7- Tensões de Flutuação e Carga, Catalogo Bateria Moura SJGR31F (2000).

Tensão	Por célula (V)	Total (V)
De flutuação	2,2	13,2
De carga	2,4	14,4

Tabela 8 - Dimensões Físicas, Catalogo Bateria Moura SJGR31F (2000).

Dimensões (mm)		
Comprimento	Largura	Altura
3,5	170	237

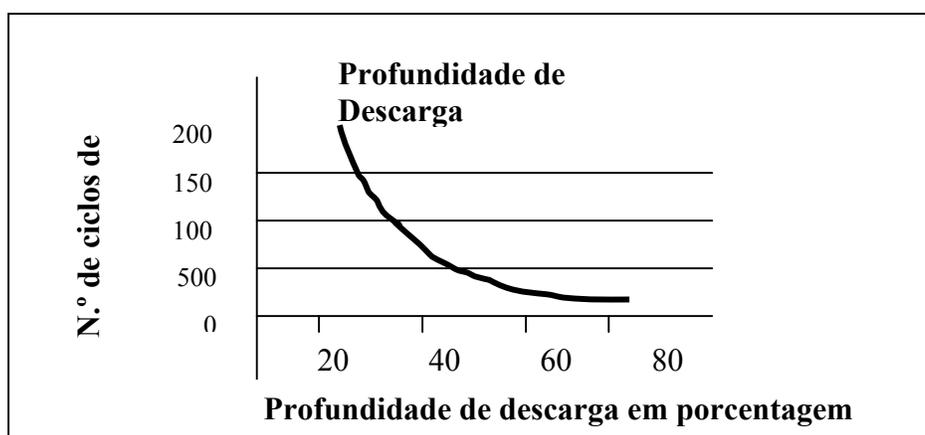


Gráfico 1 - Número de ciclos por profundidade de descarga, Catalogo Bateria Moura SJGR31F (2000).

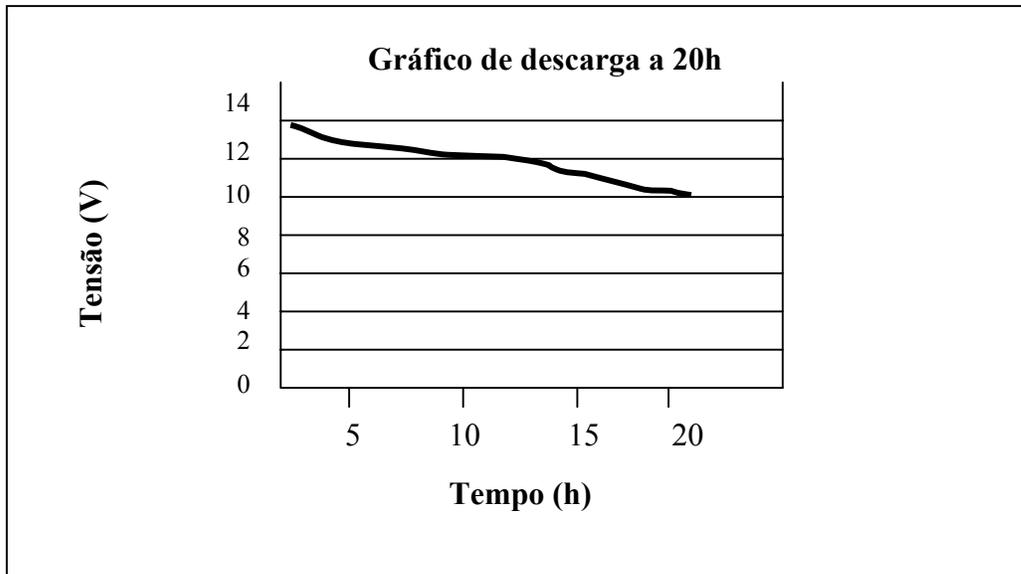


Gráfico 2 - Descarga a 20 horas, Catalogo Bateria Moura SJGR31F (2000).

As baterias não devem ser instaladas diretamente sobre o solo ou piso de cimento, devem ser assentadas sobre uma base plástica ou de matéria. Observar que o local esteja sempre livre de umidade e de impurezas e seja ventilado.

Após efetuada a conexão aos bones, recubrir os terminais com graxa ou vaselina para evitar sulfatação.

4.1.13 Controladores de Carga/Descarga

Tem por finalidade otimizar o uso de energia fotovoltaica, bem como proteger a bateria contra sobrecargas e descargas excessivas, garantindo mais vida útil a bateria e protegendo o módulo evitando o retorno da energia.

Os sistemas solares mais simples não possuem circuito de controle existindo apenas um diodo de proteção como indicado na figura 16. este diodo evita que a bateria se descarregue através dos painéis solares quando a iluminação solar for fraca.

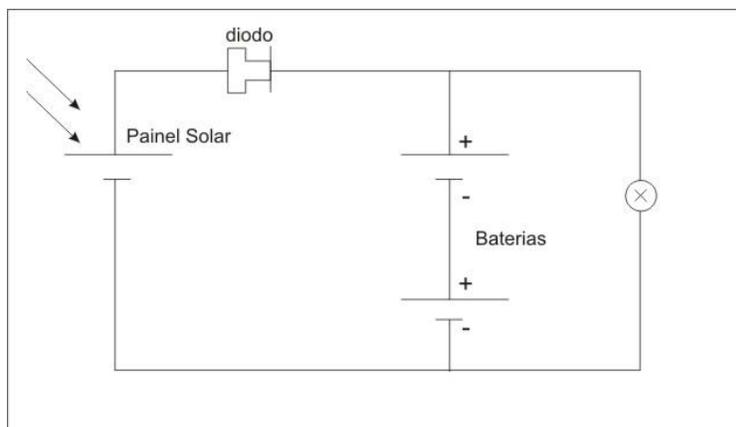


Fig. 16- Circuito de regulação, BEZERRA (2001).

Basicamente existem três tipos de sistemas de controle:

- Circuitos, com regulação em série;
- Circuito com regulação paralelo;
- Sistemas de geometria variável.

Nos reguladores em série, existe um componente regulador (resistência variável ou transistor) colocado em série na linha que transfere a corrente para a bateria. Este elemento pode portanto, limitar a intensidade ou cortar a corrente que é transferida para a bateria. Conforme figura 17:

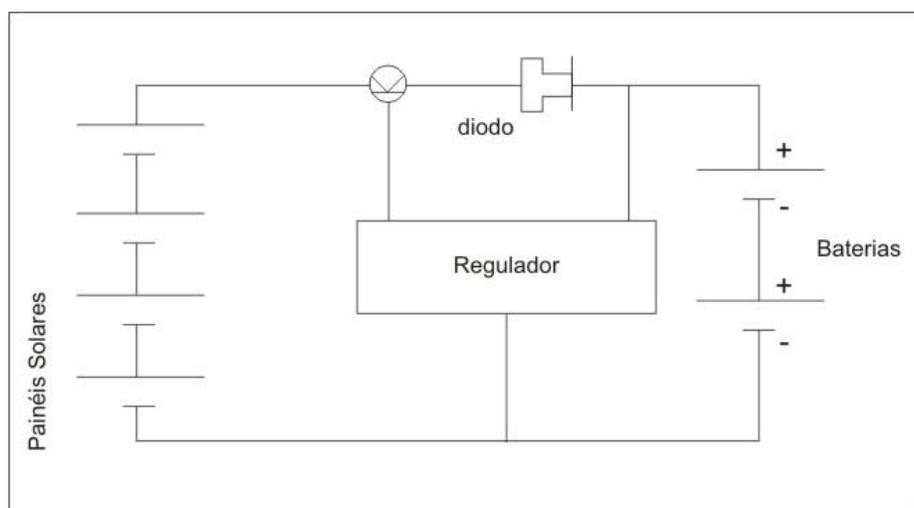


Fig.17: Controlador com regulador serie, BEZERRA (2001).

Nos reguladores paralelos (shunt), existe um transistor que curto-circuita os terminais do modelo solar quando o circuito regulador detecta que existe uma tensão muito elevada nos terminais da bateria. A figura 18 mostra o princípio de funcionamento deste regulador. Como a energia elétrica é transformada em calor no transistor, este sistema só pode ser usado com módulos solares relativamente pequenos.

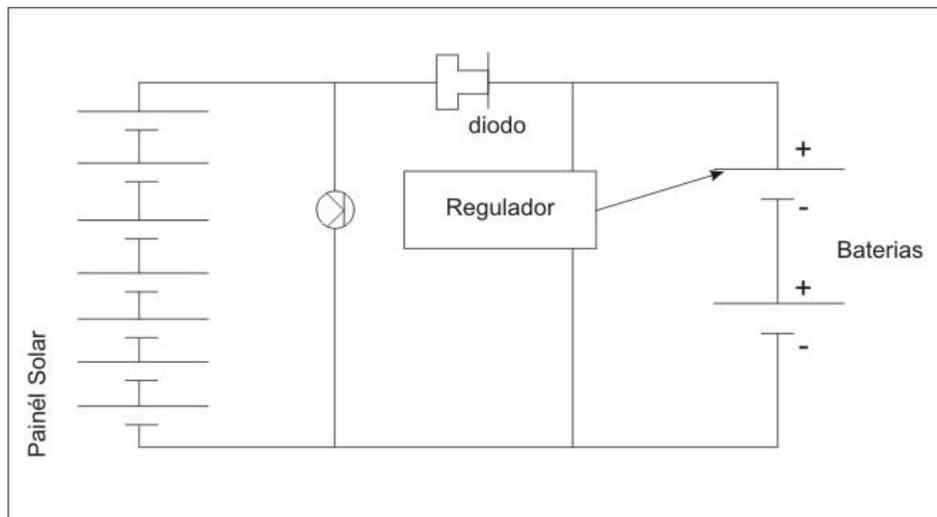


Fig. 18 - Controlador com regulador paralelo, BEZERRA (2001).

A grande vantagem dos regulares paralelos é que em estado de repouso quase não há consumo de corrente. Tanto nos reguladores série como nos paralelos, existe um diodo montado em série na linha de corrente, que provoca alguma queda de tensão.

Os bons circuitos de controle baseiam seu funcionamento na tensão da bateria. Utilizam uma corrente de carga normal até que a tensão atinja 14,9 volts. Existe ainda uma fase com corrente de manutenção quando a tensão fornecida pela bateria está compreendida entre 13,5 e 13,8 volts. A fase de carregamento com corrente máxima foi especialmente criada para as baterias de sistemas solares, uma vez que as bolhas gasosas assim criadas asseguram que o eletrólito líquido de uma bateria imóvel possa ser constantemente agitado, evitando-se o envelhecimento prematuro da bateria.

A desvantagem dos circuitos de controle série e paralelo é que o excesso de energia fornecido pelos painéis solares tem de ser dissipado na forma de calor, sendo completamente perdido. Pelo contrário, o circuito de controle MPP (Ponto de Máxima Potencia) mostrado na figura 19 foi projetado para utilizar a máxima potência fornecida pelos painéis solares. Os reguladores do tipo MPP diminuem um pouco o rendimento e são complexos, uma vez que há de estar sempre a calcular o produto da tensão pela corrente e adaptando a configuração de carga conforme o valor encontrado.

Na prática, os reguladores (MPP) só são vantagens em grandes sistemas solares com potência superior a 200 watts.

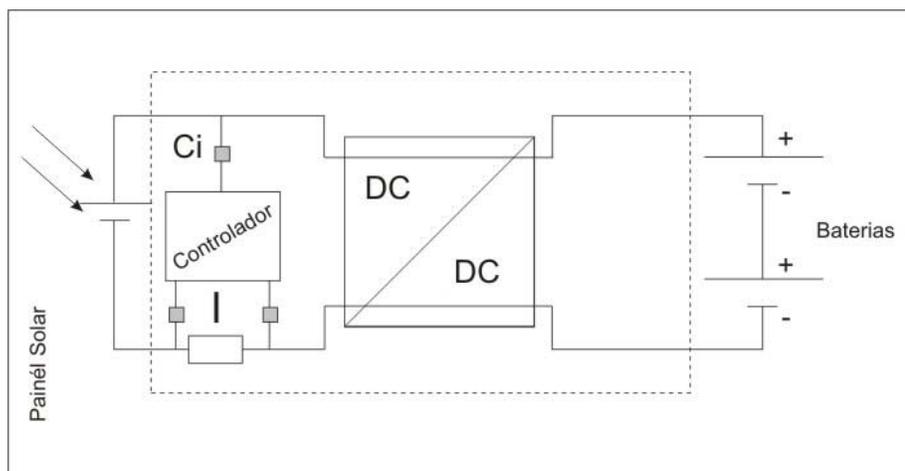


Fig. 19 - Controlador MPP, BEZERRA (2001).

Um bom regulador solar deve também possuir um circuito de proteção contra descargas excessivas da bateria, que utilizam um transistor interruptor, ou um relé, o qual interrompe o fornecimento de corrente quando a tensão na bateria alcança cerca de 11 volts.

Critérios de seleção do controlador de carga:

- Confiabilidade a longo prazo;
- Máxima corrente do conjunto;
- Disponibilidade de peças;
- Materiais resistente a corrosão;
- Reputação do fabricante;

- Disponibilidade de assistência técnica;
- Custo e garantia.

4.1.14 Característica de um Sistema Fotovoltaico

Pode-se citar como as principais características:

- Alto grau de confiabilidade;
- Não necessita de manutenção periódica;
- Fácil transporte e instalação;
- Não consome combustíveis convencionais;
- Possibilita a ampliação e redução, conforme a carga, facilitando o investimento dentro de prazos compatíveis com o usuário;
- Sem partes móveis que deterioram com o tempo;
- não poluem o ambiente em nenhum grau;
- operam em silêncio.

4.2 Estudo do ciclo de refrigeração por compressão de vapor

4.2.1 – Ciclo de refrigeração

A refrigeração é retirada do calor de um corpo ou meio que se encontra a uma temperatura abaixo da temperatura do meio ambiente.

A forma usada de retirar calor de um ambiente e através da evaporação de um fluido refrigerante.

Para que o processo de evaporação ocorra continuamente deve-se trabalhar através de ciclos, ou seja através do ciclo de refrigeração.

A 2ª lei da termodinâmica diz que o fluxo de calor tende ir de um potencial maior (alta temperatura) para um potencial menor (baixa temperatura).

Para poder transferir calor de uma temperatura menor para uma temperatura maior usa-se uma máquina térmica que para funcionar ciclicamente e necessário adicionar trabalho.

O mais utilizado ciclo de refrigeração é o de compressão a vapor. Nesse ciclo, o fluido refrigerante na forma de vapor é comprimido, atingindo uma pressão e temperatura suficiente para que a condensação ocorra numa temperatura acima do ambiente, de forma a rejeitar calor para o meio. Depois de condensado o fluido refrigerante sofre uma expansão, normalmente através de uma válvula de expansão, e o mesmo se evapora .

Numa pressão baixa e ao mesmo tempo que retira calor numa temperatura abaixo do ambiente, o fluido refrigerante é totalmente evaporado e succionado pelo compressor, conseqüentemente fechando o ciclo térmico.

A medida de desempenho de um ciclo de refrigeração está relacionado com a razão do que é utilizado em relação aquilo que se gasta, chamado de coeficiente de eficácia, também conhecido como coeficiente de performance “COP” que é definido como:

$$\text{COP} = \frac{\text{refrigeração útil}}{\text{Trabalho necessário}} \quad (4.7)$$

Para efeito comparativo e para verificar a viabilidade do ciclo de refrigeração, usa-se o ciclo de CARNOT. O ciclo de CARNOT é um ciclo puramente reversível, é um modelo teórico que serve de referência para quaisquer outros ciclos operando nas mesmas condições.

A 2ª Lei da termodinâmica diz que: nenhum ciclo de refrigeração possui um coeficiente de eficácia mais elevado que um ciclo reversível operando entre as mesmas temperaturas.

O ciclo de CARNOT para refrigeração transfere calor da temperatura baixa para temperatura alta, com adição de trabalho externo. Os processos que constituem este ciclo são: compressão adiabática reversível, rejeição de calor isotérmica reversível, expansão adiabática

reversível, expansão adiabática reversível e recebimento de calor isotérmico reversível. A figura 20, mostra o diagrama de blocos do ciclo e a representação dos processos no diagrama T-S

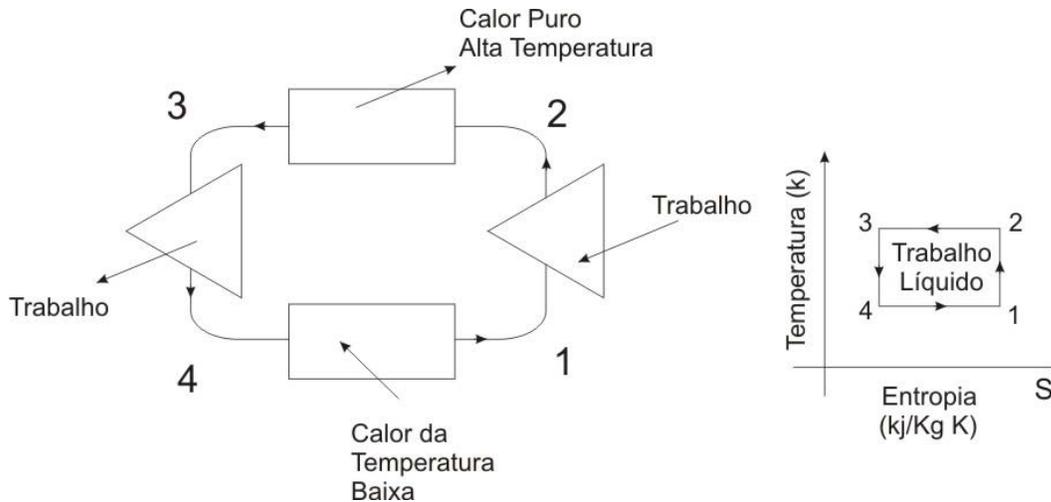


Fig. 20 - Ciclo de refrigeração, STOECKER (1980)

É importante maximizar o coeficiente de eficácia do ciclo de refrigeração, pois quanto maior for o coeficiente de eficácia do ciclo menor será a necessidade de trabalho.

Então o coeficiente de eficácia máximo no ciclo de CARNOT é dado em função das temperaturas absolutos limites do ciclo conforme a formula:

$$C_{op} = \frac{Q_l}{W_{liq}} = \frac{T_1 \Delta S}{T_2 \Delta S - T_1 \Delta S} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} \quad (4.8)$$

Onde: T_1 é a temperatura maior e T_2 é a temperatura menor em “K” e (Delta) S representa as variações de entropia do ciclo.

$$\begin{aligned} \text{Sendo: } Q_H &= T_2 \Delta S & Q_L &= T_1 \Delta S \\ W_{liq} &= Q_H - Q_L \end{aligned} \quad (4.9)$$

Para maximizar o coeficiente de eficácia, devemos aumentar T_1 e diminuir T_2 . Pode-se dizer que teoricamente o coeficiente de eficácia pode variar entre zero e infinito.

Para se obter um Cop alto devemos aproximar T_1 e T_2 porem na prática tem-se limites. Para manter um ambiente a temperatura de -10°C e rejeitar calor para o ambiente a 30°C , já se tem dois limites de temperatura.

Durante a condensação do fluido refrigerante, a temperatura deve ser maior que a de 30°C para que possa ceder calor ao ambiente. Durante a evaporação do fluido de trabalho, a temperatura do refrigerante deve ser inferior a -10°C para que o calor possa ser transferido ao refrigerante.

Conforme figura 21 as diferenças de temperatura ΔT_1 e ΔT_2 , nos casos reais dependem das condições de troca de calor dadas pela equação:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4.10)$$

Onde Q – taxa de calor trocado

U - Coeficiente global de transferência de calor

A – área de troca de calor

ΔT – diferença de temperatura

Para fazer a diferença de temperatura tender o zero devemos fazer U ou A tender ao infinito, o que faria os custos dos trocadores de calor tenderem também ao infinito.

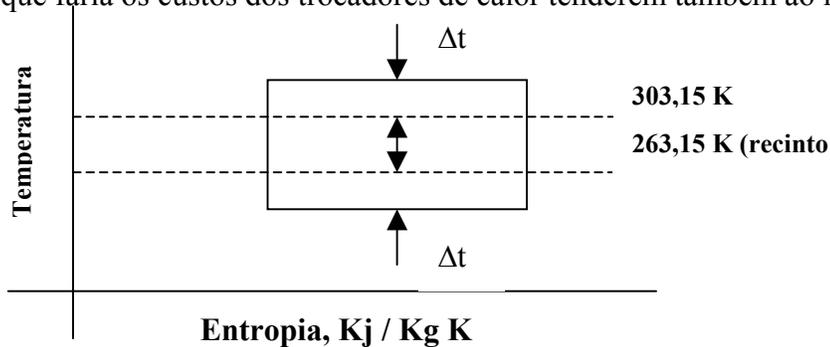


Fig. 21 - Exigências de temperatura impostas sobre um ciclo de refrigeração, STOECKER (1980)

O ciclo de CARNOT apresenta o maior “Cop” possível entre dois níveis possível de energia, na prática o ciclo tem que ser modificado.

Os ciclos reais de refrigeração devem ser construídos de forma a se aproximarem o máximo possível do ciclo de refrigeração de CARNOT.

Se um gás por exemplo o ar, for utilizado como fluido refrigerante as trocas de calor não acontecem a temperatura constante, e sim conforme figura 22

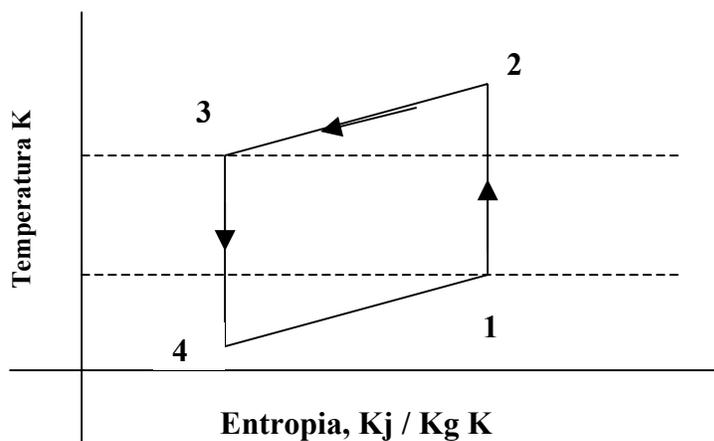


Fig. 22 - Ciclo de refrigeração operando com um gás como fluido refrigerante, STOECKER (1980).

Se utilizarmos um fluido refrigerante (substância pura) que se condense durante a rejeição de calor e se evapore durante a retirada de calor, mantendo-se a pressão constante durante esses processos, neste caso a temperatura também permanece constante, conforme figura 23.

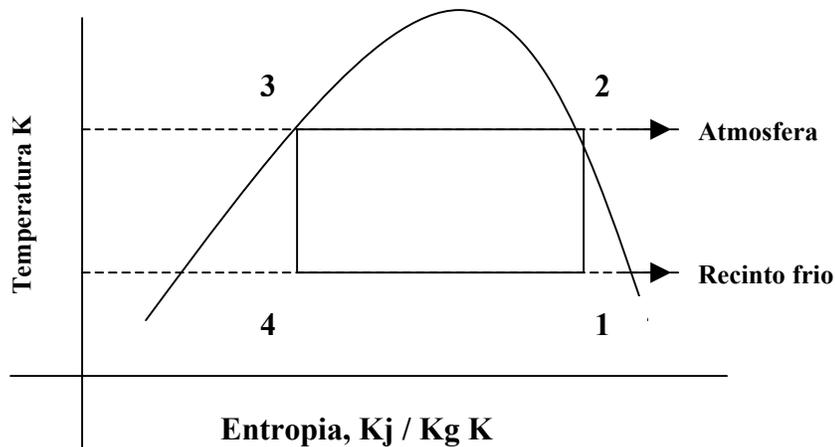


Fig. 23 - Ciclo de refrigeração com um refrigerante bifásico, STOECKER (1980).

O processo de compressão do estado 1 para o estado 2 da figura 22 é chamado de compressão úmida, porque todo o processo ocorre na região bifásica com mistura de líquido e vapor.

A compressão úmida não ocorre na prática devido o compressor sofrer sérios danos como por exemplo: problemas de erosão, lavagem do óleo lubrificante e acúmulo no cilindro, com danificações das válvulas e do cabeçote, devido a esses problema utiliza-se a compressão seca.

Na compressão seca deve ser feita outra modificação no ciclo de CARNOT isto é: elevar a temperatura do fluido (vapor superaquecido) de forma a manter a mesma pressão de condensação, conforme figura 24.

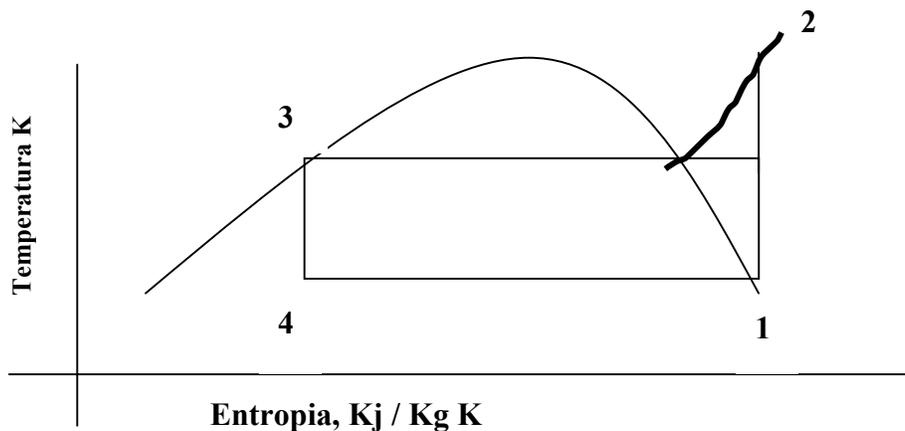


Fig. 24 - ciclo de refrigeração com compressão seca, STOECKER (1980)

O ciclo de CARNOT exige que a expansão seja feita através de uma turbina isentrópica e que o trabalho resultante seja utilizado na compressão. O pequeno trabalho de expansão comparado com o de compressão; problemas de lubrificação devido ao escoamento bifásico; além do custo da turbina.

A solução consiste em substituir a turbina por uma válvula de expansão que provoque a queda de pressão necessária, cujo processo é a entalpia constante ou isoentálpico conforme figura 25.

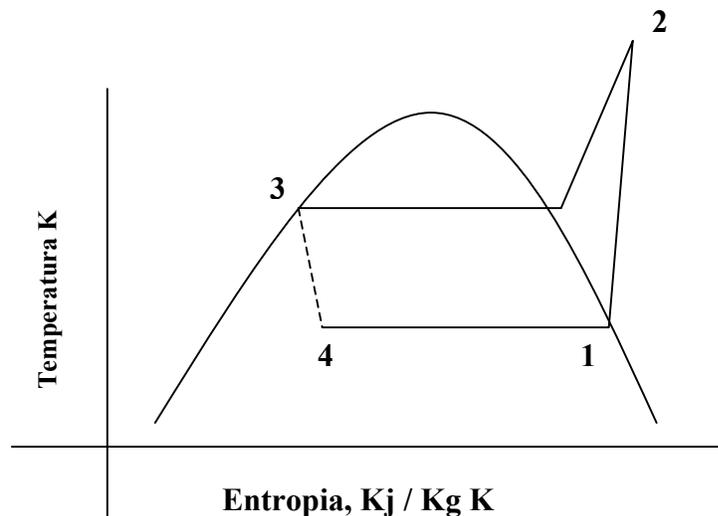


Fig. 25 - Ciclo padrão de refrigeração por compressão de vapor, STOECKER (1980).

A figura 25 é a representação do ciclo padrão de refrigeração por compressão de vapor em um diagrama T-s. Os processos que constituem este ciclo são:

- processo 1-2 compressão adiabótica reversível desde o estado de vapor saturado até a pressão de condensação;
- processo 2-3 rejeição de calor a pressão constante, com dessuperaquecimento e condensação do refrigerante até o estado de líquido saturado.
- Processo 3-4 expansão irreversível a entalpia constante desde o estado líquido saturado até a pressão de evaporação;
- Processo 4-1 ganho de calor a pressão constante com a evaporação do fluido refrigerante até o estado de vapor saturado.

4.2.2 Estudo termodinâmico de um ciclo e compressão de vapor

O diagrama pressão entalpia conforme figura 25 indica os parâmetros termodinâmico importante para o ciclo que são: trabalho específico de compressão, calor rejeitado no condensador e o efeito frigorífico. A partir de tais parâmetros pode-se calcular o coeficiente de eficácia, a razão mássica e volumétrica do refrigerante, a potência do compressor, além de alguns indicadores de performance do ciclo como razão volumétrica de refrigerante por unidade de capacidade frigorífica ou potência por unidade de capacidade frigorífica.

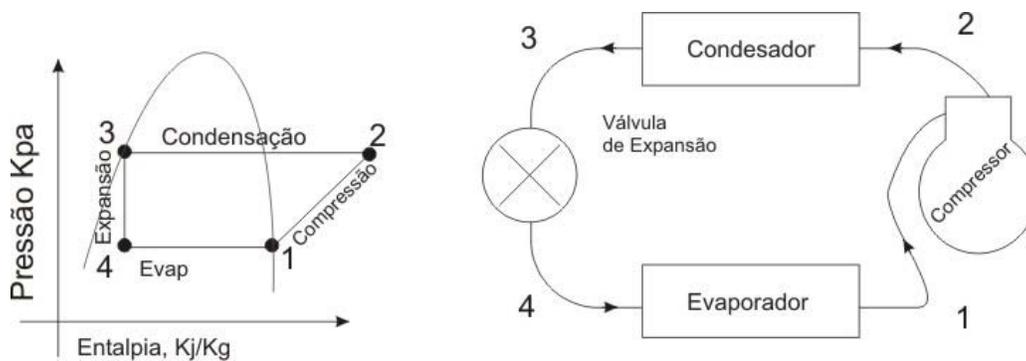


Fig. 26 - Diagrama pressão – entalpia do ciclo padrão de compressão de vapor, STOECKER (1980).

Considerando o diagrama P-H e tomando como referência uma unidade de massa de refrigerante que circula pelo ciclo, pode-se calcular:

O trabalho específico de compressão: $W = h_1 - h_2$ (negativo)

O calor rejeitado no condensador $Q_{cond} = h_3 - h_2$ (negativo)

O efeito frigorífico $q_{exap} = h_1 - h_4$

O coeficiente de eficácia

$$COP = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1). \quad (4.11)$$

O cálculo da razão mássica do refrigerante pode ser determinada dividindo-se a capacidade frigorífica pelo efeito frigorífico, dado pela formula:

$$M = Q_o / q_{\text{evap}} \quad (4.12)$$

4.2.3 Trocadores de calor

Alguns sistemas frigoríficos utilizam trocadores de calor para subresfriar o líquido saindo do condensador utilizando o vapor saindo do evaporador. O esquema desse ciclo é mostrado na figura 27.

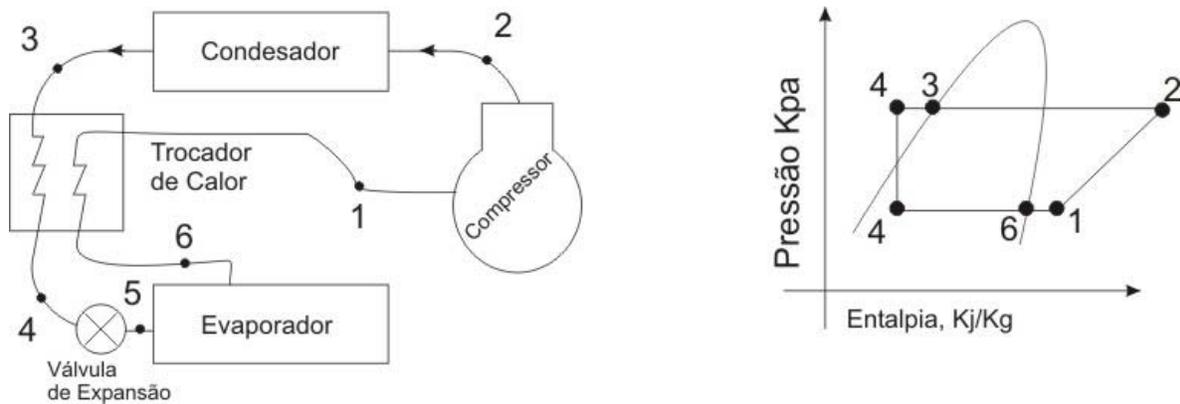


Fig. 27 - Esquema de um ciclo de refrigeração com trocador de calor e diagrama P-H do ciclo, STOECKER (1980).

O líquido saturado no estado correspondente ao ponto 3 vindo do condensador é resfriado até o ponto 4 pelo vapor no ponto 6, que por sua vez

Fica superaquecido até o ponto 1. feito o balanço de energia tem-se $h_3 - h_4 = h_1 - h_6$.

Comparando com o ciclo padrão de vapor, pode-se dizer que o ciclo com trocador de calor tem vantagem, devido o aumento do efeito de refrigeração ($h_6 - h_5$). Tanto a capacidade frigorífica quanto o coeficiente de eficácia parecem melhorar, o que não é necessariamente verdadeiro. O efeito de refrigeração aumenta, o trabalho de compressão é maior. O estado 1 apresenta um volume específico maior que o estado 6 de modo que o compressor proporciona uma vazão mássica menor quando a aspiração é feita no estado 1. assim, os efeitos se cancelam,

de modo que o trocador de calor não proporciona vantagens significativas sob o ponto de vista termodinâmico.

A vantagem, com o trocador de calor é quando o valor aspirado pelo compressor e superaquecido, o que garante a não entrada de líquidos no compressor. Outra razão para o uso do trocador de calor é o subresfriamento do líquido vindo do condensador a fim de evitar a formação de bolhas de vapor refrigerante, que poderiam dificultar o escoamento através da válvula de expansão.

4.2.4 O ciclo real de compressão de vapor

As primeiras diferenças entre o ciclo real e o ciclo padrão estão nas perdas de cargas no evaporador e no condensador, no subresfriamento do líquido que deixa o condensador e no superaquecimento do evaporador na aspiração do compressor.

Devido a perda de carga no condensador, ocorre um trabalho de compressão maior entre os estados 1 e 2 em relação ao ciclo padrão. O subresfriamento do líquido que deixa o condensador é uma prática geral, garantindo que o fluido que entre na válvula de expansão seja líquido. O superaquecimento do vapor que deixa o evaporador evita que gotículas de líquidos entrem no compressor.

No ciclo real a compressão deixa de ser isoentropica, ocorrendo irreversibilidades devido ao atrito e a troca de calor.

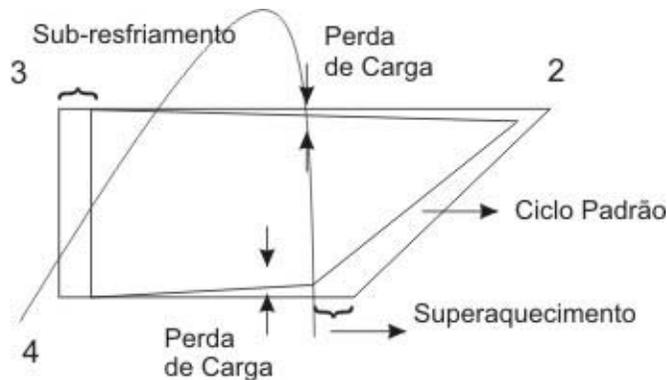


Fig. 28 - Ciclo de compressão de vapor real comprado com o padrão, STOECKER (1980).

4.2.5 Compressores

No ciclo de compressão a vapor o compressor é o componente principal; podem ser classificados em alternativos e rotativos. Os compressores alternativos podem ser de êmbolo ou de membrana. Os compressores rotativos podem ser de engrenagens de fluxo tangencial ou axial de palhetas, radiais e centrífugos.

Os compressores de engrenagens helicoidais são compostos de dois jogos de engrenagens: um comum que serve para a transmissão do movimento e outro helicoidal, constituído por um rotor macho e um rotor fêmea que servem para compressão do fluido através de um deslocamento axial.

Os compressores de palheta são constituídos de uma carcaça cilíndrica, dentro da qual gira um rotor excêntrico, ranhurado e provido de palhetas radiais. O rotor ao girar joga, pela força centrífuga, as palhetas contra as paredes da carcaça. O volume compreendido entre duas palhetas consecutivas varia desde um máximo (aspiração) até um mínimo (descarga), de modo que a compressão se efetua progressivamente em cada compartimento.

O elemento fundamental da indústria de refrigeração é o compressor alternativo. Nesse tipo de compressor, um pistão ou embolo se desloca em movimento alternativo dentro de um cilindro.

A entrada e saída do fluido refrigerante são comandados por meio de válvulas localizadas na tampa do cilindro chamado de cabeçote ou em muitos casos no próprio pistão ou embolo. A transformação do movimento alternativa para o rotativo é feita pela transmissão do tipo biela — manivela.

Os compressores alternativos são classificados da seguinte forma:

- De simples ou duplo efeito. Nos compressores de simples efeito a compressão é efetuada apenas por um lado do êmbolo, de tal forma que há apenas uma compressão para cada rotação do eixo do compressor. Nos compressores de duplo efeito o cilindro dispõe de uma câmara de compressão em cada lado do pistão, de modo que são efetuadas duas compressões a cada rotação do eixo;
- De um ou mais estágios. O número de estágios se relaciona com o número de sucessivas compressões sofridas pelo fluido que circula pelo compressor. Cada estágio de compressão é efetuado por um cilindro a parte. Assim, um compressor de dois estágios tem duas câmaras de compressão. O primeiro cilindro, de maior tamanho é de baixa pressão, enquanto o segundo, menor, é o cilindro de alta pressão;
- De um ou mais cilindros. Os compressores de êmbolo são classificados de acordo com o número e a disposição dos cilindros, podendo ser verticais, horizontais, em V, em W ou em estrela;
- De acordo com a faixa de pressão. Baixa pressão: até 1 bar. Média pressão: até 10 bar. Alta pressão: acima de 10 bar;
- Herméticos e abertos. Nos compressores abertos o eixo do girabrequim atravessa a carcaça para ser acoplado ao eixo do motor. Nos compressores herméticos o motor e o compressor estão alojados numa mesma carcaça, o que evita vazamento como é o caso dos compressores de refrigeradores domésticos.

A capacidade frigorífica e sua potência de acionamento são as características mais importantes de um compressor. As mais importantes séries de eficiência do compressor são: eficiência volumétrica efetiva e eficiência volumétrica do espaço nocivo.

A eficiência volumétrica efetiva é definida como sendo:

$$N_{ve} = \frac{\text{vazão que entra no compressor}}{\text{taxa de deslocamento do compressor}} \quad (4.13)$$

A taxa de deslocamento do compressor é o deslocamento volumétrico do pistão, chamado também de cilindrada multiplicado pela velocidade de rotação do virabrequim (rpm). A vazão real que entra no compressor, entretanto, é um valor medido experimentalmente.

A expansão do gás retido no espaço nocivo define a eficiência volumétrica do espaço nocivo. O espaço nocivo é o volume compreendido entre o cabeçote do cilindro e o topo do pistão quando este atinge o ponto morto superior.

Considerando um compressor ideal operando com um gás perfeito pode-se ver no diagrama P-V da figura 29 o significado da eficiência volumétrica de espaço nocivo. O volume máximo ocorre quando o pistão passa pelo Ponto Morto Superior e corresponde ao espaço nocivo "Vc". A pressão de descarga é constante e igual a Pd.

Admitindo inicialmente que a pressão de aspiração seja P_1 . o gás retido no espaço nocivo se expandirá até V_1 antes que a pressão no interior do cilindro seja suficientemente baixa para permitir a abertura das válvulas de admissão, permitindo a admissão de gás. Assim, o volume de gás admitido será $V_1 - V_3$ e a eficiência volumétrica do espaço nocivo será:

$$N_{vm} = \frac{V_1 - V_3}{V_3 - V_c} \quad (4.14)$$

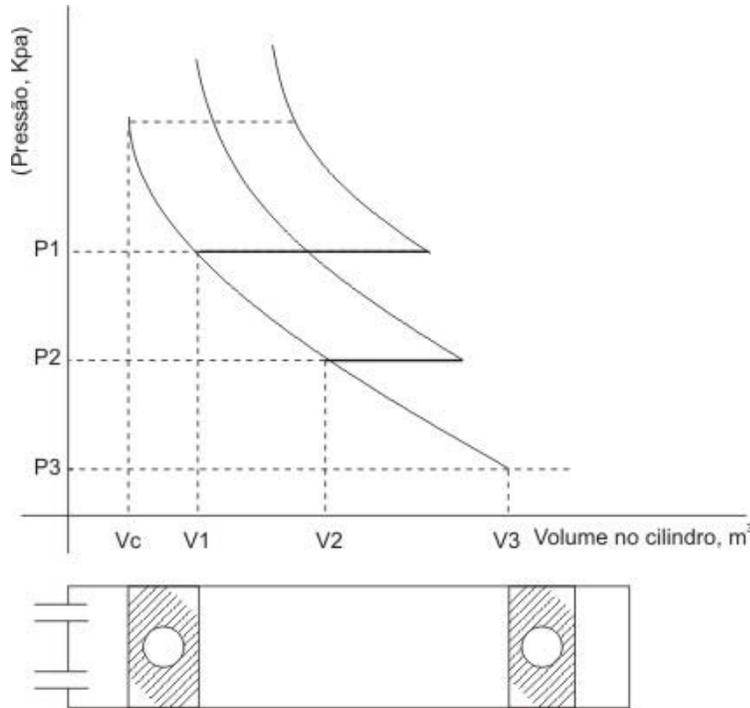


Fig. 29 – Diagrama P-V de um compressor alternativo ideal, STOECKER (1980).

Quando a pressão de aspiração for P2, o volume admitido de gás será reduzido para V3 – V2. no caso limite, quando a pressão de aspiração for igual a P3, o gás do espaço nocivo será expandido até V3, não ocorrendo admissão e fazendo com que a eficiência volumétrica do espaço nocivo seja nula.

A fração do espaço nocivo m é constante para um dado compressor, sendo igual a:

$$m = \frac{V_c}{V_3 - V_c} \quad (4.15)$$

Colocando a fração do espaço nocivo na definição de eficiência volumétrica de espaço nocivo obtém-se a equação:

$$\eta_{um} = \left[1 - m \left(\frac{V_1}{V_c} - 1 \right) \right] \quad (4.16)$$

considerando a expansão entre V_c e V_1 como isoentropica fica:

$$\frac{V_1}{V_c} = \frac{v_{asp}}{v_{adm}} \quad (4.17)$$

onde:

v_{asp} = Volume específico do vapor admitido no compressor

v_{des} = volume específico após a compressão. Isoentropica até Pd.

Os volumes específicos podem ser obtidos nos diagramas P-h dos refrigerantes usados no ciclo.

A eficiência volumétrica do espaço nocivo fica escrita da seguinte forma

$$\eta_{um} = \left[1 - m \left(\frac{V_{asp}}{V_{desc}} - 1 \right) \right] \quad (4.18)$$

O desempenho de um compressor ideal é obtido através da expansão do gás retido no espaço nocivo. Mantendo-se a pressão de descarga constante e conseqüentemente a temperatura de condensação, fazendo variar a temperatura de evaporação e a pressão de aspiração. A variação da eficiência volumétrica do espaço nocivo é indicado na figura 30

A figura 30 apresenta o desempenho de um compressor ideal operando com R22, com $m=0,045$, taxa de deslocamento volumétrica de 50L/s e temperatura de condensação de 35°C.

Nestas condições, a eficiência volumétrica do espaço nocivo nulo ocorre a -61°C , temperatura que corresponde a uma pressão equivalente a p_3 na figura 28. quando a pressão de aspiração é igual a de descarga, a eficiência volumétrica do espaço nocivo é de 100%.

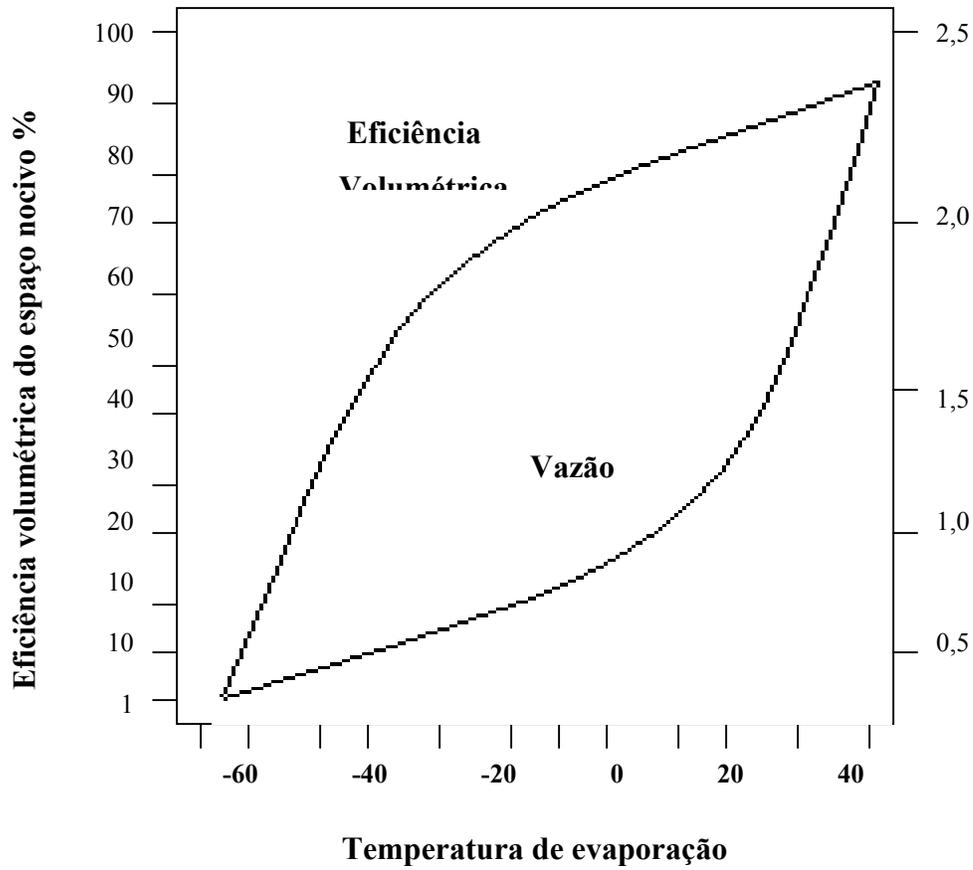


Fig. 30 – Eficiência volumétrica do espaço nocivo e vazão mássica para um compressor ideal, STOECKER (1980).

A vazão mássica de refrigerante influencia diretamente a potência do compressor e a capacidade frigorífica do sistema de refrigeração, que pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$\dot{m} = \text{taxa de deslocamento} \cdot \frac{\eta_{vm}}{v_{asp}} \quad (4.19)$$

Onde,

\dot{m} = vazão mássica do refrigerante.

η_{vm} – eficiência volumétrica do espaço nocivo.

v_{asp} – volume específico de aspiração do compressor.

A figura 30 também apresenta a evolução da vazão mássica com a variação de temperatura. A medida que a pressão de aspiração diminui, o volume específico do gás que entra no compressor aumenta, o que junto com a diminuição do espaço nocivo faz com que a vazão diminua para temperaturas de evaporação menores.

A potencia de compressão de um compressor ideal é dada por:

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot w \quad (4.20)$$

\dot{m} - vazão mássica

w – trabalho específico de compressão

De acordo com a figura 31 para o mesmo compressor nas mesmas condições, vê-se que o trabalho específico é máximo quando a diferença de pressões é máxima, e é nulo quando a pressão de aspiração é igual a de descarga. A potencia de compressão tem dois pontos nulos: quando a vazão mássica é zero ocorre para a diferença de pressão máxima e quando o trabalho específico é nulo quando a pressão de aspiração é igual a de descarga. Entre esses dois pontos nulos, a curva atinge um ponto de máximo.

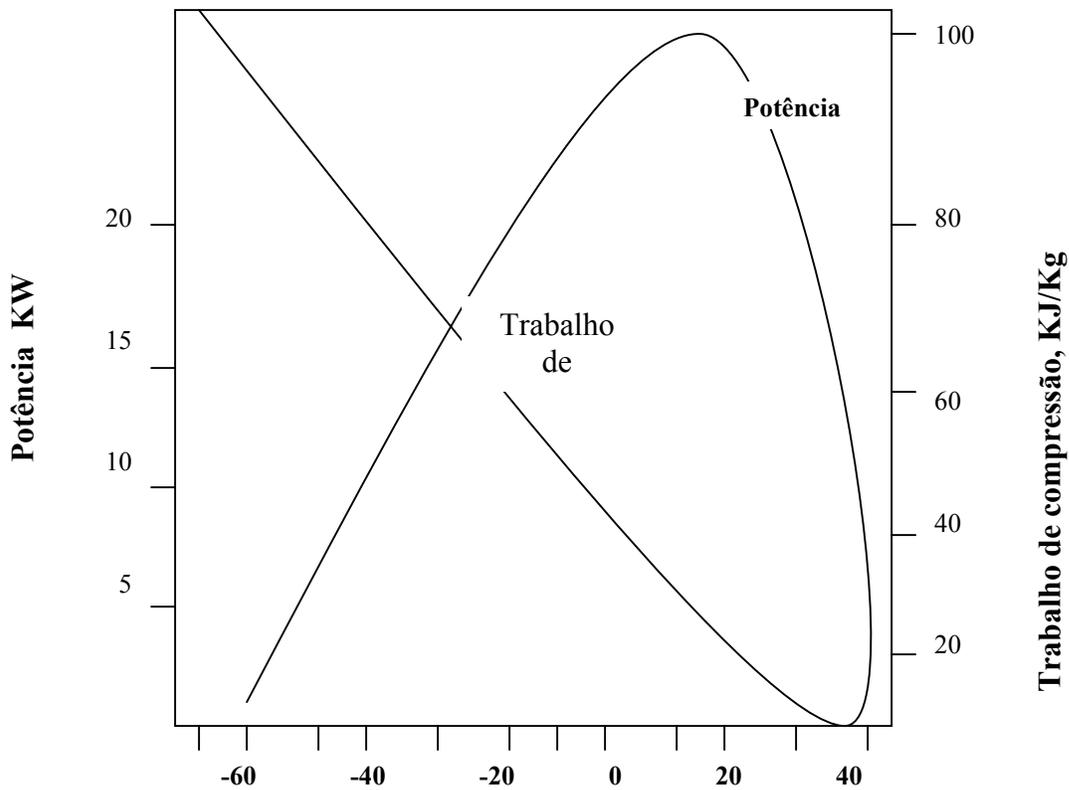


Fig. 31 – trabalho de compressão e potencia para um compressor ideal, STOECKER (1980).

Os sistemas de refrigeração operam normalmente em um ponto localizado a esquerda do ponto de máximo. Devido a esse fato, durante o início da operação de um sistema frigorífico, quando o evaporador se encontra na temperatura ambiente, ou quando a carga térmica é muito alta, a potência de compressão pode passar pelo ponto de máximo podendo causar problemas de sobrecarga no motor elétrico de acionamento.

A capacidade frigorífica é o produto da vazão mássica pelo efeito frigorífico. O efeito frigorífico sofre um leve acréscimo com o aumento de temperatura de evaporação, uma vez que mantida a entalpia do refrigerante na entrada da válvula de expansão, a entalpia do vapor saturado cresce com a temperatura de evaporação. Entretanto, a capacidade frigorífica varia de zero, no ponto de razão, nula, até um valor máximo quando a razão é máximo, quando a razão pe máxima, conforme mostra a figura 32.

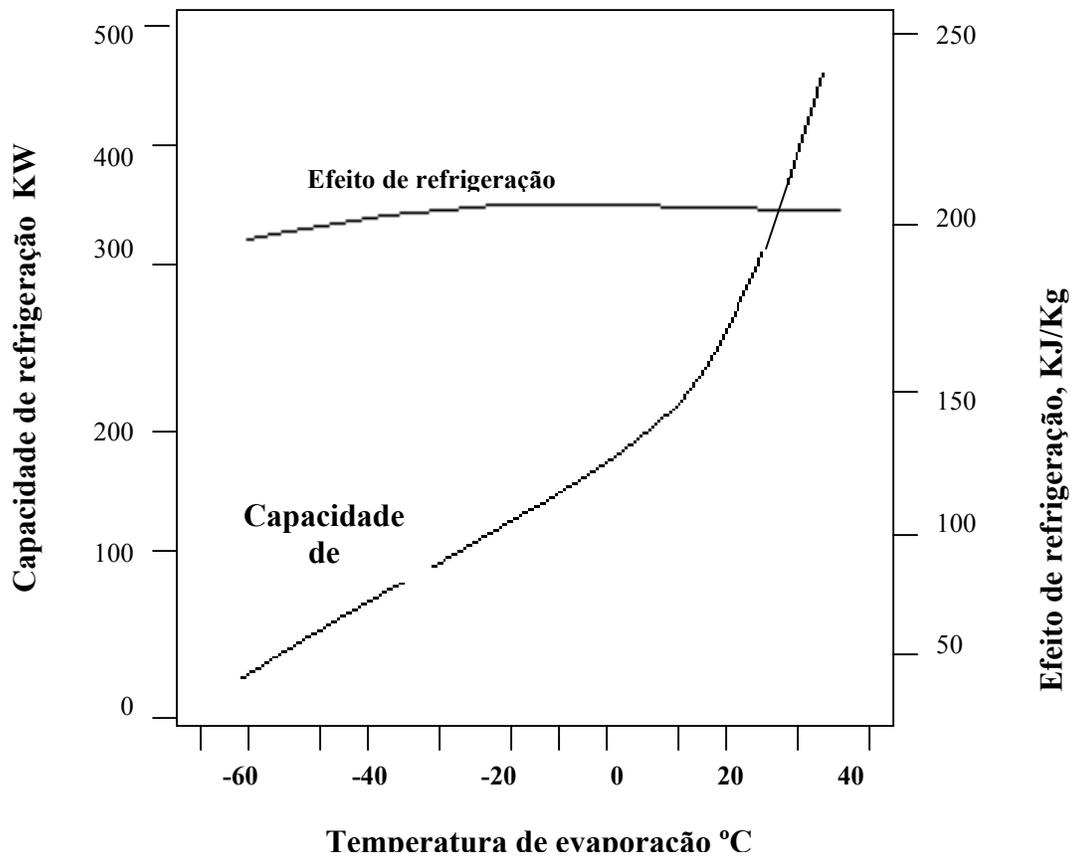


Fig. 32 - Efeito de refrigeração e capacidade de refrigeração de um compressor ideal, STOECKER (1980).

O coeficiente de eficácia pode ser obtido da capacidade de refrigeração, pela figura 31, e da potência, dada pela figura 30. O resultado é um aumento do coeficiente de eficácia com a temperatura de evaporação como mostrado na figura 33.

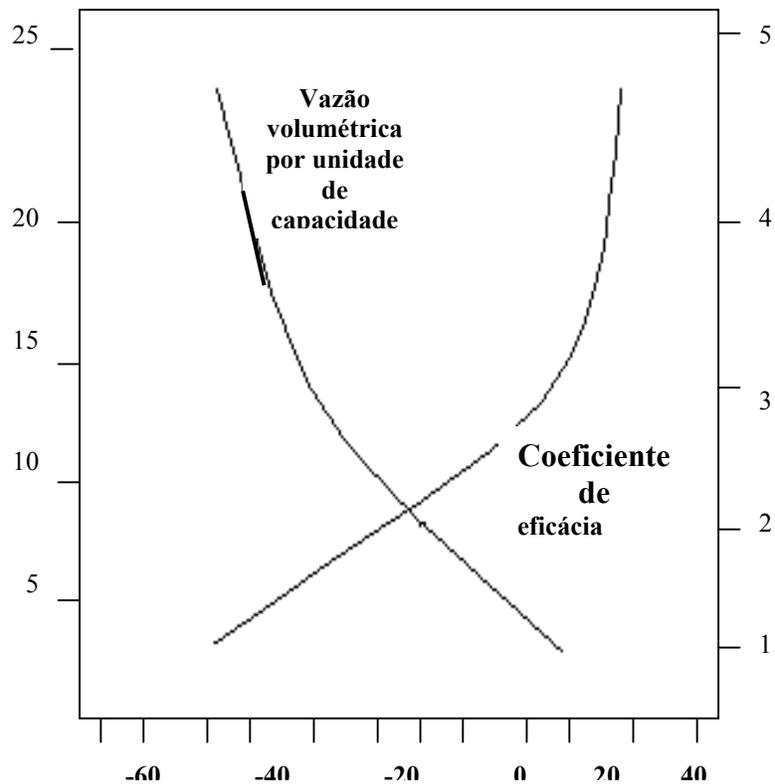


Fig. 33 - Coeficiente de eficácia e razão voluntária por unidade de refrigeração para um compressor ideal, STOECKER (1980).

Os sistemas frigoríficos de maneira geral rejeita calor para atmosfera cujas condições variam durante o ano e mesmo durante o dia. Os referidos sistemas estão sujeitos a uma larga faixa de temperaturas de condensação.

Pode-se analisar a influência da temperatura de condensação da mesma forma que a da temperatura de evaporação em -20°C .

A influência da temperatura de condensação na eficiência volumétrica do espaço nocivo e na razão mássica é mostrada na figura 33. Como o volume específico do refrigerante na descarga diminuí com o aumento da temperatura e pressão de condensação, mantendo-se a temperatura de evaporação constante, a eficiência volumétrica do espaço nocivo diminui. Assim, a razão mássica também diminuirá na mesma proporção.

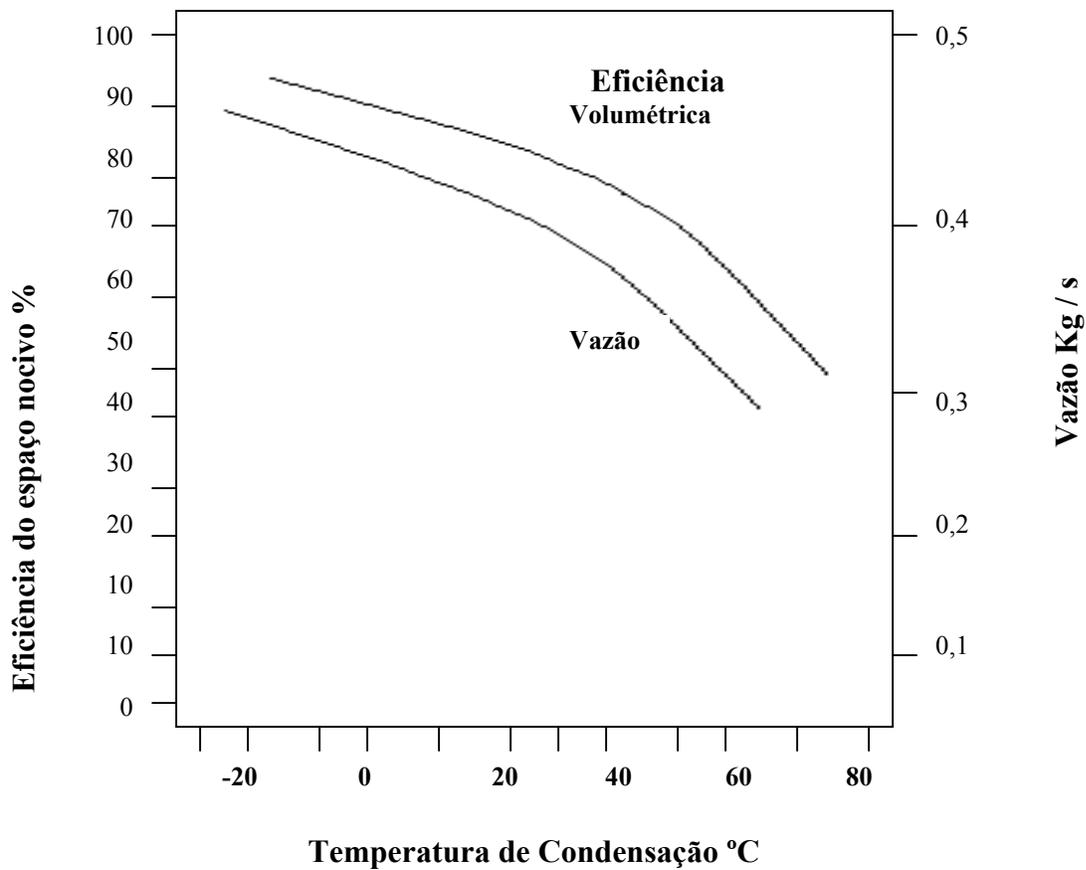


Fig. 34 - Eficiência volumétrica e razão mássica para um compressor ideal, STOECKER (1980).

Mantendo-se a temperatura de evaporação e aumentando-se a temperatura de condensação. O efeito frigorífico diminui pelo aumento da entalpia na saída do condensador. A capacidade frigorífica diminui mais rapidamente, devido a queda de razão, conforme figura 34.

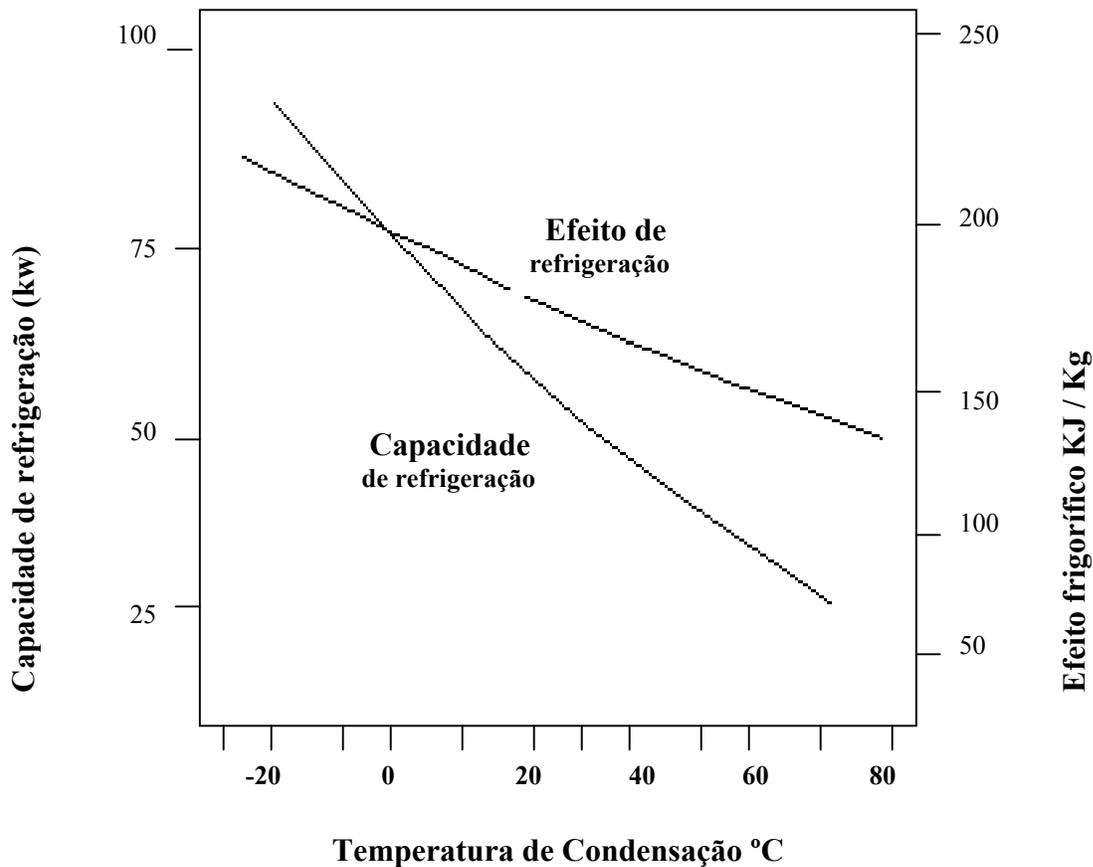


Fig. 35 - Efeito e capacidade de refrigeração para um compressor ideal, STOECKER (1980)

Devido o aumento da temperatura de condensação o trabalho específico de compressão aumenta e a razão diminui, a variação da potência com a temperatura de condensação apresenta um valor máximo, de modo similar a sua variação com a temperatura de evaporação, conforme figura 35.

O ponto máximo na curva de potência pode ocorrer em compressores reais, tanto quanto nos ideais, somente quando as temperaturas de evaporação forem muito baixas. Compressão em um só estágio entre temperatura de evaporação de -20°C e a temperatura de condensação de 60°C , que resultou o máximo da potência na figura 35, não é usado na prática.

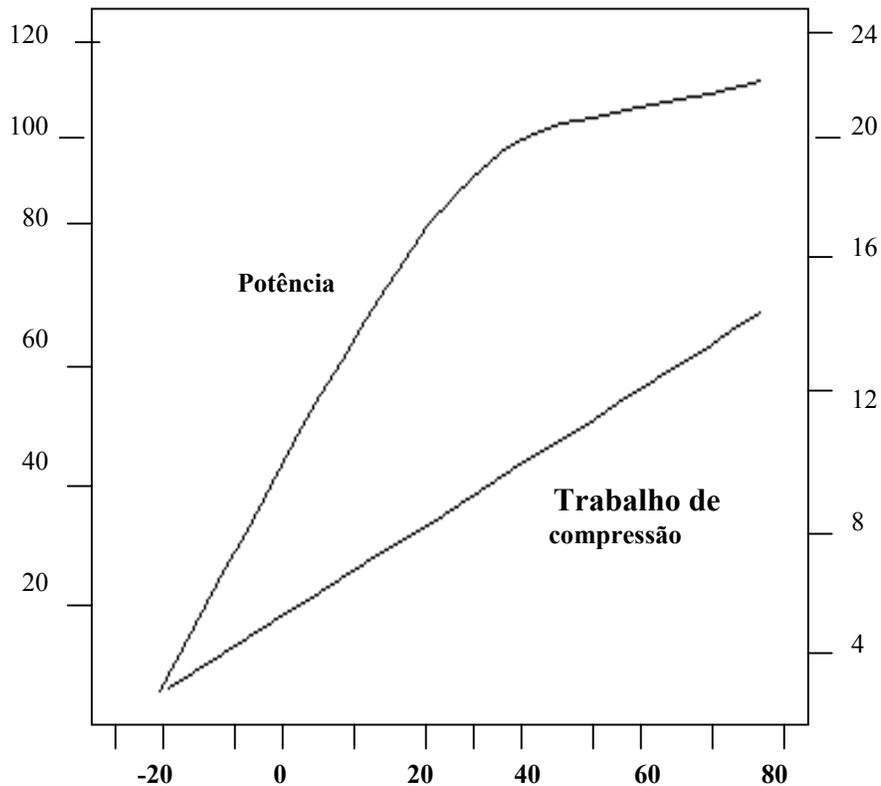


Fig. 36 - Trabalho de compressão e potência para um compressor ideal, STOECKER (1980).

Outra característica importante, não apresentada nos gráficos, é que o coeficiente de eficácia diminui com a temperatura de condensação.

A estimativa da eficiência volumétrica com base na expansão do gás residual do espaço nocivo é um primeiro passo nas estimativas da eficiência volumétrica efetiva. Outros fatores tais como perda de carga através das válvulas de aspiração e de descarga, fugas pelos anéis dos êmbolos e pelas válvulas podem afetar a eficiência volumétrica. Todos os fatores mencionados contribuem para diminuir a eficiência volumétrica calculada conforme as hipóteses mencionadas.

A figura 37, mostra a eficiência volumétrica efetiva comparada com a eficiência volumétrica de espaço nocivo, para um compressor de alta rotação, com R 22 e $m= 0,045$

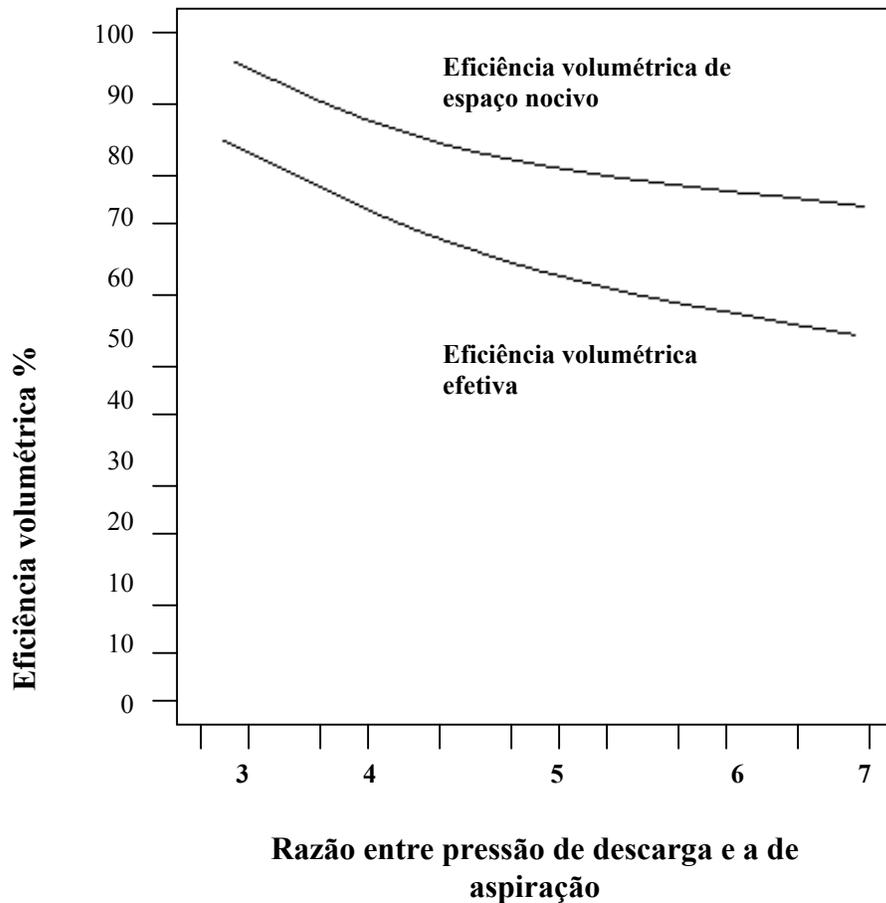


Fig. 37 - Eficiência volumétrica efetiva e de espaço nocivo em função da razão de pressões, STOECKER (1980).

A eficiência de compressão é razão entre o trabalho isoentrópico e compressão e o trabalho real de compressão, referidos as mesmas pressões de aspiração e descarga.

$$Ne = \text{Trabalho de compressas isoentropica} / \text{Trabalho real de compressão} \quad (4.21)$$

A eficiência de compressão varia entre 65 e 70% para compressores alternativos abertos. O atrito entre as superfícies com movimento relativo e a perda de carga nas válvulas são os principais fatores que contribuem para diminuir a eficiência de compressão.

4.2.6 Condensadores

O condensador recebe o fluido refrigerante superaquecido que sai do compressor e, através da troca de calor com outro fluido secundário (ar ou água), desaquece o fluido refrigerante e em seguida provoca a condensação do mesmo.

Os condensadores resfriados a água, os tipos mais comuns são: tubo e carcaça horizontal ou vertical serpentina, tubo duplo e condensador evaporativo.

O processo fundamental utilizado é o resfriamento evaporativo. Dado que tanto a temperatura quanto a umidade absoluta do ar são aumentadas ao passar pelo condensador, sua eficiência depende da temperatura de bulbo úmido e do ar que entra.

Tanto mais baixa for essa temperatura, mais eficiente é o condensador evaporativo.

A figura 38 mostra um esquema de um condensador evaporativo:

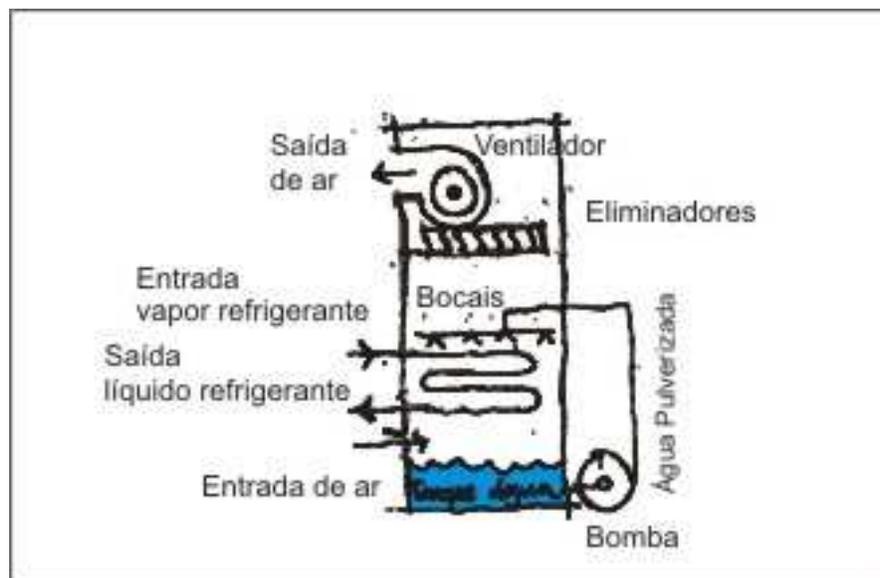


Fig. 38 - Esquema de um condensador evaporativo, STOECKER (1980).

Os condensadores resfriados o ar se constituem de uma serpentina aletada sobre o qual o ar é soprado. O refrigerante condensa dentro dos tubos. Praticamente todas as unidades de pequeno porte utilizam condensadores resfriados a ar, sendo que em muitos casos o escoamento do ar é feito por convecção natural.

Nos condensadores resfriados o ar, a temperatura de condensação é determinada pela temperatura de bulbo seco do ar (função da temperatura ambiente). A capacidade de retirar calor utilizando ar como fluido de resfriamento é menor do que quando se usa um líquido, daí sua maior aplicação em unidades de baixa potência, pode-se citar como exemplo em refrigeradores de baixa capacidade de refrigeração, exemplo: a geladeira doméstica.

4.2.7 Evaporadores

No sistema frigorífico, o evaporador é o trocador de calor que transfere o calor do ambiente que se quer resfriar para o fluido refrigerante em ebulição. Os evaporadores podem ser classificados de vários modos:

- Quanto ao mecanismo de troca de calor do fluido secundário do lado de fora: evaporadores com convecção natural ou forçada;
- Quanto ao mecanismo de troca de calor de dentro: evaporadores inundados, quando o refrigerante cobre toda a superfície de troca de calor, evaporadores secos, quando parte da área de troca de calor está em contato com o vapor do refrigerante, superaquecendo-o

Nas câmaras frigoríficas é onde se encontra a principal utilização de serpentinas de convecção natural, onde tubos normais ou aletado são montados próximo ao teto ou ao longo das paredes. A válvula de expansão mantém os tubos com fluido refrigerante, que evapora com o calor recebido do ar que escoar para baixo sobre as serpentinas.

As vantagens principais dos evaporadores de convecção natural são: não ocupam lugar no chão; baixo custo de manutenção e operação; operam por grandes períodos de tempo sem necessidade de congelamento.

As desvantagens São: baixo coeficiente de troca de calor; grande volume interno (pela necessidade de maior área de troca de calor), implicando numa maior quantidade de fluido refrigerante.

Os evaporadores do tipo resfriadores de ar são basicamente serpentinas de convecção forçada, normalmente aletadas com uma válvula de expansão termostática (evaporar seco). Esse tipo de evaporador deve ser utilizado quando está próximo do compressor e do condensador, para evitar perdas de carga na sucção e possibilidade de vazamento.

A figura 39 mostra um evaporador seco do tipo serpentina

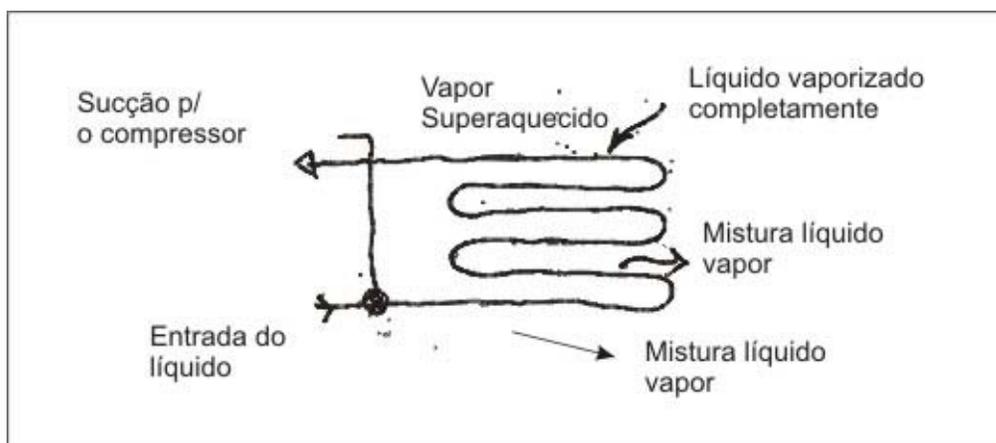


Fig. 39 - Esquema de um evaporador seco, STOECKER (1980).

Nos evaporadores inundados, o líquido refrigerante entra através de uma válvula de nível (válvula de expansão controlada pelo nível de líquido no tambor do evaporador) em um tambor, entrando em seguida nos tubos que compõem a serpentina, localizados na parte inferior do tambor, entrando em seguida nos tubos que compõem a serpentina, localizados na parte inferior do tambor. A medida que o refrigerante flui pela serpentina, recebendo calor, entra em ebulição de modo que uma mistura de líquido e vapor retorna ao tambor por uma saída superior. A função desse tambor é separar o líquido do vapor que segue para o compressor. O tambor separa o vapor gerado na válvula de expansão, que nem passa pela serpentina.

A figura 40 mostra um evaporador inundado

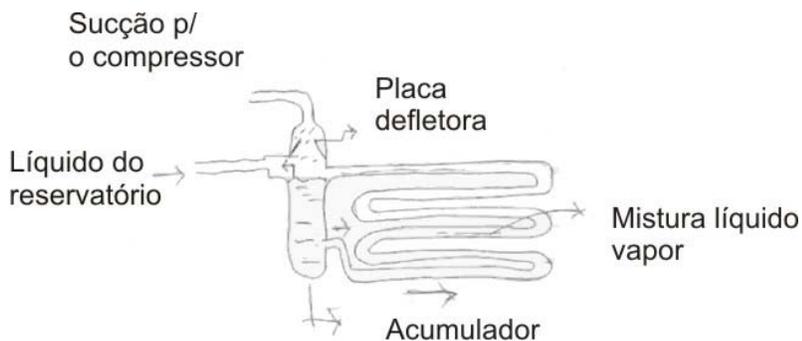


Fig. 40 - Esquema de um evaporador inundado, STOECKER (1980).

Este evaporador tem uma boa eficiência de troca de calor porque o líquido está em contato com a área total do evaporador, durante a operação. Caso haja óleo junto com refrigerante, esse óleo ficará retido no evaporador, o que é inconveniente, mesmo quando a quantidade de óleo é pequena. Sempre que houver possibilidade do óleo ser arrastado pelo refrigerante, ele deve ser eliminado na linha de descarga do compressor, antes mesmo do condensador.

Os resfriadores de líquido apresentam duas configurações usuais:

- Tipo tubo e carcaça com o refrigerante na carcaça, funcionando como um evaporador inundado, onde a válvula de expansão é controlada pelo nível de refrigerante líquido na carcaça e o líquido a ser resfriado passa por dentro dos tubos.
- Tipo tubo carcaça onde o refrigerante passa pelos tubos, que funciona como um evaporador seco, com válvula de expansão controlada através de um sensor termostático (refrigerante sai superaquecido) o fluido fica do lado da carcaça.

4.2.8 Dispositivo de Expansão

O dispositivo de expansão apresenta como finalidade: reduzir a pressão do refrigerante líquido e controlar o fluxo refrigerante que entra no evaporador. Os tipos de dispositivos de expansão são: tubo capilar, válvula de expansão de pressão constante, válvula de expansão termostática e válvula de bóia.

O tubo capilar de uma extensão fixa de tubo de (1 a 6m) de diâmetro de (0,5 a 2m) instalado entre o condensador e o evaporador. O refrigerante líquido entra no tubo capilar perde pressão a medida que escoar por ele, devido ao atrito, causando evaporação de parte do refrigerante.

Para uma extensão e diâmetro de tubos, a resistência ao fluxo oferecida pelo tubo é fixa, de modo que a facha de fluxo líquido pelo tubo capilar em qualquer instante é proporcional à diferença de pressão entre as extremidades (condensador e evaporador).

O compressor e o tubo capilar atingem uma condição de equilíbrio na qual as pressões de aspiração e descarga são tais que o compressor bombeia exatamente a quantidade de refrigerante com que o dispositivo de expansão alimenta o evaporador.

A figura 41 apresenta num só diagrama a razão fornecida pelo compressor e pelo tubo capilar em função da pressão de aspiração (temperatura de evaporação) para várias temperaturas (pressões) de condensação. Os pontos de cruzamento das linhas de mesma temperatura de condensação constituem-se nos pontos de equilíbrio ou de operação. Assim, para um temperatura de condensação de 30°C, o ponto de equilíbrio é o ponto 1.

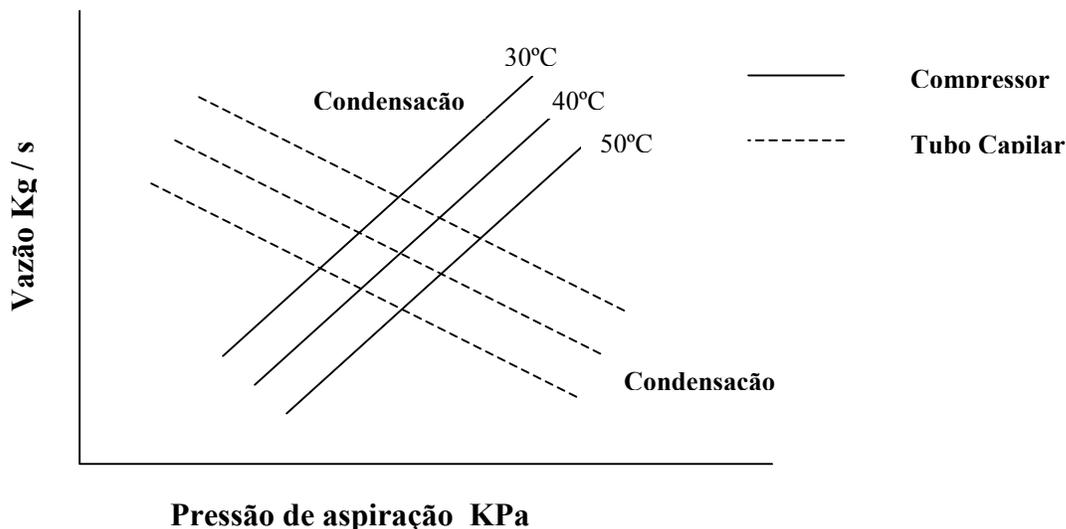


Fig. 41- Pontos de equilíbrio entre um compressor alternativo e um tubo capilar, STOECKER (1980).

Quando o sistema é desligado o tubo capilar faz com que as pressões de alta e baixa se equilibram. Com isso no reinício de operação o motor elétrico do compressor necessita de um toque inicial menor, sendo portanto um motor de menor porte.

O baixo custo, a simplicidade e a necessidade de uma carga de refrigerante bem determinada fazem com que a aplicação dos tubos capilares seja principalmente em sistemas de pequeno porte (em torno de 10kw) com compressores herméticos. Tem como desvantagens dificuldade em se ajustar as variações de carga e a possibilidade de obstrução por elementos estranhos.

A válvula de expansão de pressão constante ou válvula presostática opera com objetivo de manter a pressão constante no evaporador, mudando mais ou menos sua superfície em resposta às variações na carga de evaporador. A figura 42 mostra um esquema de uma válvula de expansão de pressão constante.

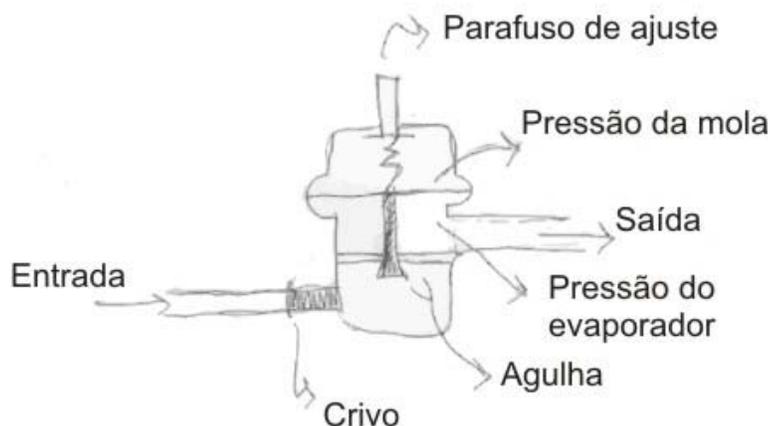


Fig. 42 - Esquema de uma válvula de expansão de pressão constante, STOECKER (1980).

A válvula de expansão de pressão constante opera através da interação entre a pressão do evaporador, que age no sentido de fechar a válvula e a pressão da mola, que tende a manter a pressão do evaporador (e a temperatura de evaporação), constante, independente da carga térmica do evaporador.

O efeito da operação da válvula sobre o desempenho do sistema é mostrado na figura 43, onde são mostrados a capacidade do compressor e a razão proporcionada pela válvula para diversos graus de abertura, à pressão de condensação constante. O ponto a corresponder ao ponto de equilíbrio, com as razões do compressor e da válvula igualando-se.

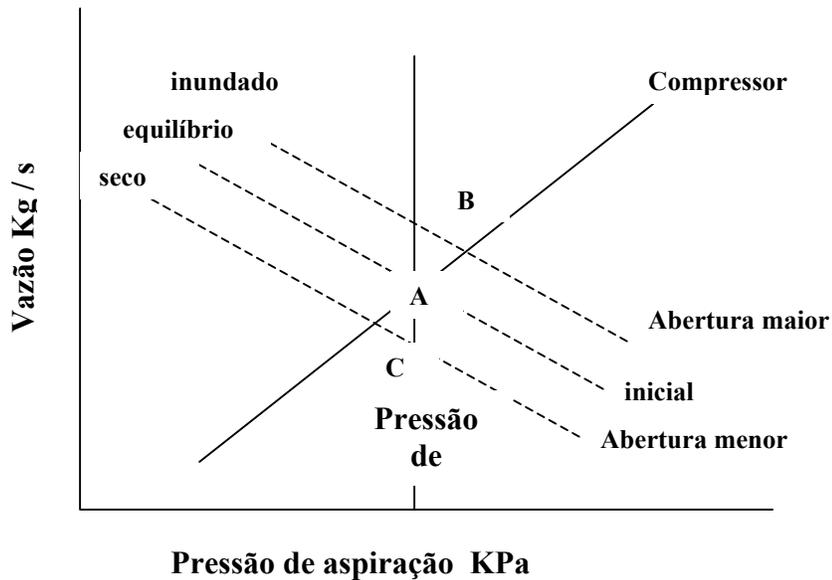


Fig. 43 - Condição de equilíbrio com a válvula de expansão de pressão constante, STOECKER (1980).

De acordo com a figura 43, pode-se verificar que sua principal desvantagem consiste no fato de que a capacidade e a eficiência do sistema são drasticamente limitadas nos momentos em que o sistema é mais solicitado, isto é maior carga de refrigeração.

Sua maior aplicação é para sistemas pequenos, menores que 30kw, onde a carga refrigerante é crítica para evitar inundação do evaporador e em processos onde a temperatura de evaporação deva ser estritamente constante.

A válvula de expansão termostática é construída para manter um grau constante de superaquecimento na saída do evaporador.

A figura 44 mostra o esquema de uma válvula do expansão termostática com seus principais componentes que são: agulha e assento, diafragma, mola ajustável bulbo.

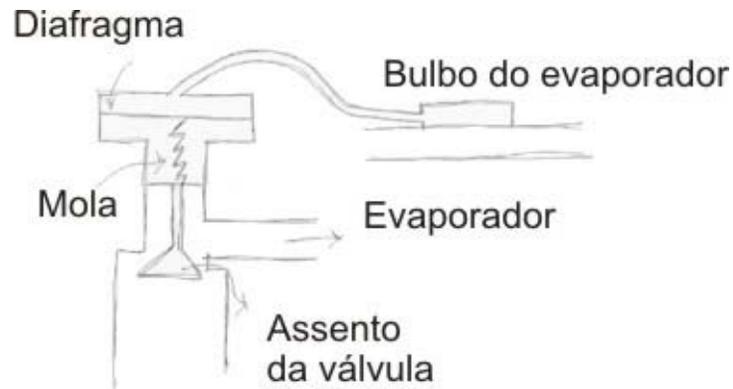


Fig. 44: Esquema da válvula de expansão termostática, STOECKER (1980).

A abertura e fechamento pelo resultante da atuação da pressão exercida pela mistura líquido-vapor saturado do bulbo remoto (no sentido de abrir a válvula) e a soma da pressão do evaporador e a pressão da mola no (sentido de fechar a válvula). O bulbo remoto é colocado em contato térmico com a linha de sucção no final do evaporador assumindo a temperatura do refrigerante que passa por este ponto.

A válvula de bóia mantém constante o nível de líquido no evaporador pelo controle da razão de entrada, de acordo com a taxa de vaporização que esteja ocorrendo no mesmo. este tipo de válvula é sensível apenas ao nível de líquido no evaporador, mantendo-o com refrigerante líquido a um nível desejável independente da pressão ou da temperatura do evaporador. Este tipo de válvula de expansão é utilizado apenas em evaporação inundados.

A operação de uma válvula de bóia pode ser contínua, quando ela abre ou fecha em resposta às pequenas variações de nível de líquido, ou intermitente, quando ela responde somente aos níveis máximo (fechando completamente) e mínimo (abrindo completamente) do líquido no evaporador.

Mantendo-se constante o nível de líquido no evaporador, a válvula de bóia sempre estabelece condições de equilíbrio entre o compressor e ela mesma. O ponto A da figura 45 representa um estado inicial de equilíbrio.

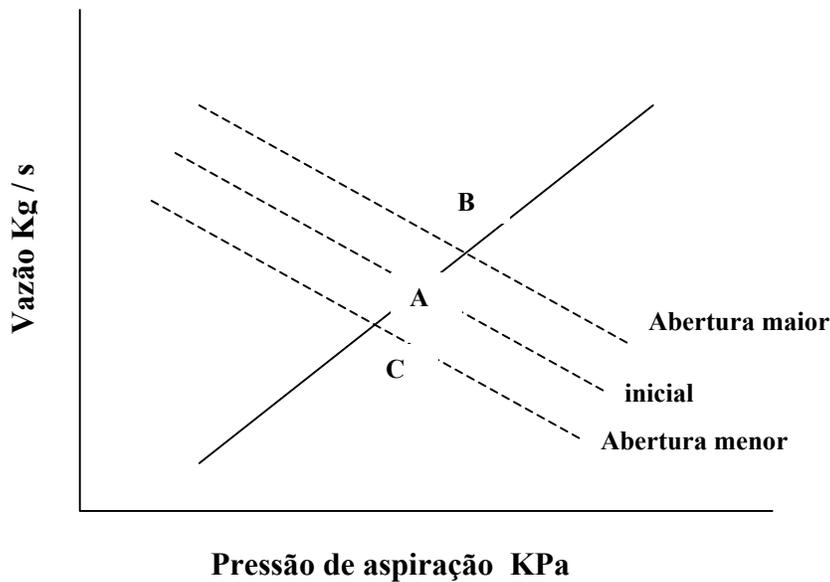


Fig. 45 - pontos de equilíbrio com válvula de bóia, STOECKER (1980).

4.2.9 Acessórios

Pode-se citar como acessório:

- Válvulas de serviço;
- Válvula de segurança;
- Válvula purgadora;
- Válvula de enchimento de óleo;
- Visor de óleo;
- Pressostato de alta pressão, que desliga o motor do compressor se a pressão de descarga for muito alta;
- Pressostato de baixa pressão, que desliga se a pressão baixa for muito pequena, pode-se citar como exemplo, blocagem na sucção;
- Pressostato diferencial, que desliga caso a lubrificação não seja suficiente;
- Controle de capacidade.

Os compressores são geralmente equipados com os instrumentos.

- Manômetro de sucção;
- Manômetro de descarga;
- Manômetro de óleo;
- Termostato de descarga

4.2.10 Refrigerantes

O tipo de refrigerante a ser utilizado nos ciclos frigoríficos é selecionado visando obter máxima economia e segurança. E escolha do mais adequado é feito levando-se em conta as seguintes exigências que são exigências térmicas, exigências químicas, segurança e econômica.

Exigências Térmicas:

- As pressões de saturação correspondentes a temperatura de evaporação e condensação devem se respectivamente: não inferior a pressão atmosférica; e não muito alta;
- Deve possuir um grande peso específico quando vapor;
- Deve possuir propriedades favoráveis à transferência de calor na evaporação e condensação;
- A temperatura de descarga do compressor na deve ser alta, para possibilitar uma lubrificação segura.

Exigências Químicas

- Não deve atacar os materiais de construção e o óleo;
- Deve ser estável nas condições que podem ocorrer durante o ciclo sem perigo de decomposição;
- Neutro em relação ao água

Segurança:

- Não deve ser explosivo, nem inflamável;
- Não deve ser tóxico ou alérgico ao homem.

Economia:

- Deve ser disponível no mercado e a baixo custo

Atualmente os refrigerantes mais usados são a amônia (NH_3) e os halogenados, levando em conta os fatores anteriormente citados, pode-se diferenciá-los quanto ao seu emprego e problemas que apresentam.

A amônia (NH_3) é um refrigerante típico para indústria onde há necessidade de instalações de maior parte.

Apresenta-se neutro em relação ao óleo lubrificante porém altamente reativo com as partes feitas de cobre, zinco, estanho ou liga estanho-chumbo (este último caso apenas abaixo- 10°C). No caso de vazamento, oferece grande perigo por ser tóxico, mas existe forte odor que denuncia imediatamente.

Halogenados (Freons)

São empregados de maneira geral em equipamentos de pequeno porte, e típicos para objetivos comerciais e domésticos. No caso de vazamento não são perigosos, pois são inertes aos humanos e ao alimento. Não são reativos com o cobre. A única restrição quando ao segurança:

- Não deve ser explosivo, nem inflamável;
- Não deve ser tóxico ou alérgico ao homem.

Economia:

- Deve ser disponível no mercado e a baixo custo

Atualmente os refrigerantes mais usados são a amônia (NH_3) e os halogenados, levando em conta os fatores anteriormente citados, pode-se diferenciá-los quanto ao seu emprego e problemas que apresentam.

A amônia (NH_3) é um refrigerante típico para indústria onde há necessidade de instalações de maior parte.

Seu uso seria a presença de água que com o contato forma ácido forte que ataca o equipamento, especialmente o isolante elétrico dos motores em compressores herméticos.

Os refrigerantes mais usados são: R-12 (Freon-12) R-22 (Freon – 22) e R-134 r, sendo que o R-134^a é usado atualmente devido não provocar danos na camada de Ozônio (O_3) quando ocorrer vazamento.

As propriedades termodinâmicas são encontradas em tabelas, gráficos, etc da literatura termodinâmica

Capítulo 5

Metodologia

A escolha do sistema fotovoltaico feita em função da energia fornecida pelo Sol ao sistema, e a demanda de energia solicitada pelo sistema de refrigeração. Os critérios usados para o dimensionamento são: custo da energia gerada, confiabilidade, eficiência e ao mesmo tempo a combinação desses fatores.

Pode-se usar métodos simplificados de dimensionamento que baseiam-se em características médias dos componentes e valores típicos de radiação solar. Os métodos usados neste trabalho planilhas que orientam cada passo da escolha e baseiam-se, na operação do sistema em um dia típico.

O dimensionamento de um sistema fotovoltaico deve levar em conta robustez e facilidade de instalação e manutenção, visto que neste projeto ele será utilizado em locais remotos e inóspitos. Também devem ser consideradas as perdas relativas aos componentes que, embora não sejam considerados básicos, são importante para o seu funcionamento adequado. Trata-se do Balanço do Sistema (BOS), derivado da expressão em inglês “Balance of System”. O BOS envolve os condutores, diodos de bloqueio, proteções, etc.

Neste trabalho vão ser usados planilhas que auxiliarão no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados para um conjunto de 4 refrigeradores de compressão a vapor com capacidade variável e potência variável.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico é caracterizado por geração, armazenamento, unidades de controle e condicionamento de potência. Através dos dados meteorológicos e uma estimativa de carga será feita uma especificação para cada um dos blocos da figura.

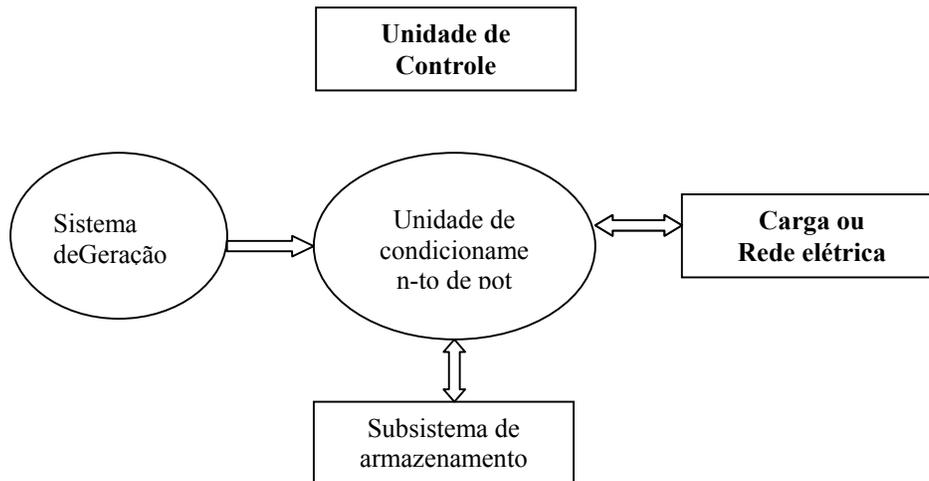


Fig. 46 - Diagrama de blocos de um sistema fotovoltaico, MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMA FOTOVOLTAICO (1995)

As principais etapas do projeto são apresentadas nos itens seguintes. Detalhando-se apenas o projeto de sistema fotovoltaico isolado tem-se:

- Avaliação do recurso solar.

Busca-se quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico de forma poder calcular a energia gerada. Para os equipamentos disponíveis no Brasil as grandezas mais comumente medidas são o número de horas de insolação e radiação global no plano horizontal. No método usado de dimensionamento simplificado (planilhas) trabalha-se com valores médios de energia diária expressos em número de horas de Sol pleno.

- Estimativa da curva de carga.

Para o dimensionamento do sistema de geração precisa-se analisar a demanda de energia pela carga. O levantamento preciso da curva de carga pode favorecer uma redução significativa do custo do sistema e prevenir contra efeitos de possíveis variações localizadas no comportamento da carga. Nas planilhas apresentadas neste trabalho, a carga é avaliada através do produto do consumo nominal dos equipamentos, em Ampéres, e do tempo de utilização, numa base diária. Devido a variação da tensão nas baterias devido carga e descarga expressa-se o consumo em Ampéres-hora e não em watts hora.

Outro fator importante na avaliação da carga é a determinação dos valores extremos de consumo (máximo e mínimo), para que os componentes possam ser dimensionados segundo as condições críticas de operação.

Tensão nominal e características adicionais sobre os equipamentos (CA ou CC, eficiências, etc) “fecham” a especificação da carga.

- Sistema de armazenamento.

Baterias são, na atualidade, o meio mais difundido (melhor relação custo versus benefício) de armazenamento. Os parâmetros mais importantes para o dimensionamento do banco de baterias são a eficiência, a máxima profundidade de descarga (para ciclos diários e ciclos esporádicos) e a autonomia do sistema.

Existem dois valores de eficiência para uma bateria: a de Wh e a de Ah. A primeira situa-se em torno de 85% enquanto a segunda aproxima-se dos 100%. Ambas sofrem redução quando a bateria está com estado próximo à carga plena.

Dois limites são normalmente estabelecidos para máxima profundidade de descarga: o ciclo (diário) e o esporádico. Estes limites são expressos como percentuais da capacidade nominal da bateria, vão depender da expectativa de vida desejada para a mesma. Quanto mais profundo o ciclo, mais curta a vida da bateria.

O número de dias sem Sol é uma previsão do maior período possível de consumo de energia com geração solar insuficiente para repor o estado de carga inicial das baterias, com uma determinada taxa de risco.

- Dimensionamento da geração fotovoltaica.

De posse dos dados meteorológicos de relevância e da expectativa de demanda de energia para o sistema, passa-se para o dimensionamento do(s) painel(éis) fotovoltaico(s). A escolha do modelo e o cálculo do número de unidades necessárias para um dado sistema, são aspectos da vida útil, confiabilidade e custo.

Os parâmetros mais importantes para o dimensionamento são:

- Consumo calculado para a carga.
- Radiação solar global no plano do módulo.
- Eficiência do banco de baterias.
- Valor típico de corrente que corresponde ao ponto de máxima potência.
- Tensão de operação (deve-se lembrar que, para sistemas com armazenamento, sem seguidor do ponto de máxima potência, a tensão é imposta pela bateria e depende da corrente, do estado de carga e da temperatura).
- Perdas causadas por componentes adicionais.

No sistema fotovoltaico temos os demais componentes que são controladores de carga, que tem como parâmetro mínimo: o valor máximo da corrente e a tensão de operação.

- Características de saída (forma de onda, frequência, amplitude, distorção);
- Eficiência;
- Potência nominal;
- Potência máxima;
- Taxa de utilização;
- Tensão de entrada (nominal e faixa permitida);

- Modularidade;
- Fator de potência;
- Consumo permanente;
- Tamanho e peso;
- Ruído;

A parte elétrica que é a interconexão dos diversos componentes do sistema de forma eficiente evitando perdas desnecessárias de energia. Torna-lo seguro sob ponto de vista elétrico, considerando-se a segurança do sistema e do usuário.

O sistema elétrico inclui desde a escolha dos condutores até o dimensionamento/especificação dos dispositivos de segurança.

Os diodos de proteção são incluídos nos sistemas fotovoltaicos com os objetivos abaixo:

Otimizar a captação de energia do arranjo é evitar danos aos módulos em períodos em que há sombreamento parcial do sistema ou quando os módulos, que compõem o arranjo, possuem características elétricas diferentes.

Evitar fuga de corrente da bateria para o painel fotovoltaico, em sistemas com armazenamento, durante o período noturno ou quando os níveis de insolação são muito baixos.

A escolha da fiação que faz parte do sistema fotovoltaico é escolhida em planilhas que dão as bitolas dos condutores. As fiações CA e CC são tratadas de forma diferenciada. Apesar de não existir normas específicas para o dimensionamento dos condutores a experiência têm mostrado que limites de perda de tensão razoáveis para a condição crítica de operação, são 3% para qualquer trecho individual, exp: trecho entre o módulo e o controlador; e 5% de perda total (desde o módulo até o usuário final, estes percentuais são relativos a tensão nominal do sistema).

As planilhas no apêndice referem-se a um limite de 3% e indicam a bitola adequada para os condutores em função do comprimento do ramal, para circuitos com corrente entre 0,5 e 200 Ampéres, e tensão nominal de 12, 24, 48 ou 120 volts.

A proteção do sistema fotovoltaico (varistores, disjuntores, aterramento, etc) passa por procedimentos já normalizados que são idênticos aos relacionamentos com sistemas elétricos em geral.

As planilhas usadas neste trabalho foram traduzidas do Manual Stand-Alone Photovoltaic System – A Handbook of Recommended Design Practices produzido pelo Sandia National Laboratories, revisão nov/91. Em alguns casos, foram feitas pequenas adaptações em função das características locais, como por exemplo, as temperaturas médias.

As planilhas tratam apenas do projeto de sistemas isolados (não interligados a rede), puramente fotovoltaicos, fixos e sem concentração da radiação solar.

A seguir faz-se a escolha do sistema fotovoltaico usando as planilhas citadas. São considerados 4 freezers com capacidades:

- a) tensão 57,1 watt e 0,3A
- b) tensão 76,2 watt e 0,35A
- c) tensão 95,2 watt e 0,48A
- d) tensão 114,3 watt e 0,52A

- **Instruções para uso das planilhas de dimensionamento de sistema fotovoltaico.**

As planilhas e instruções apresentadas são utilizadas para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos isolados. Estes sistemas terão subsistemas de armazenamento (baterias).

Cada campo da planilha possui um número no canto superior esquerdo. As instruções apresentadas a seguir corresponde a estes números.

Um número no canto inferior esquerdo é uma referência cruzada e indica que um valor calculado anteriormente deve ser usado.

A letra “D” no canto superior direito do campo indica que um valor default pode ser encontrado nestas instruções.

- **Uso da Planilha # 1**

Cálculo do consumo das cargas

1. Descrição das cargas: usa-se o campo “1” corrente alternada (CA) da planilha 1. quatro freezer com capacidades:

- a) tensão 57,1 Watt e 0,3 A
- b) tensão 76,2 Watt e 0,35 A
- c) tensão 95,2 Watt e 0,48 A
- d) tensão 114,3 Watt e 0,52 A

2. Quantidade: colocar no campo “2” da planilha o equipamento correspondente a sua carga (tensão).

3. Corrente da Carga em amperes (A): No campo “3” entrar com as correntes em (A) para cada freezer.

- | | |
|---------------|---------------|
| (a) -> 0,3 A | (c) -> 0,48 A |
| (b) -> 0,35 A | (d) -> 0,52 A |

4. Tensão da Carga em volts (V) no campo “03” da planilha escreve-se 220 volts que consta no catálogo dos freezers.

5B. Potência da carga corrente alternada dado em Watts (W): Multiplica-se o valor da corrente da carga pela voltagem; encontra-se a energia da carga em (W). coloca-se no campo 5B.

6. Ciclo de Serviço Diário (h/dia): usa-se 8 horas por dia.

7. Ciclo de serviço semanal (dia/semana): o número médio usado 7 horas.

8. Eficiência na Conversão de Potência (decimal): Está relacionado com a perda de energia, que ocorre nos sistemas que utilizam componentes condicionadores de potência (inversores ou conversores). Para o dimensionamento usa-se os valores default da tabela (6).

Tabela (6)

Eficiência na Conversão de Potência (decimal) valores “default”; Manual de Engenharia para sistema fotovoltaico (1995)

Eficiência Default na Conversão de Potência	
CC para CA	0,80
CC para CA	0,85

(Valor escolhido: 0,85)

9. Tensão Nominal do Sistema (Volts) (V): Entrar com a tensão do sistema fotovoltaico. Valores são: 12, 24, 48, 120 Volts. Usa-se um sistema fotovoltaico com 12 Volts.

10. Consumo Ampéres-hora (Ah/dia): Calculado multiplicando-se campo 5B, com o campo 6, com o campo 7, o resultado divide-se com o campo 8 e o campo 9.

11. B Potência Total das Cargas, corrente alternada. Somatório total das cargas do campo 5B.
12. Consumo Total Ampere-hora (Ah/dia): Calculado através do consumo médio diário do sistema em ampere-hora.
13. Potência Total das cargas corrente contínua (CC) (watt): Entrar com valor do campo 11A (no caso é zero).
14. Potência Total das Cargas CA (W): Entrar com o valor do campo 11B.
15. Tensão Nominal do sistema (V): Entrar com o valor do campo “9”.
16. Estimativa da Corrente de Pico (A): Calcular a corrente máxima necessária quando todas as cargas operam simultaneamente.
17. Consumo Total Ampere-hora (Ah/dia): Entrar com o valor do campo 12.
18. Fator de eficiência da Fiação (decimal) (1 – perda no fio): Entrar com a fração decimal de acordo com a perda de energia causada pela fiação. Este fator pode variar entre 0,95 a 0,99. A dimensão do fio deve ser escolhida de forma a manter a perda nos fios em qualquer circuito simples, menor que 3% e maior que 0,97. O valor usado para eficiência da fiação é 0,98.
19. Fator de Eficiência da Bateria (decimal): Entrar com a eficiência da bateria que é igual ao número de ampéres-hora de saída dividido pelo número de amperes-hora de entrada. Usar dados do fabricante para a bateria especificada. Assumir a tensão de operação constante. Valor para eficiência da bateria “0,95”.
20. Consumo Ampere-hora Corrigido (Ah/dia): Calcular a energia necessária para alimentar a carga média diária.

- Planilha # 2

Determinação da Corrente e do Ângulo de Inclinação do Arranjo

21. Localização do sistema / localização da Medição: Entrar com a latitude e longitude do local onde será instalado o sistema e do local de medição dos dados de insolação utilizados.

Obs.: não é usado $+15^\circ$ e -15° .

22. A, B e C – Carga corrigida (Ah/dia): Ver campo 20 – planilha #1. Entrar com a carga corrigida para cada mês.

23. A, B e C: Sol Pleno (h/dia): Entrar com o número médio de horas diárias nos quais a insolação é de 1000 W/m^2 . Entrar com o valor para cada mês.

24. A, B e C: Corrente de Projeto (A): Calcular a corrente necessária para o arranjo fotovoltaico alimentar as cargas do sistema.

Obs.: A princípio para selecionar o ângulo de inclinação do arranjo fotovoltaico determina-se a maior corrente de projeto necessária, para cada um dos três ângulos de inclinação. Em seguida, seleciona-se a menor corrente de projeto entre estas três possibilidades. O procedimento indica o melhor ângulo de inclinação para o arranjo fotovoltaico.

25. A + 26 A

25 B + 26 B => Corrente de Projeto (A) e Sol Pleno (h/dia)

25 C + 26 C

Escolher e entrar com maior valor mensal de corrente de projeto e com o número de horas de sol pleno correspondente, extraídos dos campos 24 A, B e C e 23 A, B e C.

27 e 28. Corrente de Projeto (A) e Sol Pleno (h/dia): Escolher e entrar com o menor valor de corrente de projeto e com o número de horas de Sol Pleno correspondente, extraídos respectivamente dos campos 26 A, B e C e 25 A, B e C.

- Planilha # 3

Dimensionamento do Banco de Baterias

29. Consumo Ampere-hora Corrigido (Ah/dia): Entrar com o valor do campo “20” – Planilha #1.

30. Dias de Armazenamento: Escolher e entrar com o número de dias consecutivos que o sistema de armazenamento (bateria) terá que atender a carga nos períodos em que o arranjo fotovoltaico não estiver gerando energia. A disponibilidade do sistema é definida como crítica (99% de disponibilidade) ou não crítica (95% de disponibilidade) e afeta diretamente o número de dias de armazenamento.

31. Profundidade de descarga máxima (decimal): Entrar com a máxima descarga permitida para a bateria, que é dependente do seu tamanho tipo. Recomenda-se consultar os fabricantes de bateria ou usar os valores default dado tabela abaixo.

Tabela (7): valores default para baterias; Manual de Engenharia para sistema fotovoltaico (1995).

Profundidade de descarga máxima	
Tipo de Bateria	Default
Chumbo – antimônio	0,8
Chumbo – cálcio	0,6
Níquel – cádmio	0,9

32. Desconto por Temperatura (decimal): Entrar com o fator que corrige a capacidade da bateria para baixas temperaturas. O valor default usado para o Brasil (país tropical) é dado abaixo.

Valor Default para a correção de temperatura = 1
--

Fonte: Manual de Engenharia para o sistema fotovoltaico (1995)

33. Capacidade necessária para a bateria (Ah): Calcular a capacidade da bateria capaz de alimentar a carga diária durante o nº de dias necessário. Escolher a bateria e anotar suas especificações nos campos correspondentes as informações sobre a bateria.
34. Capacidade da bateria selecionada (Ah): Entrar com a capacidade nominal de armazenamento, em ampere-hora, fornecido pelo fabricante. Normalmente as especificações das baterias são fornecidas para condições ideais de teste .
35. Número de baterias em paralelo: Calcular o número necessário de baterias conectadas em paralelo para fornecer a capacidade de armazenamento.
36. Tensão Nominal do Sistema (V): Entrar com o valor do campo “9” planilha #1.
37. Tensão Nominal da Bateria (V): Entrar com o valor do campo 35.
38. Número de bateria em Série: Calcular o número necessário de bateria conectadas em série para fornecer a tensão do sistema.
39. Número de baterias em Paralelo: Entrar com o valor do campo 35.
40. Número Total de Baterias: Calcular o número total de baterias do sistema.
41. Número de baterias em Paralelo: Entrar com o valor do campo (35).
42. Capacidade da bateria selecionada (Ah): Entrar com o valor do campo 34.
43. Capacidade da Bateria do Sistema (Ah): Calcular a capacidade do sistema de armazenamento (bateria).
44. Profundidade de Descarga Máxima (decimal): Entrar com o valor do campo 31.

45. Capacidade Útil da Bateria (Ah): Número de amperes-hora que é fornecido pelas baterias instaladas.

- Planilha # 4

Dimensionamento do Arranjo Fotovoltaico.

46. Corrente de Projeto (A): Entrar com o valor do campo 28 – planilha #2.

47. Fator de Correção do Módulo (decimal): Entrar com o fator de ajuste da corrente do módulo nas condições padrão de teste (STC) para as condições de campo, isto é, acúmulo de poeira, perdas entre os módulos mal conectados, degradação ao longo do tempo. De acordo com o tipo de módulo usa-se a tabela abaixo.

Tabela (8): Fator de correção do módulo: Manual de Engenharia para o sistema fotovoltaico (1995).

Valor Default para Correção do Módulo	
Tipo de Módulo	Fator
Cristalino	0,9
Amorfo	0,7

48. Corrente de Projeto Corrigido (A): Calcular a corrente gerada pelo arranjo, mínima necessária para fornecer a carga média diária, para o local escolhido.

49. Corrente Nominal do Módulo (A): Entrar com a corrente nominal do módulo para condições padrões de teste (STC).

50. Número de módulos em Paralelo: Entrar com o número necessário de módulos conectados em paralelo para fornecer a corrente do arranjo.

51. Tensão Nominal da Bateria (V): Entrar com o valor do campo 38 – planilha #3.

52. Número de Baterias em Série: Entrar com o valor do campo 38 – planilha #3.
53. Tensão necessária para Carregar as Baterias (V): Calcular a mínima tensão necessária para carregar as baterias.
54. Tensão do módulo para a temperatura mais elevada (V): Entrar com o valor fornecido nas especificações do fabricante para a tensão do módulo correspondente ao valor mais alto esperado para a temperatura de operação.
55. Número de módulos em série: Calcular o número necessário de módulos em séries para produzir a tensão do sistema. Não se deve arredondar para baixo. Arredondar para cima, ao escolher outro módulo com tensão mais elevado.
56. Número de módulos em paralelo: Usar o valor do campo “50”.
57. Número total de módulos: calcular o número total de módulos que compõem o arranjo fotovoltaico.
58. Número de módulos em paralelo: Usar o valor do campo 50.
59. Corrente Nominal do Módulo (A): Entrar com o valor do campo “49”.
60. Corrente Nominal do Arranjo (A): Calcular a corrente nominal do arranjo para as condições padrão de teste (STC).
61. Corrente de Curto Circuito do Módulo (A): Entrar com a corrente de curto circuito do modulo para as condições padrão de teste (STC).
62. Corrente de Curto Circuito do Arranjo (A): Calcular a corrente de curto-circuito do arranjo para as condições padrão de teste (STC).

63. Número de Módulos em Série: Usar o valor do campo “55”.
64. Tensão Nominal do Módulo (V): Entrar com a tensão do módulo para as condições padrão de teste (STC).
65. Tensão Nominal do Arranjo (V): Calcular a tensão do arranjo para as condições padrão de teste (STC).
66. Tensão de Circuito Aberto do Módulo (V): Entrar com a tensão de circuito aberto do módulo para as condições padrão de teste (STC).
67. Tensão de circuito Aberto do Arranjo (V): Calcular a tensão do circuito aberto do arranjo para as condições padrão de teste (STC).

Especificações dos Dispositivos de Condicionamento de Potência Inversor

Nota: Listar os requisitos para o condicionamento de potência no espaço fornecido e pesquisar catálogos dos fabricantes os inversores adequados.

- B1. Forma de onda: Especificar a forma de onda necessária.
- B2. Tensão do Sistema CC (V): Se for o caso, entrar com a tensão CC do sistema.
- B3. Tensão do Sistema CA (V): Entrar com a tensão CA desejada.
- B4. Capacidade de Surto (W): Entrar com a capacidade de surto que será necessária para o pior caso. Algumas cargas para partirem, tais como motores elétricos, podem necessitar de corrente seis vezes maior do que a corrente nominal do motor.
- B5. Potência Total CA (W): Entrar com a carga CA total do campo 11B – planilha #1.

B6. Carga CA Máxima (simples): Entrar com a máxima carga CA (simples) do campo 11B da planilha #1.

B7. Carga CA Máxima (simultânea): Entrar com a máxima carga CA (simultânea) esperada. Esta é determinada somando-se as cargas que operam ao mesmo tempo. Ver planilha #1.

B8. Tempo de operação do inversor com carga máxima simultânea (min): Estimar e entrar com o tempo, em minutos, no qual o inversor terá que alimentar a máxima carga CA simultânea.

B9. Tensão de Serviço Contínuo do Inversor (W): Estimar a taxa de serviço para o inversor baseando-se na carga média esperada. Este valor não poderá exceder a potência nominal do inversor.

B10. Eficiência do Inversor necessária com Carga (%): Entrar com a eficiência desejada para o inversor para a carga média. Os fabricantes geralmente determinam a eficiência do inversor e função do tipo de inversor e do tamanho da carga.

B11. Especificações do Inversor: Entrar com os dados fornecidos pelo fabricante do inversor selecionado.

Conversor

Deve ser usado porque o sistema precisa de um conversor corrente contínua em corrente contínua. Neste trabalho não foi preciso usar o conversor, o sistema usa corrente alternada.

Controlador de Carga

A1. Corrente de Curto-Circuito do Arranjo (A): Entrar com o valor do campo 62 – planilha #4.

A2. Corrente mínima do Controlador (A): Calcular a mínima corrente do controlador. Ao multiplicar pelo fator 1,25, superdimensiona-se o controlador em 25%, para suportar.

CUSTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Componente	Fabricante	Modelo	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
1. Módulo Fotovoltaico	SIEMENS	SR 90	7	508,00	3.556,00
2. Bateria	MOURA	SMGR 31f	8	120,00	960,00
3. Controlador de Carga	SIEMENS	SR 30	2	170,00	340,00
4. Inversor de Corrente	STAT POWER	PORTAL WATTZ 600	1	220,00	220,00
CUSTO TOTAL DO SISTEMA					R\$ 5.076,00

Capítulo 6

Custo Da Energia Convencional

Considerando os 5 freezers temos um consumo diário de 363 watts, que representa um consumo de 363×24 Wh (8.712,00 Wh) ou 8.712 Kwh por dia. Supondo que os freezers irão funcionar durante 20 anos tem-se um consumo de: $20.12.30.8,712$ Kw.h que significa: 62726,40 Kw.h.

Sabendo que o Kw.h custa R\$ 0,38, então o custo total é: $62726,40 \times 0,38 = \mathbf{R\$ 23.836,00}$.

Capítulo 7

Conclusão

Através da análise dos custos verifica-se que a energia solar, sendo um investimento a curto prazo é inviável em relação a energia elétrica convencional, mas levando um tempo de utilização em torno de 20 anos, o custo se torna bem menor do que a energia convencional, pode-se também afirmar que a energia solar é considerada permanente além de não afetar o meio ambiente. Levando-se em conta a parte econômica social, pode-se dizer que os módulos fotovoltaicos podem ser instalados em qualquer região de difícil acesso.

Referências Bibliográficas

ADAMS, W.H. Mc, **Heat Transmission**, 3.^a ed, Mc Graw-Hill, New York, 1954.

ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume, Cap. 3, **American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers**, Atlanta, Ga, 1981.

ASHRAE Handbook and Product Directory, Equipment Volume, **American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers**, Atlanta, Ga, 1979.

BEZZERRA, Arnaldo Moura. **Aplicação Térmica da Energia Solar**. Paraíba UFPB, 2001, 243 p.

BROWN, J. & PEARSON, S.F., **Piston leakage in Refrigeration Compressors**, J. Refrig., vol. 6, n.º 5, p. 104, setembro/outubro, 1963.

CAVALCANTI, Evandro Sergio Comel & LOPES, José Demerval Saraiva, **Energia Solar para Aquecimento de Água**. Viçosa: CPT, 2001. 84 p.

CHESF/BRASCEP, **Fontes Energéticas Brasileiras, Inventário/Tecnologia – Distribuição Estatística de Radiação Solar no Nordeste**, 1987.

COMETTA, Emilio. **Energia Solar: Utilização e empregos práticos**. São Paulo, Hemus 1982, 127 p.

E. Lorenzo y otros, **Eletricidade Solar – Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos**, Instituto de Energia Solar – Universidade Politécnica de Madrid, Progensa (Promotora General de Estudos S.A.), 1994.

EMILIO, C., **Energia Solar: Utilização e Emprego Práticos**, Hemus, Ltda.

FERREIRA, M.J.G., **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**, Tese de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Energia, USP, São Paulo, 1993.

Florida Solar Energy Center, **Photovoltaic System Design – Course Manual**, FSEC-GP-31-86, 1991.

Flórida Solar Energy Center, **Photovoltaic System Design – Course Manual**, FSEC-GP-31-86, 1991.

Flórida Solar Energy Center, **Photovoltaic System Design – Course Manual**, FSEC-GP-31-86, 1991.

Flórida Solar Energy Center, **Photovoltaic System Design – Laboratory Manual**, FSEC-GP-36-88, 1988.

Fundação Padre Leonel Franca, **Mapeamento do Potencial Nacional de Energia Solar**, Relatório Final, PUC-RJ, Nov/1998.

KAUFMAN, B., **Graphical Analysis for Air Conditioning System Performance Refrig.**, Vol. 67, n.º 7, julho 1956, p.52.

KREIDER, J. F., F. Kreith, **Solar Energy Handbook**, McGraw-Hill Book Company, 1981.

KRENZINGER, A., **Módulos Concentrados Planos com Refletores Difusos para Células Bifaciais**. V Congresso Brasileiro de Energia – CBE, Rio de Janeiro-RJ, 1990.

LINDEN, D., **Handbook of Batteries and Fuel Cells**, Mc Graw-Hill Book Company, 1984.

LUIZ, Adir J., **Como Aproveitar a Energia Solar**. São Paulo: Edgar Blücher, 1985, 192 p.

Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaico, 1995.

MOREIRA. V.A., **Iluminação e Fotometria – Teoria e Aplicação**, Editora: Edgard Blücher Ltda., 1976.

Sandia National Laboratories, **Stand-Alone Photovoltaic Systems – A Handbook of Recommended Design Practices**, Revisão Nov/1991.

SALES, C.L., **Energia Solar: Utilização e Empregos Práticos**, Hemus Ltda, 1982.

Siemens Solar Industries – Training Department, **Photovoltaic Technology and System Design – Training Manual and Technical Appendix**, 1990, Edition 4.0.

STOECKER, W.F.: **Design of Thermal Systems**, 2.^a ed., Mc Graw-Hill, New York, 1980.

SHAPIRO, A.H., **The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow**, Ronald, New York, 1953.

SOUZA, Antonio Washington Albino de, **Fundamento da Teoria de Energia Solar e de seu Uso**, Fundação Brasileira de Direito Econômico, 1994, 225 p.

Apêndice

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (5 FREEZERS). CORRENTE ALTERNADA CÁLCULO DA CARGA

FOLHA DE TRABALHO #1

CALCULAR AS CARGAS (PARA CADA MÊS OU ESTAÇÃO, CONFORME REQUERIDO) - SEMANAL

1	2	3	4	5A
DESCRIÇÃO DA CARGA	C A N T	Corrente da Carga (A)	Voltagem da Carga (V)	Energia DC da Carga (W)
C.C	x	x	=	
C.C	x	x	=	
C.C	x	x	=	
C.C	x	x	=	

5B	6	7	8	9	10
Energia AC da Carga (W)	Ciclo Diário de Energia Usada (H/DIA)	Ciclo Semanal de Energia Usada (DIAS/SEMANA)	Eficiência de Conversão de Energia (DECIMAL)	Voltagem Nominal do Sistema (V)	Carga
	x	x	:7	:	=
	x	x	:7	:	=
	x	x	:7	:	=
	x	x	:7	:	=

57,1	C.A	1	x	0,3	x	220	N/A
76,2	C.A	1	x	0,35	x	220	N/A
95,2	C.A	1	x	0,48	x	220	N/A
114,3	C.A	1	x	0,52	x	220	N/A
11	Energia Total da Carga (W)				C	11A	
					C		

=	66	x	8	x	:7	:	0,85	:	12	=	51,76
=	77	x	8	x	:7	:	0,85	:	12	=	75,49
=	105,6	x	8	x	:7	:	0,85	:	12	=	82,82
=	114,4	x	8	x	:7	:	0,85	:	12	=	89,72
C	11B					12	Carga Total Amp-Hora (AH/DIA)				
A		363								299,79	

13	14	15	16
Energia DC Total da Carga (W)	Energia AC Total da Carga (W)	Voltagem Nominal do Sistema (V)	Pico da Corrente Usada (A)
11A	11B	9	
	+	363	:
		12	=
			30,25

17	18	D
Carga Total Amp-Hora	Fator da Eficiência do Fio (DECIMAL)	
12		
299,79	:	0,99

19	D
Fator da Eficiência da Bateria (DECIMAL)	Carga Amp-Hora (AH/DIA)
:	=
1	305,9

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

FOLHA DE TRABALHO #2

CORRENTE DE PROJETO E ÂNGULO DO CONJUNTO

21	Local do Sistema	São Luís	Latitude	2,55 S	Longitude	44,255
	Local de Insolação	São Luís	Latitude	2,55 S	Longitude	44,255

ÂNGULO A LATITUDE -15°			
	22A	23A	24A
M E S	Carga Corrigida (AH/DIA)	Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de Projeto (A)
	20		
E		:	=
F		:	=
M		:	=
A		:	=
M		:	=
J		:	=
J		:	=
A		:	=
S		:	=
O		:	=
N		:	=
D		:	=

ÂNGULO A LATITUDE			
	22B	23B	24B
M E S	Carga Corrigida (AH/DIA)	Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de Projeto (A)
	20		
E		:	10,02 =
F		:	10,02 =
M	305,9	:	10,02 = 30,52
A		:	10,02 =
M		:	10,02 =
J		:	10,02 =
J		:	10,02 =
A		:	10,02 =
S		:	10,02 =
O		:	10,02 =
N		:	10,02 =
D		:	10,02 =

ÂNGULO A LATITUDE +15°			
	22C	23C	24C
M E S	Carga Corrigida (AH/DIA)	Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de Projeto (A)
	20		
E		:	=
F		:	=
M		:	=
A		:	=
M		:	=
J		:	=
J		:	=
A		:	=
S		:	=
O		:	=
N		:	=
D		:	=

Selecione a maior corrente de projeto e pico de luz solar correspondente de cada latitude e escreva abaixo

Latitude -15	
25A	26A
Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de projeto (A)

Latitude	
25B	26B
Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de projeto (A)
10,02	30,52

Latitude +15	
25C	26C
Pico de Luz Solar (H/DIA)	Corrente de projeto (A)

Agora escolha a menor corrente de projeto e pico de luz solar correspondente

Nota: Não misture dados de conjuntos de rastrelo e lixo, na mesma folha

27	Pico de Luz Solar (H/DIA)	28	Corrente de projeto (A)
	10,02		30,05
	Ângulo de inclinação	=	10°

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (BATERIAS)

FOLHA DE TRABALHO #3

CALCULAR O TAMANHO DO SISTEMA DE BATERIAS

29	Carga Amp/hora Corrigida	30	Dias de Armazenamento (DIAS)	D	31	Máxima Profundidade de Descarga (Decimal)	D	32	Corrija Pela Temperatura	D	33	Capacidade de Bateria Requerida (AH)	34	Capacidade de Bateria Selecionada (AH)	35	Baterias em Paralelo
20	(AH/DIA)	x	4	:	0,15	:	1	=	814,1	:	110	:	110	=	7,40 = 8	

36	Sistema Nominal de Voltagem (V)	37	Voltagem Nominal de Bateria (V)	38	Baterias em Série	39	Baterias em Paralelo	40	Total de Baterias
12	:	13,2	=	1	x	8	=	8	

INFORMAÇÃO DE BATERIA	
Marca	MOURA
Modelo	SM GR 31F
Tipo	
Voltagem Nominal (V)	13,2
Capacidade Avaliada (AH)	110

41	Baterias em Paralelo	42	Capacidade de Bateria Selecionada (AH)	43	Capacidade do Sistema de Bateria (AH)	44	Máxima Profundidade de Descarga (DECIMAL)	45	Capacidade Útil da Bateria (AH)		
35	8	34	x	110	=	880	31	x	0,15	=	135

NOTA: Use dados do fabricante para preencher o quadro de informação de bateria

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (MÓDULO SOLAR)

FOLHA DE TRABALHO #4

CALCULAR O TAMANHO DO CONJUNTO DO SISTEMA

46	Corrente Desenho (A)		D	48	Corrente do Desenho Reduzida (A)		D	50	Módulos em Paralelo
28									
30,05		:		0,90		=		33,8	:
						=		5,4	=
								6,25 = 7 módulos	

	51		52		53		54		55		56		57	
	37		38								50			
1,20	x	12	x	1	=	16,4	:	16	=	1	x	7	=	7

INFORMAÇÃO DO MÓDULO FV (SIEMENS)					
Marca/Modelo	SR 90			Volta Nominal	17,0
Comprimento	1498	Largura	594	Espessura	40
Peso				Diodo de Desvio	S x N
Voltagem (V)	At STC	Circuito Aberto		A Temperatura Mais Alta Esperada	
	17,0	21,6			
Corrente (A)	At STC	Curto-Circuito			
	3,05	6,1			

NOTAS: Bloco 50 - Arredonde o n.º de módulos para projeto conservador
 Bloco 55 - Arredonde ou selecione outro módulo com suficiente voltagem para carregar as baterias quando em operação à temperatura mais alta esperada.

58		59	Corrente Avaliada do Módulo (A)		60	Corrente Avaliada do Conjunto (A)
	x		5,4	=		37,80
50	x		6,1	=		42,70

63		64	Voltagem Avaliada do Módulo (V)		65	Voltagem Avaliada do Conjunto (V)
	x		17,0	=		17,0
55	x		21,6	=		21,6

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (INVERSOR)

INVERSOR DE CORRENTE: É um acessório para ligar o equipamento, cuja tensão é 110/220 volts. Deve ficar ligado direto ao banco de baterias. O inversor converte a energia da bateria (12V) em corrente alternada (110V-60hz)

Inversor				
REQUISITOS DO SISTEMA			B11	ESPECIFICAÇÕES DO INVERSOR
B1	Forma de onda	<u>Senoide</u>		Fabricante <u>STAT POWER</u>
B2	Tensão do Sistema(CC)	<u>12V</u> (V)		Modelo <u>PORTA Lwa++ 600</u>
B3	Tensão do Sistema(CA)	<u>110V</u> (V)		Forma de onda <u>SENOIDE</u>
B4	Capacidade de Surto	<u>200</u> (W)		Tensão de entrada (CC) <u>10 a 15</u> (V)
B5	Potência Total (CA)	<u>363</u> (W)		Tensão de saída (CA) <u>115</u> (V)
B6	Carga C.A Máxima (Simples)	<u>363</u> (W)		Capacidade de Surto <u>1200</u> (W)
B7	Carga C.A Máxima (Simultânea)	<u>363</u> (W)		Características (x)
B8	Tempo de Operação do Inversor com Carga Máxima Simultânea	<u>300</u> (min.)		Carregamento da Bateria ()
B9	Taxa de Serviço Contínuo do Inversor	<u>363</u> (W)		Voltímetro ()
B10	Eficiência do Inversor necessária com carga	_____ (%)		Controle Remoto ()
				Partida de Gerador Auxiliar ()
				Chave de Transferência ()
				Seguidor do Ponto de Maxima Potencia ()

Conversor				
REQUISITOS DO SISTEMA			C5	CONVERSOR
C1	Tensão de entrada (CC)	_____ a _____ (V)		Fabricante _____
C2	Tensão de saída (CC)	_____ a _____ (V)		Modelo _____
C3	Potência de saída	_____ (W)		Tensão de entrada _____ (V)
C4	Temperatura de Operação	_____ a _____ (°C)		Tensão de saída _____ (V)
				Corrente de saída _____ (A)
				Temperatura de operação _____ (°C)
				Características (X)
				Tensão de saída ajustável ()

ESCOLHA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (CONTROLADOR DE CARGA)
CONTROLADOR DE CARGA: Responsável pelo gerenciamento de todo o sistema, serve para evitar sobrecargas ou a descarga em excesso da bateria ampliando sua vida útil, dispõe de fusível que protege todo sistema.

A1		A2		A3		A4		
Corrente de Curto Circuito do Arranjo (A)		Corrente Mínima do Controlador (A)		Capacidade do Controlador (Lado do Arranjo) (A)		Controladores em Paralelo		
61								
1,25	x	42,70	=	53,37	:	30	=	2

A5	
Controlador de Carga	
Fabricante/Modelo	_____ SIEMENS _____
Tipo	_____ SR 30 _____
Tensão do Sistema	_____ 12V _____
"Set-points" Ajustáveis (x)	
Compensação de Temperatura	() _____ - _____
"Threshold" de Tensão Elevada	() _____ - _____
"Threshold" de Tensão Baixa	() _____ - _____
Desconexão a Tensão Baixa	() _____ - _____
Proteção Corrente Reversa	() _____ - _____
Seguidor do Ponto de Máxima Potência	() _____ - _____
Medidores	
Tensão do Sistema	() _____ - _____
Corrente do Arranjo	() _____ - _____
Corrente para a Carga	() _____ - _____