



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

RODOLFO RAFAEL BERINO DA MOTTA

TÉCNICAS DE ENERGIA ELÉTRICA SUSTENTÁVEL
APLICADAS EM EDIFICAÇÕES

Guaratinguetá

2011

RODOLFO RAFAEL BERINO DA MOTTA

TÉCNICAS DE ENERGIA ELÉTRICA SUSTENTÁVEL APLICADAS EM
EDIFICAÇÕES

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

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

Guaratinguetá

2011

M921t	<p>Motta, Rodolfo Rafael Berino da Técnicas de energia elétrica sustentável aplicadas em edificações / Rodolfo Rafael Berino da Motta – Guaratinguetá : [s.n], 2011. 76 f : il. Bibliografia: f. 71</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011. Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli</p> <p>1. Impacto ambiental I. Título</p>
-------	---

CDU 504.03

**TÉCNICAS DE ENERGIA ELÉTRICA SUSTENTÁVEL APLICADAS EM
EDIFICAÇÕES**

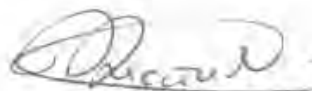
RODOLFO RAFAEL BERINO DA MOTTA

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

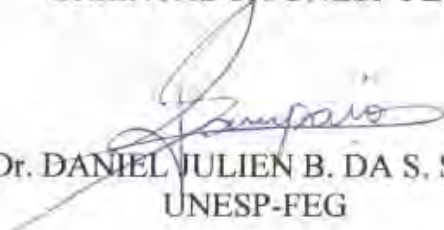
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Prof. Dr. Samuel Euzédice de Lucena
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI
ORIENTADOR/UNESP-FEG



Prof. Dr. DANIEL JULIEN B. DA S. SAMPAIO
UNESP-FEG



Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
UNESP-FEG

Dedico esse trabalho aos meus pais, que se sacrificaram para que eu pudesse atingir meus sonhos, e à minha noiva e todas as pessoas queridas que sempre me apoiaram e me desejaram o melhor.

MOTTA, R. R. B. DA **Técnicas de energia elétrica sustentável aplicadas em edificações**. 2011. 77p. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Uma das maiores preocupações da sociedade atual é a diminuição do impacto ambiental provocado pelas atividades humanas e exploração de recursos naturais. Dessa necessidade de um maior cuidado com o meio-ambiente surgiu, no meio da construção civil, o termo edificação sustentável. Projetos que usam racionalmente os recursos naturais, sem deixar de gerar conforto e funcionalidade para os clientes, se tornam cada vez mais uma realidade. Este trabalho apresenta a participação da energia elétrica em uma edificação sustentável, com a análise das energias renováveis existentes utilizadas em um projeto, apresentação de novas técnicas construtivas e tecnologias que surgem constantemente para se alcançar uma maior eficiência energética, com um uso adequado da energia recebida, além de uma diminuição da energia consumida por alguns aparelhos presentes em uma residência ou empresa.

PALAVRAS-CHAVE: Impacto ambiental, Edificação sustentável, Energia renovável, Eficiência energética.

MOTTA, R. R. B. DA **Sustainable electric energy techniques applied in buildings**. 2011. 77p. Graduate Work (Graduate in Electric Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

One of the major concerns in society today is to decrease the environmental impact caused by human activities and natural resource exploration. From this need to be more careful with the environment arose, in the field of civil construction, the term sustainable building. Projects that use natural resources rationally, without ceasing to bring comfort and functionality for customers, are becoming more a reality. This paper presents the share of electric energy in a sustainable building, with the analysis of the available renewable energies used in a project, presentation of new constructive techniques and technologies that are constantly emerging to achieve greater energy efficiency, with an appropriate use of energy received, also a decrease of the energy consumed by some devices present in a residence or business.

KEYWORDS: Environmental impact, Sustainable Building, Renewable Energy, Energy Efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica.....	17
Figura 2 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa na Classe Residencial	18
Figura 3 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial.....	18
Figura 4 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Prédios Públicos	19
Figura 5 - Radiação solar global diária – média anual típica (Wh/m ² .dia)	21
Figura 6 - Células solares compostas de silício: célula monocristalina, célula policristalina e célula de silício amorfo, respectivamente.....	23
Figura 7 - Tipos de materiais utilizados e suas respectivas eficiências	24
Figura 8 - Sistema de Energia Solar Fotovoltaica.....	25
Figura 9 - Regulador Shunt com LVD Opcional	27
Figura 10 - Regulador Série com LVD Opcional.....	27
Figura 11 - Formas de ondas típicas dos inversores monofásicos	29
Figura 12 - Esquema de ligação de um sistema fotovoltaico interligado à rede da concessionária.....	30
Figura 13 - Componentes de um aquecedor solar	32
Figura 14 - Sistema de aquecimento solar residencial	33
Figura 15 - Mapa da velocidade média anual do vento a 50 metros de altura, em m/s	35
Figura 16 - Configuração de um sistema eólico isolado	36
Figura 17 - Desenho esquemático de um aerogerador	37
Figura 18 - Curva de custo energia elétrica x sistema fotovoltaico	42
Figura 19 - Curva de custo energia elétrica x sistema aquecimento solar	45
Figura 20 - Curva de custo energia elétrica x sistema aerogerador.....	47
Figura 21 - Percentagem de iluminação direta e indireta, em função da altura das janelas	49
Figura 22 - Funcionamento de um <i>Light Shelf</i>	50
Figura 23 - Funcionamento de um <i>Light Shelf</i> com espelho curvo	50

Figura 24 - Funcionamento de um <i>Laser Cut Panel</i>	51
Figura 25 - Amostragem do material; Posicionamento dos painéis de acordo com a estação do ano.....	52
Figura 26 - Exemplos de aplicação do Solatube	53
Figura 27 - Esquema de funcionamento do Solatube.....	53
Figura 28 - A radiação direta é refletida enquanto a radiação difusa penetra na edificação.....	54
Figura 29 - Exemplo do uso da ventilação natural em uma edificação.....	55
Figura 30 - Sistema de ventilação cruzada.....	56
Figura 31 - Sistema de troca de ar pelo efeito chaminé	57
Figura 32 - Sistema de chaminé solar.....	58
Figura 33 - Sistema de aspirador estático.....	58
Figura 34 - Sistema de torre de vento.....	59
Figura 35 - A: parede trombe ventilada durante o Inverno; B: durante o Verão	61
Figura 36 - Diferentes posicionamentos do brise-soleil.....	61
Figura 37 - Sistema de cobertura de água	62
Figura 38 - Etiqueta nacional de conservação de energia	64
Figura 39 - Esquema comparativo dos tipos de lâmpadas	65
Figura 40 - Sensor de presença por radiação infravermelha	66
Figura 41 - Sistema de compensação da depreciação luminosa.....	68
Figura 42 - Esquema de funcionamento de um ar-condicionado ecológico	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo Nacional de Energia Elétrica na Rede por Classe.....	16
Tabela 2 – Lista de equipamentos presentes na residência	39
Tabela 3 – Resumo do levantamento dos componentes de um sistema fotovoltaico ...	42
Tabela 4 – Consumo diário de água quente.....	43
Tabela 5 – Consumo médio de água aquecida em ambientes residenciais	43
Tabela 6 – Resumo do levantamento dos componentes de um sistema de aquecimento solar	44
Tabela 7 – Rendimentos e carga do sistema.....	46
Tabela 8 – Resumo do levantamento dos componentes de um sistema aerogerador....	46
Tabela 9 - Potenciais de conservação dos sensores de presença.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PROINFA	- Programa de Incentivos às Fontes Alternativas Energia Elétrica
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
BEN	- Balanço Energético Nacional
PCH	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
MME	- Ministério de Minas e Energia
LEED	- <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
BREEAM	- <i>Building Research Establishment Environmental Assessment Method</i>
CASBEE	- <i>Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency</i>
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia
SBAC	- Sistema Brasileiro de Avaliação e Conformidade
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
a-Si	- Silício Amorfo
a-Si:H	- Silício Amorfo Hidrogenado
CdTe	- Teruleto de Cádmió
CIS	- Disseleneto de Cobre e Índio
CIGS	- Seleneto de Cobre, Índio e Gálio
PWM	- <i>Pulse Width Modulation</i>
MPPT	- <i>Maximum Power Point Tracking</i>
LVD	- <i>Low Voltage Disconnect</i>
SCR	- <i>Silicon Controlled Rectifier</i>
IGBT	- <i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
CPVC	- <i>Chlorinated Polyvinyl Chloride</i>
InGaP	- Fosfeto de Índio e Gálio
InGaAs	- Arsenieto de Índio e Gálio
Ge	- Germânio
CA	- Corrente Alternada
CC	- Corrente Contínua
CRESESB	- Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
rpm	- Rotação Por Minuto
LDR	- <i>Light Dependent Resistor</i>
LED	- <i>Light Emitter Diode</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

λ	comprimento de onda	<i>m</i>
τ_{minority}	tempo de vida dos portadores minoritários	<i>s</i>
E_g	intervalo de banda de energia	<i>eV</i>
J	densidade de corrente	<i>A/cm²</i>
M	quantidade de água a ser aquecida	<i>kg</i>
μ	mobilidade de cargas	<i>m²/(V.s)</i>
R_{SD}	radiação solar global diária	<i>Wh/m².dia</i>
C_e	calor específico da água	<i>kcal/(kg°C)</i>
e	constante exponencial	<i>[1]</i>
a	constante cristalina	<i>[1]</i>
Q	quantidade de energia	<i>kcal</i>
h	tempo	<i>h</i>
T	temperatura	<i>°C</i>
C_B	capacidade de carga elétrica	<i>Ah</i>
I	corrente elétrica	<i>A</i>
V	tensão elétrica	<i>V</i>
P	potência elétrica	<i>W</i>
E	consumo de energia elétrica	<i>Wh</i>
A	área	<i>m²</i>
C	consumo diário de água quente	<i>L/dia</i>
D	demanda de energia elétrica	<i>VA</i>
FD	fator de demanda	<i>[1]</i>
FP	fator de potência	<i>[1]</i>
η	rendimento	<i>%</i>
R	Raio do rotor	<i>m</i>
C_P	coeficiente de potência do rotor	<i>[1]</i>
R_i	radiação incidente	<i>kcal/m²h</i>
$\alpha(\lambda)$	coeficiente de absorção	<i>cm⁻¹</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	SITUAÇÃO ATUAL DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL.....	16
2.1	Geração de Energia Elétrica no Brasil.....	16
2.2	Consumo por Uso Final da Energia Elétrica.....	17
3	SISTEMAS DE GERAÇÃO RENOVÁVEL DE ENERGIA	20
3.1	Energia Solar	20
3.1.1	Radiação Solar.....	21
3.1.2	Técnicas de Aproveitamento da Energia Solar	22
3.1.2.1	Tecnologia Fotovoltaica	22
3.1.2.2	Sistema de Aquecimento Solar	31
3.2	Energia Eólica	34
3.2.1	Componentes de um Sistema Aerogerador	36
3.3	Análise Rentável das Aplicações Solares e Eólicas	38
3.3.1	Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico	38
3.3.2	Dimensionamento de um Sistema de Aquecimento Solar.....	43
3.3.3	Dimensionamento de um Sistema Aerogerador	45
4	INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NO CONSUMO ENERGÉTICO ..	48
4.1	Técnicas Arquitetônicas de Iluminação	48
4.1.1	Iluminação Lateral.....	48
4.1.1.1	<i>Light Shelf</i>	49
4.1.1.2	<i>Laser Cut Panel</i>	51
4.1.2	Iluminação Zenital.....	52
4.1.2.1	Solatube	52
4.1.2.2	Zenital Angular Seletivo.....	54
4.2	Técnicas Arquitetônicas de Climatização.....	55
4.2.1	Ventilação Natural	55
4.2.1.1	Ventilação Cruzada	56
4.2.1.2	Efeito Chaminé	56
4.2.1.3	Chaminé Solar	57
4.2.1.4	Aspirador Estático.....	58
4.2.1.4	Torre de Vento.....	59
4.2.2	Arquitetura Solar Passiva	59
4.2.2.1	Paredes Trombe	60
4.2.2.2	Brise-Soleil.....	61
4.2.2.3	Coberturas de Água.....	62
5	USO RACIONAL E EFICIENTE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	63
5.1	Eficiência Energética	63
5.2	Sensores de Presença ou Movimento	66
5.3	Sensores de Luminosidade	67
5.4	Resfriador Evaporativo	69
6	CONCLUSÃO.....	70
	REFERÊNCIAS UTILIZADAS.....	71
	REFERÊNCIAS CONSULTADAS	75

1 INTRODUÇÃO

Uma das maiores preocupações atuais da sociedade é como conseguir manter o desenvolvimento tecnológico e o estilo de vida com a disponibilidade cada vez menor de recursos naturais. A humanidade deveria respeitar a disponibilidade de recursos naturais. E desse pensamento surgiu o conceito sustentabilidade, que trata do uso dos recursos naturais buscando prejudicar ao mínimo o equilíbrio entre o meio-ambiente e sua exploração. É uma garantia que mesmo após uma área ser explorada, ela ainda conseguirá gerar recursos e bem estar social por gerações. Sustentabilidade é um conceito amplo e ainda recente dentro da sociedade, e por consequência também na construção civil, estando em constante aprimoramento, com novas tecnologias e inovações, buscando uma melhor harmonia entre a edificação e o meio-ambiente.

No Capítulo 2 desse trabalho é apresentada a situação brasileira na geração e consumo de energia elétrica. Esse capítulo busca mostrar a necessidade da adoção de uma política energética sustentável, que tem como pilares principais a utilização de fontes renováveis para a geração da energia elétrica e o aumento da eficiência energética no uso dessa energia. É possível perceber que economizar energia é mais barato do que fornecê-la, pois isso envolve um grande investimento público desde sua geração, até sua transmissão e distribuição, além de proporcionar um menor impacto ambiental e também uma economia financeira para o usuário final dessa energia.

O Capítulo 3 apresenta os principais sistemas de geração renovável de energia elétrica atualmente utilizados em uma edificação. Esses sistemas realizam a transformação de energias naturais renováveis, como a energia solar e a eólica, em energia elétrica, a fim de diminuir ou mesmo eliminar o uso das formas comuns de geração elétrica, que criam impactos ambientais e sociais negativos durante seu processo de transformação.

O Capítulo 4 trata da interação do projeto arquitetônico de uma edificação com o seu consumo energético. Com técnicas de construção e materiais diferenciados pode-se diminuir a necessidade de energia elétrica como, por exemplo, para iluminação interna e conforto térmico, que são as duas maiores fontes de consumo elétrico dentro

de uma edificação comum, e com isso proporcionar uma redução de despesas para o usuário e uma diminuição da demanda de energia elétrica.

O Capítulo 5 mostra outro modo de se diminuir o consumo em uma edificação, que é o uso eficiente da energia elétrica. Essa eficiência energética, aliada às novas tecnologias que surgem constantemente, permite o uso sustentável da energia, sem prejudicar o desempenho, funcionalidades e o nível de conforto dentro de uma edificação, sendo este um prédio comercial, fábrica ou uma residência.

Uma edificação energeticamente sustentável é alcançada reduzindo a quantidade de energia necessária para se obter o mesmo desempenho de um equipamento ou processo, se aproveitando também das condições do local, como temperatura, iluminação, ventilação ou topografia. Com a conscientização dos arquitetos e engenheiros da influência da arquitetura sobre o consumo de energia, é possível a construção de edificações mais eficientes visando o conforto do usuário e uso racional de energia.

2 SITUAÇÃO ATUAL DA ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Com o grande desenvolvimento econômico e tecnológico, a quantidade de equipamentos eletroeletrônicos e de automação cresceu proporcionalmente, trazendo diversos benefícios à sociedade, porém esse desenvolvimento traz atrelado o aumento do consumo energético, conforme demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo Nacional de Energia Elétrica na Rede por Classe

CONSUMO (GWh)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BRASIL	306.987	330.598	345.512	357.514	378.359	392.688	388.688	419.016
RESIDENCIAL	76.162	78.470	82.644	85.784	89.885	94.746	100.776	107.160
INDUSTRIAL	136.221	155.054	159.838	164.565	175.701	180.049	166.181	183.743
COMERCIAL	47.531	49.686	53.035	55.369	58.647	61.813	65.255	69.086
OUTROS	47.073	47.389	49.995	51.796	54.125	56.079	56.477	59.027
CRESCIMENTO (%)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BRASIL	4,7	7,7	4,5	3,5	5,8	3,8	-1,0	7,8
RESIDENCIAL	4,7	3,0	5,3	3,8	4,8	5,4	6,4	6,3
INDUSTRIAL	4,0	13,8	3,1	3,0	6,8	2,5	-7,7	10,6
COMERCIAL	5,1	4,5	6,7	4,4	5,9	5,4	5,6	5,9
OUTROS	6,1	0,7	5,5	3,6	4,5	3,6	0,7	4,5

Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2010)

E com esse aumento, as atitudes a serem tomadas envolvem a implementação de um consumo sustentável e a ampliação ou modernização nos meios de geração e distribuição energética, melhorando a eficiência na produção.

2.1 Geração de Energia Elétrica no Brasil

Para suprir a demanda energética, é função dos governos ajustarem a curva de carga e investirem em melhorias e ampliações dos meios de geração de energia, linhas de transmissão e distribuição, o que demanda tempo, além do impacto que essa geração causa ao meio-ambiente.

No Brasil, as principais formas de geração elétrica são a partir de usinas hidrelétricas e termelétricas, como mostra a Figura 1. As usinas hidroelétricas, apesar de utilizarem uma fonte renovável de energia, necessitam de um grande reservatório para gerar uma potência significativa, o que causa um grande custo social e ambiental, questão que vem ganhando grande relevância mundialmente.

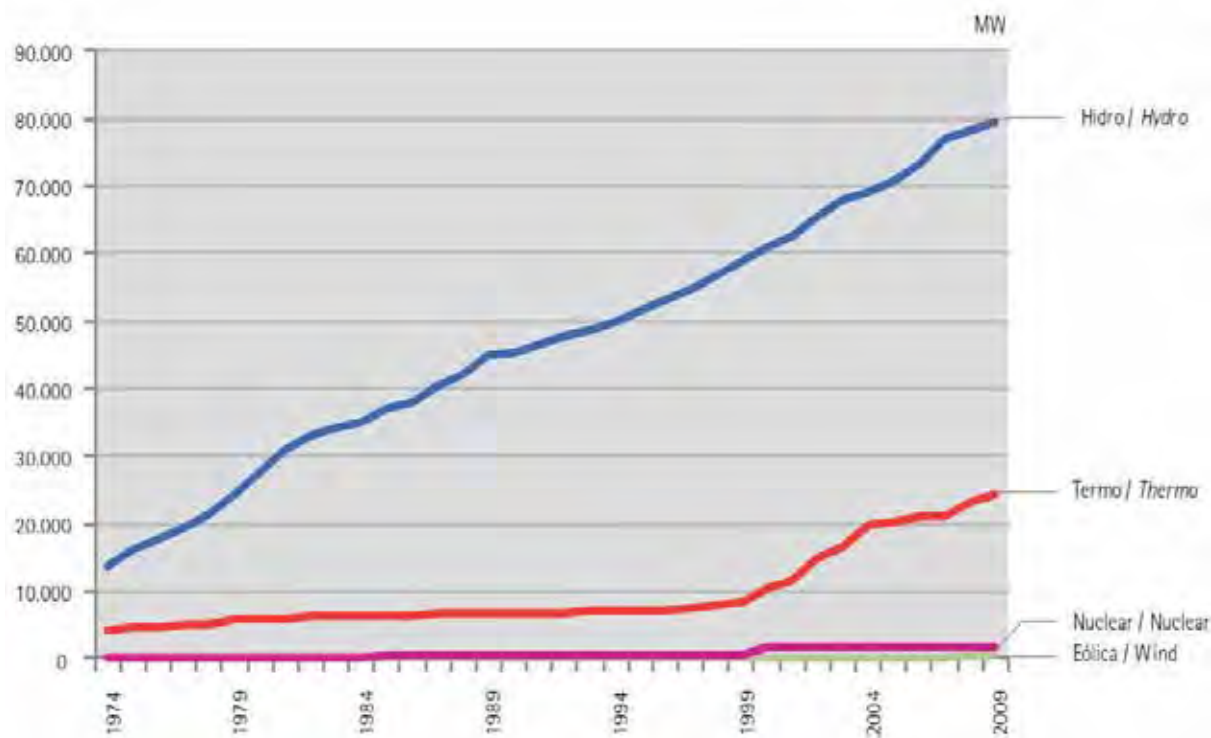


Figura 1 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica
Fonte: EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (2010)

Além dos métodos tradicionais de geração de energia elétrica que se baseiam no uso intensivo dos recursos naturais, já existem formas de geração de energia elétrica utilizando fontes de energias renováveis, como energia solar e eólica, que causam um menor impacto ao meio-ambiente e recursos naturais.

No ano de 2002, o governo brasileiro criou o Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que busca facilitar a inserção sustentável de fontes eólicas, de biomassa e PCHs (Pequenas Centrais Hidrelétricas) no sistema elétrico nacional.

2.2 Consumo por Uso Final da Energia Elétrica

Segundo Sala (2006), cerca de 42% da energia elétrica produzida no Brasil é utilizada em edificações residenciais, comerciais e públicas. E o consumo de energia elétrica dentro de qualquer edificação cresce constantemente, pelo aumento dos números de eletroeletrônicos e do poder aquisitivo da população, sendo cada vez mais necessário a conscientização e o uso racional desse recurso.

Com a análise das Figuras 2, 3 e 4, que apresentam o consumo dentro de cada setor, é facilmente perceptível que os sistemas de iluminação e o controle de temperatura interna possuem grande participação no consumo de energia elétrica dentro da edificação. Portanto, estes são, juntos com o chuveiro elétrico em uma residência, os maiores potenciais de redução do consumo de eletricidade.

As tecnologias de iluminação têm avançado significativamente nos últimos anos, com o surgimento de novas lâmpadas mais eficientes. Projetos arquitetônicos e luminotécnicos e sensores de presença e luminosidade também auxiliam em uma economia energética.

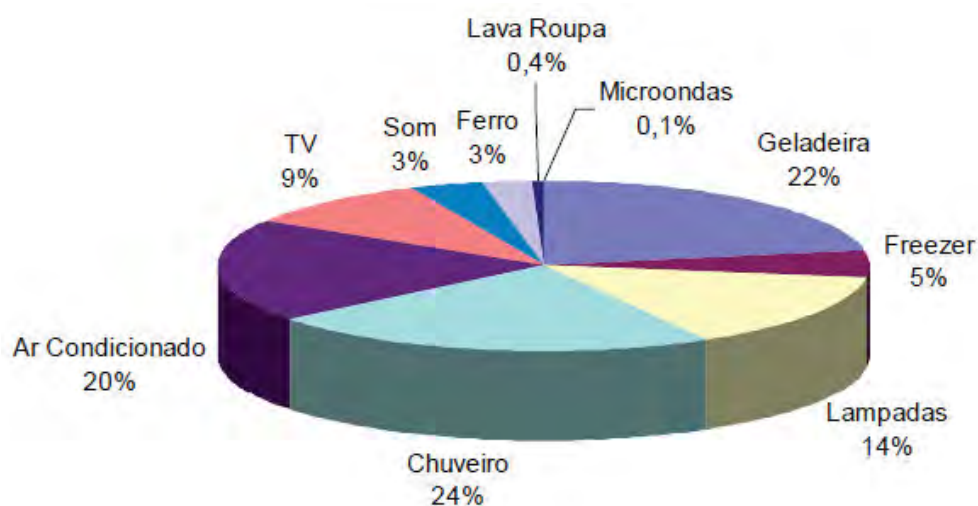


Figura 2 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa na Classe Residencial
Fonte: PROCEL (2007)

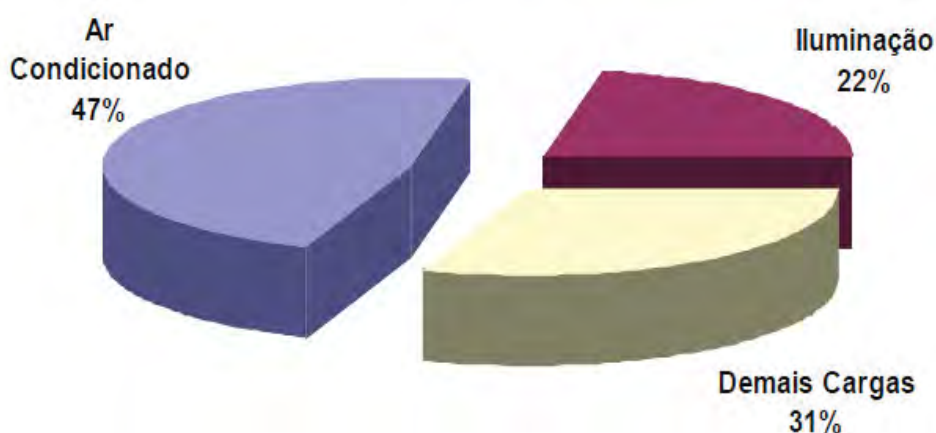


Figura 3 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial
Fonte: PROCEL (2007)

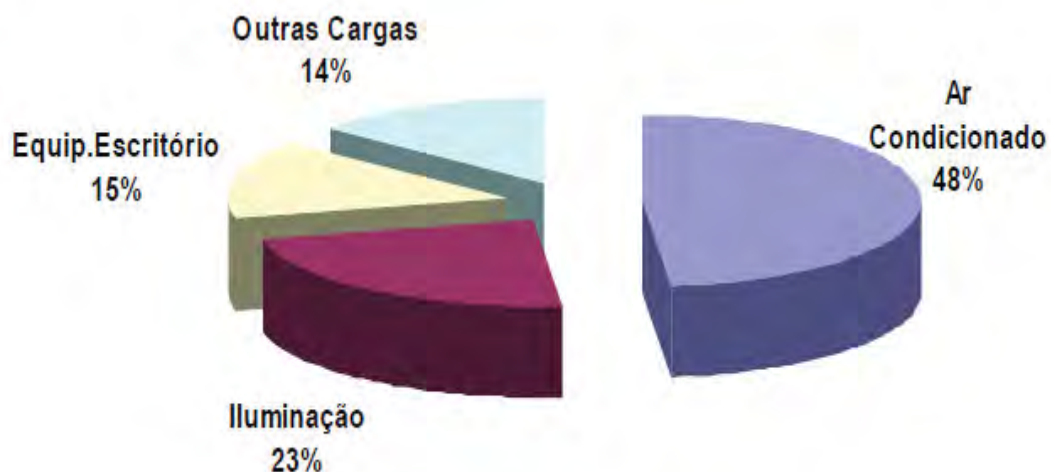


Figura 4 - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Prédios Públicos
Fonte: PROCEL (2007)

O aquecimento solar de água provoca a economia da energia usada em chuveiros e torneiras elétricas, que tem grande peso na conta de energia residencial, além de técnicas construtivas que geram um melhor conforto térmico dentro de uma edificação, diminuindo a necessidade de aparelhos de ar condicionado, são outras maneiras sustentáveis de manipular a energia elétrica. Todos esses tópicos serão apresentados com mais profundidade no decorrer deste estudo.

3 SISTEMAS DE GERAÇÃO RENOVÁVEL DE ENERGIA

Dentre os sistemas renováveis de energia, podem-se citar os que utilizam a energia solar, a energia eólica, gás, microhidrelétricas, biomassa, biodigestores, entre outros. Dentre esses, a energia solar e a energia eólica são aquelas que possuem aplicações de geração de energia em edificações.

3.1 Energia Solar

A energia solar, considerada a fonte primária de energia, é uma fonte renovável que pode ser utilizada como forma de aquecimento de ambientes e fluidos para geração de potência elétrica ou mecânica, ou diretamente convertida em energia elétrica através de materiais termoelétricos e fotovoltaicos.

A energia solar possui uma capacidade de renovação considerada infinita na escala humana, além de proporcionar um impacto ambiental mínimo, comparada com os demais métodos de geração energética. Outra vantagem é a fácil viabilidade e confiabilidade junto aos consumidores finais, já que elimina a necessidade de transporte por grandes distâncias, durando mais de 25 anos sem manutenção. Sua principal desvantagem é o seu custo inicial de instalação, além de um rendimento dependente das condições climáticas.

As transformações da energia solar classificam-se como diretas ou indiretas. As transformações diretas são aquelas que realizam apenas uma ação para transformar a energia solar em uma energia utilizável. São exemplos de transformações diretas uma célula fotovoltaica gerando eletricidade e a transformação em calor para aquecimento de água ou ambientes, através de uma superfície escura, que é o princípio básico dos aquecedores solares.

Transformações indiretas são aquelas que realizam mais de uma ação para gerar uma energia utilizável. Sistemas para controle automático de cortinas e janelas, de acordo com a disponibilidade do Sol e controles de luminosidades e temperatura são exemplos de transformações indiretas da energia solar.

3.1.1 Radiação Solar

A disponibilidade da radiação solar, que é o total da energia incidente sobre a superfície terrestre, é afetada pelas condições climáticas da região, pelo horário e época do ano, e também pela latitude e longitude do local. Isso é devido à inclinação da Terra em relação ao seu eixo girante imaginário e a trajetória elíptica percorrida pela Terra em torno do Sol.

Como pode ser visto na Figura 5, a região Nordeste é a que apresenta os maiores índices de radiação solar, devido não somente à sua latitude, mas também as suas condições climáticas e tipos de solo e relevo. Porém é importante salientar que mesmo as regiões que possuem uma menor quantidade de radiação solar durante um dia, ainda assim apresentam um grande potencial de aproveitamento energético através da radiação solar. O Brasil já possui diversos pequenos aproveitamentos de energia solar, no entanto ainda são de pouca significância frente ao grande potencial do país.



Figura 5 - Radiação solar global diária – média anual típica (Wh/m².dia)

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2005)

A maioria do território brasileiro se localiza nas proximidades da linha do Equador, não possuindo assim grandes variações da duração solar dentro de um dia. Porém, as maiores concentrações populacionais e atividades econômicas e sociais se encontram em regiões mais distantes da linha do Equador, que são a região Sul e Sudeste do país, variando aproximadamente de 10 horas até 13 horas de sol durante um dia, dependendo da época do ano.

Para um melhor aproveitamento solar, é necessário então que seja ajustada a posição do painel ou coletor solar de acordo com a latitude do local e o período de ano em que se necessita de uma maior quantidade de energia. No caso brasileiro, localizado no Hemisfério Sul, o sistema de aproveitamento solar deve estar dirigido para o Norte, com ângulo de inclinação correspondente ao da latitude local.

3.1.2 Técnicas de Aproveitamento da Energia Solar

Dentre os diversos métodos de aproveitamento da energia solar, os com maiores aplicações atualmente são a geração fotovoltaica de energia elétrica e para aquecimento de água. No Brasil, a geração fotovoltaica é mais encontrada nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas, e os aquecedores solares são mais presentes nas regiões Sul e Sudeste, devido aos aspectos climáticos regionais.

3.1.2.1 Tecnologia Fotovoltaica

A conversão da radiação solar em energia elétrica é realizada através de células fotovoltaicas, construídas por materiais semicondutores, como o Silício. Quando a luz solar atinge a célula, uma quantidade da energia da luz é absorvida pelo semicondutor, liberando os elétrons com uma ligação mais frágil para fluir livremente. Esses elétrons fluem num sentido de acordo com o campo elétrico produzido pela célula fotovoltaica, e quando se cria um caminho para essa corrente elétrica, têm-se um painel solar.

De acordo com CRESESB (2004), 90 % das reservas naturais de Silício estão localizadas no Brasil, é o material mais comumente utilizado em células solares, por gerar o maior produto corrente-tensão para a faixa visível do espectro de radiação

solar, onde está a maior parcela de energia fornecida pelo Sol. As células fotovoltaicas podem ser constituídas de cristais monocristalinos, policristalinos ou de Silício amorfo, que são exemplificadas na Figura 6.

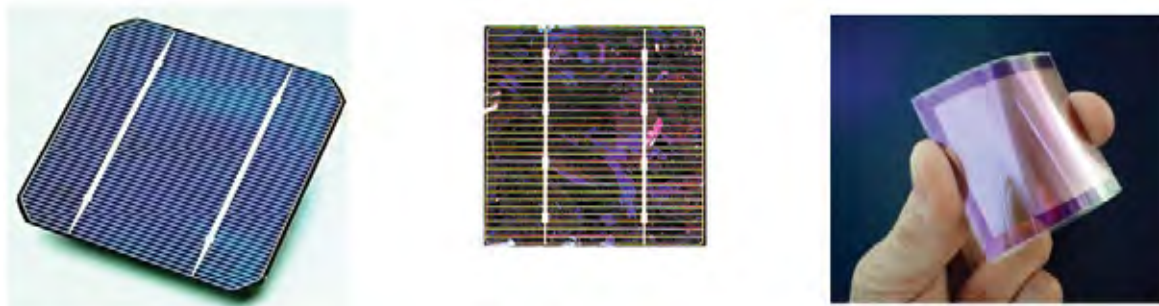


Figura 6 - Células solares compostas de silício: célula monocristalina, célula policristalina e célula de silício amorfo, respectivamente

Fonte: MACEDO (2002)

- Silício Monocristalino

Esse material é a composição de cerca de 60 % das células fotovoltaicas do mercado. Possui um limite teórico de conversão da energia solar em elétrica de 27 %, porém comercialmente alcança valores de 12 a 16 %.

É fabricado a partir de barras cilíndricas de Silício Monocristalino, que são cortadas em pastilhas quadradas, de aproximadamente 0,5 mm de espessura. Devido ao grande desperdício devido ao seu formato final, e à energia necessária para sua fabricação, ainda possui um custo de produção, em grande escala, muito elevado.

- Silício Policristalino

Possui um custo de produção menor que o Silício Monocristalino, por ter uma preparação menos rigorosa, entretanto sua eficiência também é inferior, chegando ao valor máximo de 12,5 % em escalas industriais.

Sua obtenção se dá através de uma fusão por zonas da barra de Silício, gerando um Silício solidificado com um maior grau de pureza, visto que a zona fundida carrega a maioria das impurezas. Esse processo pode ser repetido continuamente até se atingir a pureza desejada. A partir desse bloco são cortadas fatias que geram as células fotovoltaicas, e a essas interfaces é que se deve a redução da eficiência da célula.

- Silício Amorfo (a-Si)

Presente na maioria de produtos nessa área, com potencial de ser produzido em grande escala com um baixo custo. Formado por ligas amorfas de Silício e Carbono, que permite uma maior liberdade no controle das propriedades da célula.

Uma maior concentração de carbono aumenta o intervalo entre a banda de condução e a banda de valência, o que aumenta a sua eficiência. Porém, isso afeta as propriedades semicondutoras, como a mobilidade eletrônica sobre superfícies. Alcança uma eficiência de conversão entre 5 e 8 %.

A Figura 7 apresenta as eficiências dos principais materiais fotovoltaicos.

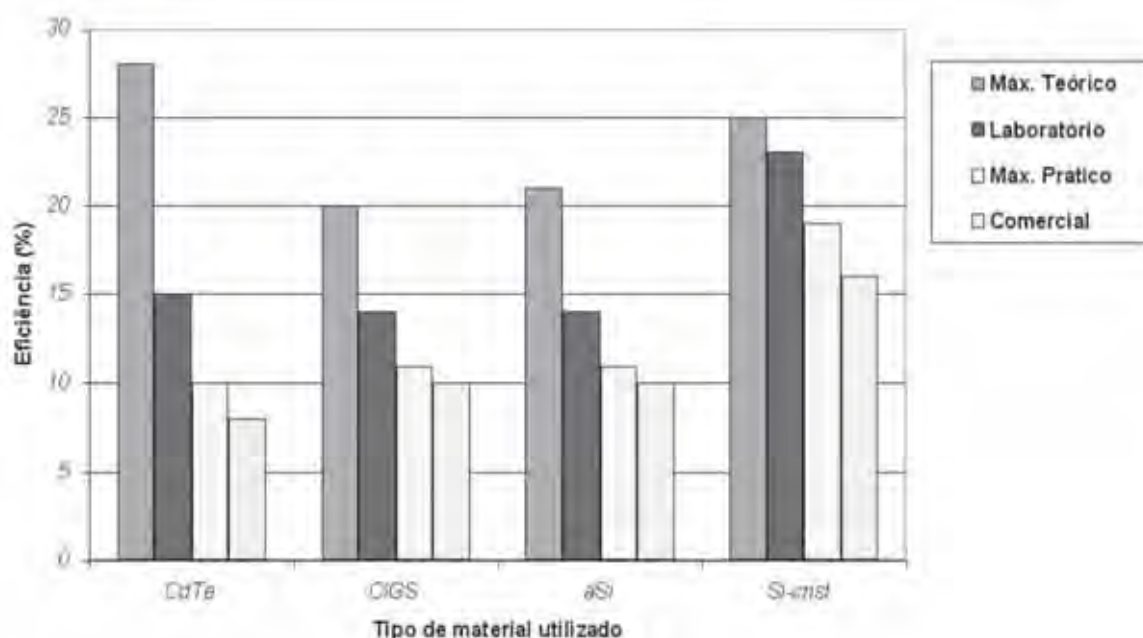


Figura 7 - Tipos de materiais utilizados e suas respectivas eficiências

Fonte: CRESESB (2004)

- Filmes Finos

Atualmente, um dos principais ramos de pesquisa de células fotovoltaicas é o de Filmes Finos. É uma tecnologia que busca possibilitar a produção em larga escala, confiáveis e de baixo custo. São mais flexíveis, leves, inquebráveis, semitransparentes e com uma espessura de alguns microns.

Por sua melhor aparência estética e versatilidade, estão ampliando o mercado de painéis solares, com um número maior de aplicações. Os principais materiais estudados são o Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si:H), o Disseleneto de Cobre e Índio

(CIS) e o Teruleto de Cádmiio (CdTe). Este último é a única tecnologia de Filmes Finos que atinge um desempenho econômico maior que o Silício Cristalino, com uma eficiência máxima de 15 %.

- Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS)

Trata-se de uma solução sólida com fórmula $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{Se}_2$, onde x varia entre zero e um, e seu valor determina o intervalo de banda da célula fotovoltaica. Alcança uma eficiência próxima de 13 %.

O sistema fotovoltaico é composto basicamente por um ou mais painéis fotovoltaicos, um controlador de carga e baterias. Dependendo da aplicação, também se faz necessário o uso de um inversor. Uma representação desse sistema é feita na Figura 8.

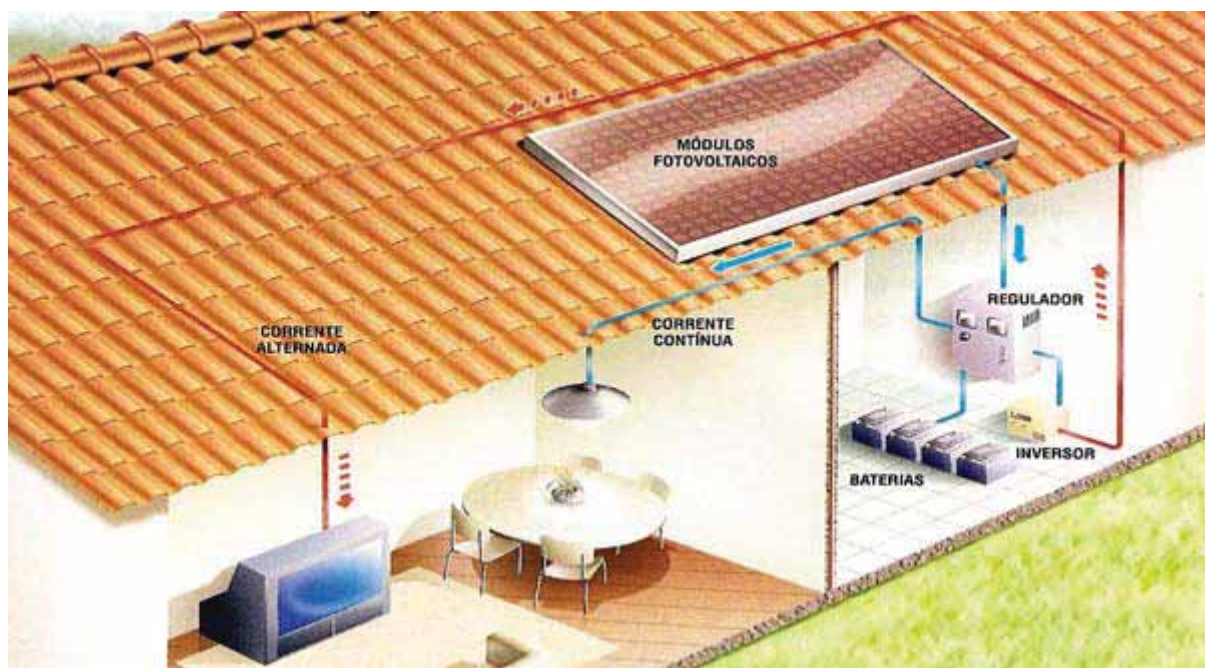


Figura 8 - Sistema de Energia Solar Fotovoltaica
Fonte: BAIMA (2004)

- Módulos Fotovoltaicos

É a unidade principal de um sistema fotovoltaico. Eles que realizam a conversão da luz solar em uma corrente elétrica contínua, chegando comercialmente a potências de 5 até 300 W.

Os módulos não utilizam partes móveis, e não geram poluição e ruído, sendo praticamente desnecessária a realização de uma manutenção preventiva. Ele é composto por células fotovoltaicas agrupadas em série e/ou paralelo, para produzir a corrente e tensão desejadas. Esse arranjo é indispensável, pois uma célula gera uma tensão máxima próxima de 0,4 V, com uma densidade de corrente de 30 mA/cm².

O módulo também é responsável pela proteção das células fotovoltaicas contra esforços mecânicos e condições ambientais. As células unidas devem ter mesmas características elétricas, como fotocorrente e fotovoltagem, pois diferenças internas levam a uma redução da eficiência global.

- Controlador de Carga e Descarga

É o equipamento responsável pelo gerenciamento do banco de baterias, controlando o processo de carga e descarga do mesmo, evitando sobrecargas, através da desconexão dos painéis, e descargas abaixo de um valor seguro, interrompendo o fornecimento de energia. O controlador de carga e descarga também facilita a máxima transferência de energia do painel fotovoltaico para a bateria e prolonga sua vida útil, além de prover uma proteção aos componentes restantes contra sobrecorrente e corrente reversa.

Um controlador básico possui uma entrada para os módulos fotovoltaicos, saída para o banco de baterias, e uma saída em corrente contínua. Eles devem ser especificados de acordo com o tipo de bateria instalado, visto que dependendo do princípio de cada bateria, o controlador pode não funcionar corretamente.

Os controladores atuais utilizam uma tecnologia chamada PWM – *Pulse Width Modulation* ou modulação por pulsos ou ainda a tecnologia MPPT – *Maximum Power Point Tracking*, que são métodos eficientes de controle de carga, mantendo a bateria em sua carga total e minimiza sua sulfatação.

Existem vários tipos de controladores de carga disponíveis. Alguns determinam o estado de carga da bateria integrando a corrente que está entrando ou saindo, ao longo do tempo. Outros, simplesmente medem a pressão dentro da bateria para determinar o seu estado de carga. Porém, o tipo mais comum estima o estado de carga medindo a tensão nos seus terminais. Desta forma, para evitar sobrecargas ou

descargas excessivas, basta manter a tensão da bateria entre dois valores limites máximo e mínimo.

Outro diferencial é a forma em que é feita a desconexão dos módulos fotovoltaicos quando a bateria está totalmente carregada, podendo os controladores ser classificados como Regulador *Shunt* ou Regulador Série. O Regulador Shunt, representado na Figura 9, tem por característica consumir uma quantidade menor de energia que o Regulador Série, mostrado na Figura 10, sendo o mais utilizado, no entanto ambos podem ser efetivamente usados, dependendo de sua aplicação e necessidade.

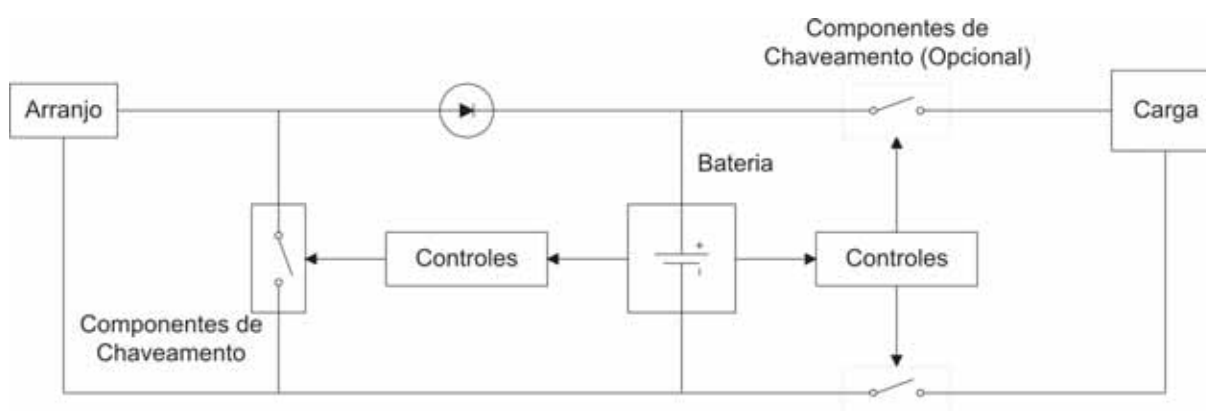


Figura 9 - Regulador Shunt com LVD Opcional
Fonte: CRESESB (2004)

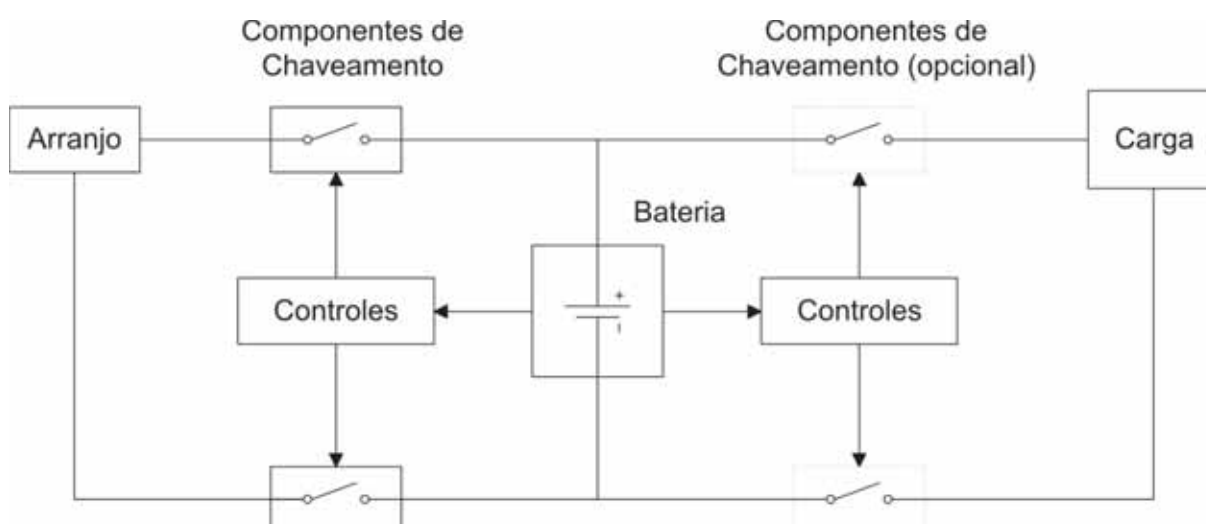


Figura 10 - Regulador Série com LVD Opcional
Fonte: CRESESB (2004)

Ambos possuem a opção de usar o LVD (*Low Voltage Disconnect*), que evita o descarregamento excessivo da bateria, desconectando as cargas alimentadas para protegê-la. O Regulador *Shunt* usa um relé eletromecânico para desligar ou mesmo

reduzir o fluxo de corrente para a bateria quando ela está carregada. Assim, parte da corrente gerada pelo arranjo é desviada através de um dispositivo em paralelo com a bateria e apenas uma pequena quantidade desta corrente, continua carregando a bateria. O diodo de bloqueio protege a bateria de curto-circuito quando a corrente é desviada. Este regulador é aplicado para correntes menores de 20 A, devido às suas limitações no chaveamento.

O Regulador Série usa o mesmo princípio do Regulador *Shunt*, podendo não ser necessário o diodo de bloqueio, pois a maioria dos sistemas de baixa tensão não tem muitas perdas por correntes reversas, sendo ele usado para tensões maiores de 24 V.

- Bateria

As baterias têm a função, dentro de um sistema fotovoltaico, de armazenar quimicamente a energia gerada excedente, para ser usada durante a noite ou em dias de baixa insolação. As baterias mais usadas nesses sistemas são as de Chumbo-ácido, pois suportam correntes intensas em pequenos intervalos de tempo. Elas devem ser do tipo estacionário, ou seja, suportam ser descarregadas entre 20 % e 80 % de sua capacidade e ser recarregada diariamente, durando anos. Nunca uma bateria de Chumbo-ácido pode ser descarregada totalmente, pois pode ser danificada permanentemente. Conforme a aplicação, a velocidade e profundidade de descarga requerida, há diferentes tipos recomendados de baterias.

A capacidade da bateria ou banco de baterias determina sua autonomia. Um banco de baterias precisa ser dimensionado para suprir energia entre dois e quatro dias sem insolação para uso residencial e cinco dias ou mais para aplicações específicas. Um banco de baterias pode ser formado por ligações em série ou em paralelo. Na ligação em série, a tensão final é a soma da tensão de todas as baterias ligadas, porém sem variar a capacidade em Ampère-hora (Ah) do banco. Na ligação em paralelo, a tensão do banco não é alterada, mas a capacidade em Ampère-hora do banco é soma das capacidades de cada bateria.

- Inversor

É o equipamento responsável pela conversão da corrente contínua (CC) gerada pelo módulo fotovoltaico em corrente alternada (CA) para alimentar eletrodoméstico e

demais equipamentos. Ele precisa dissipar o mínimo de energia e gerar uma tensão sem uma grande quantidade de harmônicos, sendo muitas vezes necessário o uso de filtros para essa função.

Os inversores fazem uso de mecanismos de chaveamento para alternar a corrente elétrica entre positiva e negativa. Para essas chaves semicondutoras tipicamente se utiliza transistores de potência, retificadores controlados de Silício (SCR) e dispositivos IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor).

Alguns inversores geram uma forma de onda senoidal, livre de distorções, semelhante a forma de onda da concessionária de energia elétrica, sendo mais apropriados para utilização doméstica. Existem também inversores que produzem uma onda quadrada, sendo mais econômicos, porém afetam o funcionamento de alguns equipamentos. Essa diferença é melhor observada na Figura 11. Estes inversores reduzem a eficiência de motores e transformadores entre 10 % e 20 %. Ruídos podem ser ouvidos em alto-falantes ou emitidos por algumas lâmpadas fluorescentes, ventiladores de teto e transformadores. Alguns fornos de micro-ondas podem também emitir algum ruído e aquecer menos os alimentos. Televisores e monitores de vídeo de computadores podem mostrar uma “faixa” deslocando-se pela tela.

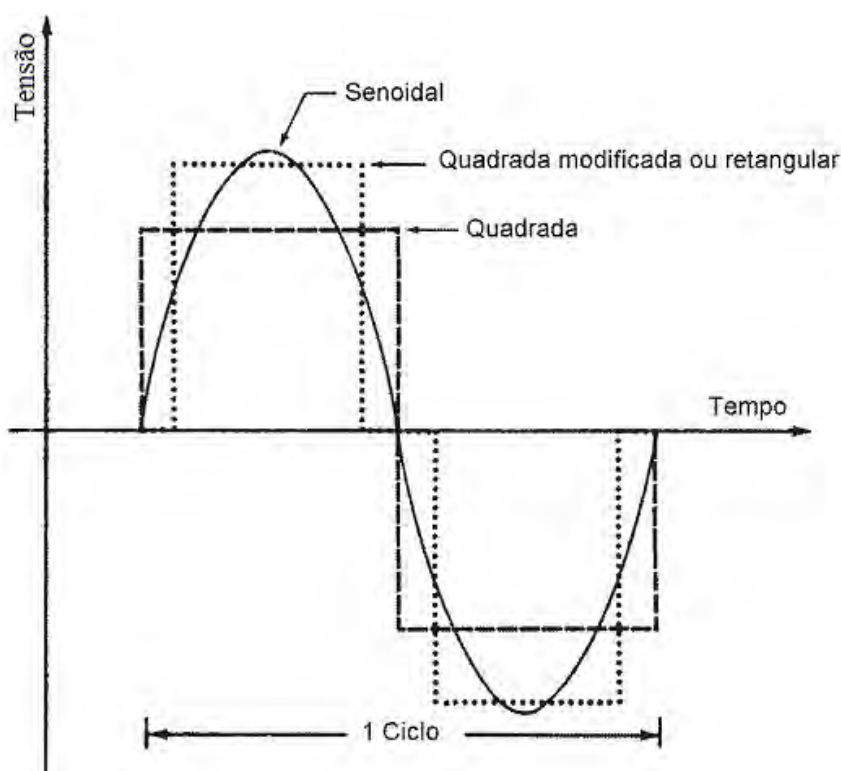


Figura 11 - Formas de ondas típicas dos inversores monofásicos
Fonte: CRESESB (2004)

Basicamente, existem dois tipos de inversores: os de comutação natural (comutado pela rede) e os de comutação forçada (auto-comutado). Na comutação natural, a inversão é feita pela tensão da rede elétrica, enquanto que no segundo o controle é feita pelo inversor. Novas tecnologias têm surgido permitindo que um único inversor atue isolado ou sincronizado com a rede. A escolha do inversor interfere na confiabilidade, desempenho e no custo de um sistema fotovoltaico.

A maioria das cargas em sistemas residenciais é indutiva, podendo ter um fator de potência de até 0,5. Inversores de alta qualidade possuem a capacidade de compensar essas cargas, mantendo o fator de potência próximo da unidade, melhorando a transferência de energia. Inversores de uso doméstico também possuem um sensor para detectar momentos de ausência de carga, desligando sua saída, diminuindo seu consumo interno. O inversor também deve se auto-desligar quando o banco de baterias estiver com uma carga muito baixa, protegendo-o de uma descarga excessiva, o que diminuiria seu tempo de vida.

O sistema fotovoltaico pode ser um sistema isolado de geração de energia elétrica, como pode também estar conectado à rede elétrica. Nesses casos o sistema fotovoltaico atua como uma fonte complementar de energia ao sistema de distribuição elétrico. Esse tipo de sistema normalmente não utiliza um sistema de armazenamento de energia, como uma bateria, pois a potência gerada não utilizada é entregue à rede.

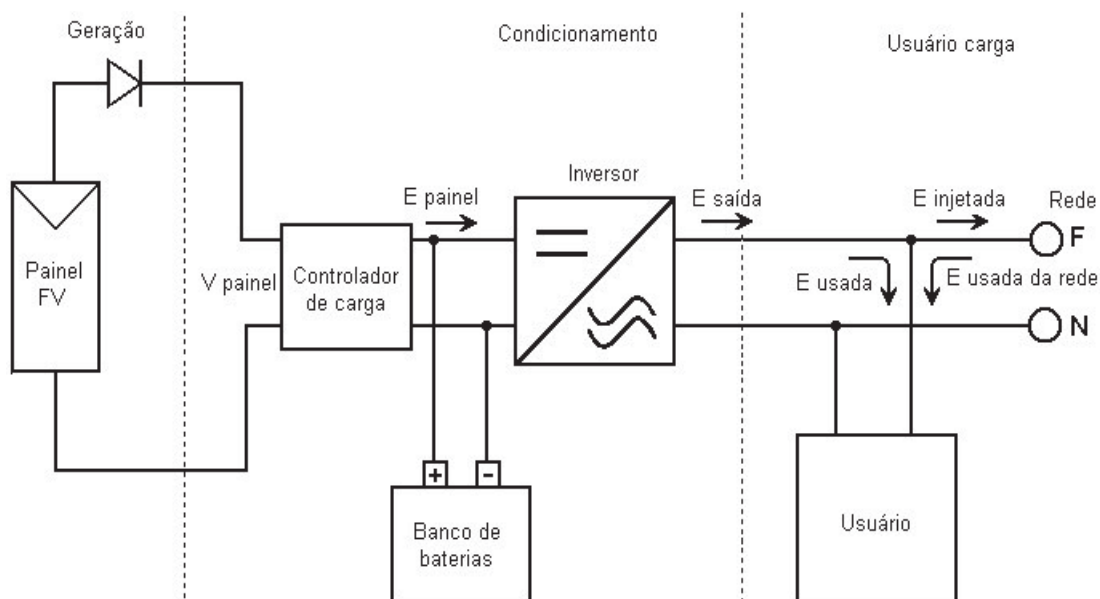


Figura 12 - Esquema de ligação de um sistema fotovoltaico interligado à rede da concessionária
Fonte: CRESESB (2004)

Nesse simples esquema de um sistema fotovoltaico ligado à rede mostrado na Figura 12, observam-se os dois principais equipamentos do sistema: o gerador fotovoltaico e o inversor, que transforma em corrente alternada a corrente contínua gerada.

O aspecto mais importante desse arranjo, é que os dois sistemas de geração estão postos em paralelo, ou seja, o usuário está recebendo energia de ambas as fontes ao mesmo tempo, e que se o consumo total for menor que a energia gerada pelo sistema, o excedente pode ser injetado na rede de distribuição elétrica.

As potências instaladas variam desde alguns kW em instalações domésticas, até poucos MW em grandes empresas. Estes sistemas fotovoltaicos possuem diferenças em relação à sua conexão com a rede, dependendo da legislação vigente no local da instalação.

3.1.2.2 Sistema de Aquecimento Solar

Uma alternativa energética muito útil para redução do consumo elétrico é o aproveitamento da energia solar como fonte de calor para aquecimento de água em edificações domiciliares e comerciais. O sistema de aquecimento solar pode ser utilizado em qualquer aplicação que precise de água quente, desde chuveiros elétricos nas residências até em sistemas de refrigeração solar, podendo substituir os aparelhos de ar condicionado, responsável por grande demanda energética em horários comerciais.

A instalação desse sistema é algo simples e de fácil manutenção, porém é desejável que seja planejado desde o início do projeto, pois a instalação posterior das tubulações de água quente não é muito viável técnica e economicamente. O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares.

Nesse sistema são fixadas placas de coletores solares voltadas para o norte, no caso do Brasil, situado no hemisfério Sul, e inclinadas de acordo com a latitude da edificação, aproveitamento ao máximo a radiação solar. A caixa d'água abastece o

reservatório térmico, onde a água aquecida pelos coletores solares é armazenada. A água quente então segue pela tubulação até os pontos de atendimento. Trata-se de um circuito contínuo, já que a água quente sendo usada, a água fria segue para os coletores.

Como se pode observar na Figura 13, a água circula entre o reservatório térmico e os coletores por um sistema de circulação natural, ou termossifão. Quando a água se esquentar, ela se torna menos densa que a água fria no reservatório, que força a água quente a circular pelas tubulações. Essa circulação pode ser feita também por motobombas, conhecida como circulação forçada ou bombeada, aplicada principalmente em piscinas ou outros sistemas com grande volume de água.

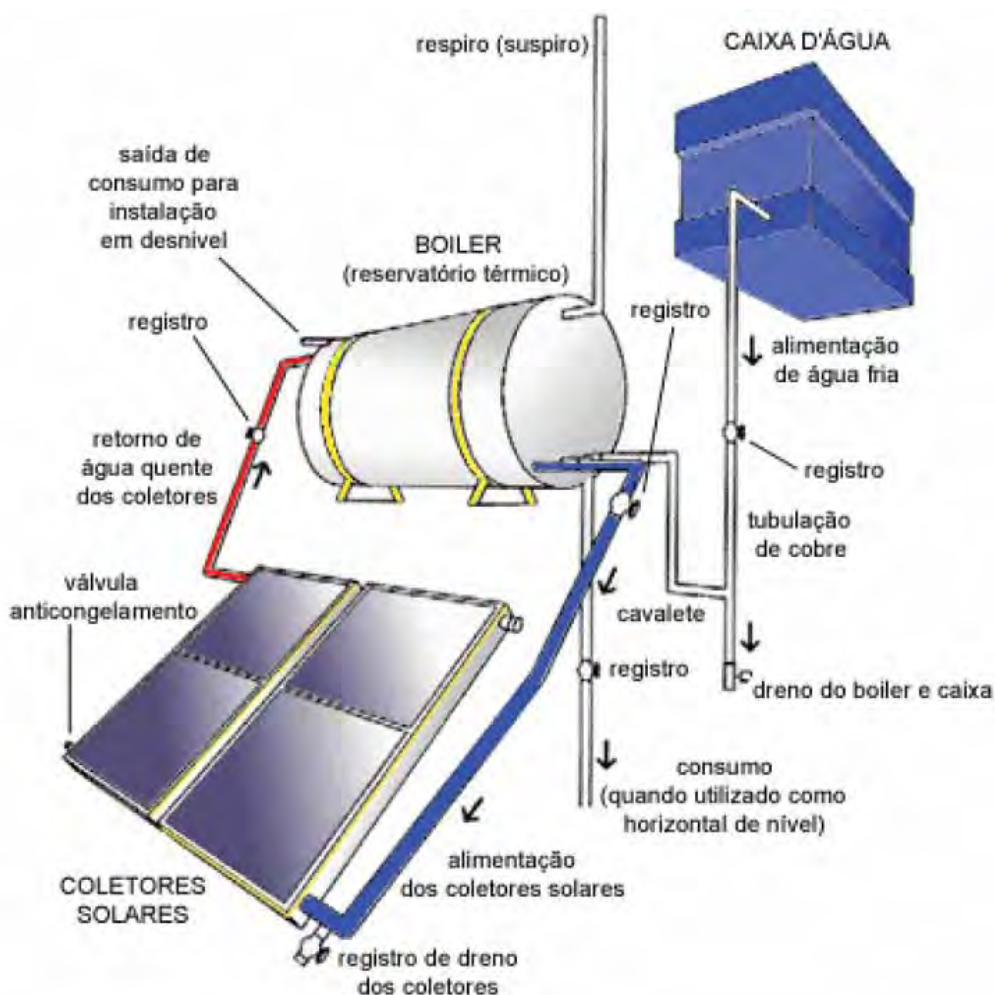


Figura 13 - Componentes de um aquecedor solar
Fonte: PATTO (2009)

O sistema de aquecimento solar é composto basicamente por um grupo de coletores solares, um reservatório térmico, também conhecido como *Boiler*, um

sistema de circulação de água, geralmente de Cobre ou CPVC, e um sistema auxiliar de aquecimento. Esse sistema está exemplificado na Figura 14.

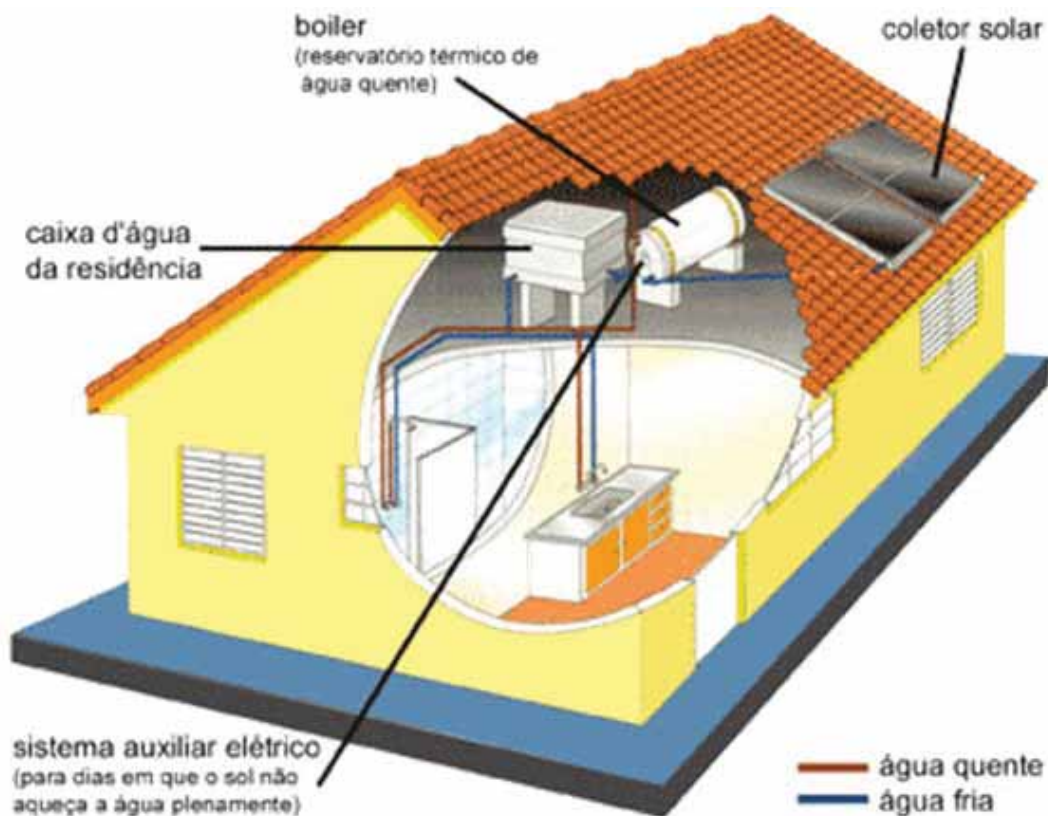


Figura 14 - Sistema de aquecimento solar residencial
Fonte: BAIMA (2004)

Coletor Solar

Os coletores solares são fabricados de Cobre ou Alumínio, isolados termicamente e vedados com borrachas de silicone. Possuem uma cobertura de vidro para proteção contra danos físicos e ações do meio-ambiente.

A radiação solar atravessa o vidro de cobertura, e é absorvida por aletas metálicas pintadas com tintas especiais que auxiliam numa maior absorção. O calor absorvido segue por serpentinas de cobre, por onde é transportada a água pelo conjunto de coletores, esquentando esta água até valores próximos de 50°C, que será armazenada no reservatório térmico.

Os coletores solares são comumente instalados nos telhados ou lajes das edificações, o mais próximo possível do Boiler, diminuindo a tubulação necessária para o transporte, além de diminuir a perda por dissipação do calor da água. O número

de coletores a serem instalados depende do tamanho do reservatório térmico, das condições da instalação e também do nível de insolação da região.

Reservatório Térmico

É o recipiente responsável pelo armazenamento da água aquecida nos coletores solares. São cilindros de Cobre, Inox ou Polipropileno que depois recebem um isolamento térmico.

O seu dimensionamento é feito de acordo com o número de usuários do sistema de aquecimento, o número de pontos de uso de água quente e a duração média das aplicações.

Sistema Auxiliar de Aquecimento

Em períodos prolongados de chuva ou de tempo encoberto, ou no caso de um aumento temporário do número de usuários dimensionados para o sistema de aquecimento, é utilizado um sistema auxiliar de aquecimento para suprir a demanda de água quente.

O sistema auxiliar de aquecimento pode ser elétrico ou a gás, sendo ativado manual ou automaticamente. Porém, no Brasil, devido ao alto nível de insolação disponível, esse sistema é acionado poucos dias durante o ano. Existe também a possibilidade de um sistema híbrido, mantendo a instalação elétrica desses itens.

3.2 Energia Eólica

A energia eólica nada mais é que a energia cinética presente nas massas de ar em movimento. Essa energia é aproveitada por meio de turbinas eólicas, ou aerogeradores, que convertem a energia cinética de translação em energia cinética de rotação, gerando eletricidade.

O potencial eólico de uma região é avaliado através de coleta e análise de dados sobre o regime e a velocidade dos ventos. A topografia regional, a rugosidade do solo e a variação da velocidade com a altura, são características que influenciam no comportamento dos ventos.

A geração de energia pelo vento é limpa, sem produzir resíduos ou emitir gases, o ruído proveniente da rotação das turbinas não é prejudicial. Um impacto ambiental discutido é a atração das aves pelas pás, algo que, de acordo com pesquisas, pode ser evitado simplesmente pintando de vermelho as pontas das pás. Na zona urbana, o gerador pode ser instalado na estrutura da edificação e o rotor com as pás sobre o telhado, o que além de resultar numa maior segurança, sua presença pode inserir na sociedade uma consciência ecológica.

O aproveitamento da energia eólica no Brasil gira em torno de 143.000 MW, sendo os estados do Ceará e do Rio Grande do Norte os que possuem potências para aplicações mais promissoras, como observado na Figura 15. Porém, o desconhecimento desse potencial gera um desinteresse da população em investir em uma geração doméstica, algo que supriria uma porcentagem considerável da demanda elétrica, dependendo da qualidade dos ventos na região.

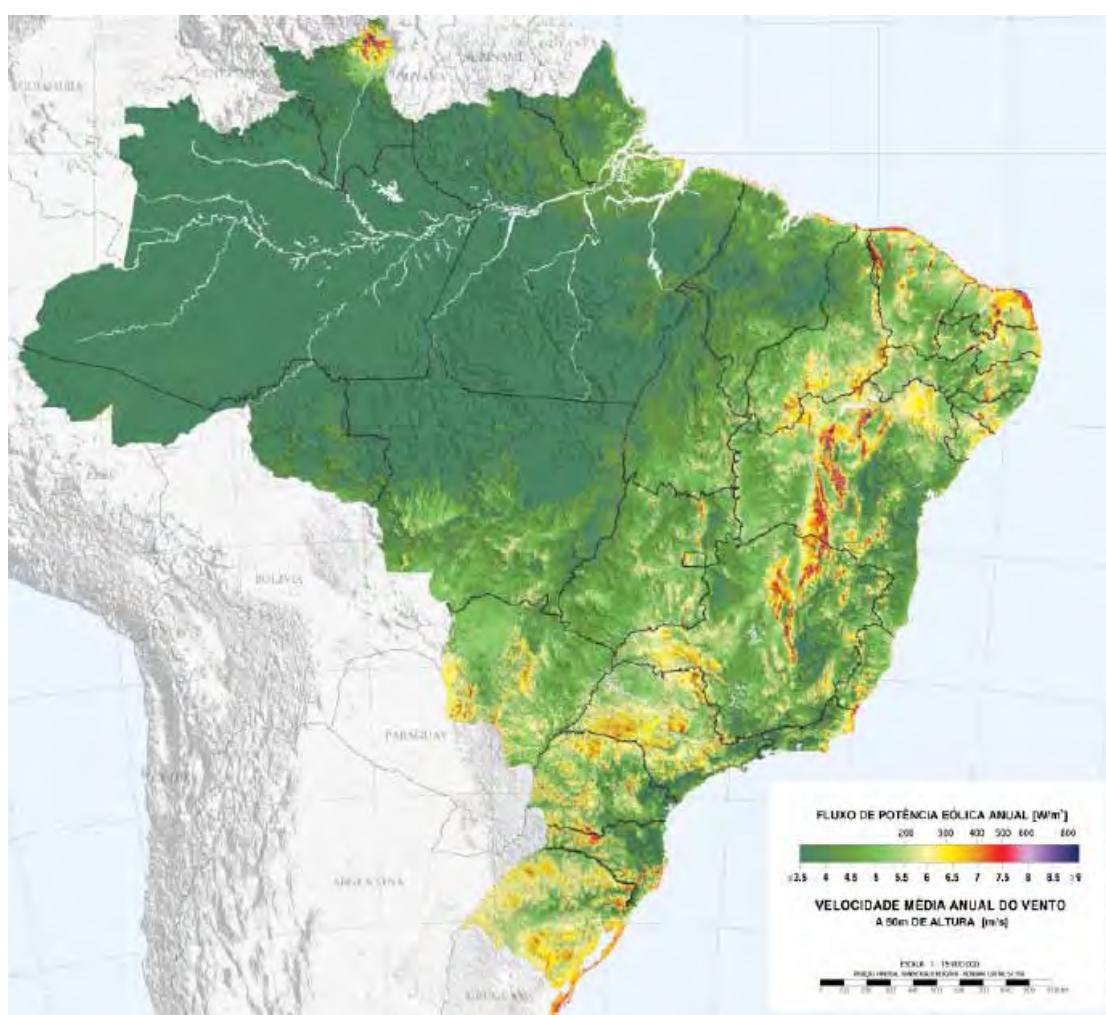


Figura 15 - Mapa da velocidade média anual do vento a 50 metros de altura, em m/s
Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2005)

3.2.1 Componentes de um Sistema Aerogerador

Um sistema de geração eólica em uma escala individual não é muito diferente de um sistema fotovoltaico. Ele utiliza, como observado na Figura 16, um sistema para o armazenamento de energia que pode ser feito através de baterias ou na forma de energia gravitacional, armazenando água bombeada em reservatórios para uso posterior.

No caso do uso de baterias, é necessário também um dispositivo para controlar sua carga e descarga, protegendo contra danos por sobrecarga e por descarga profunda. Um inversor também se faz preciso quando se deseja alimentar cargas em corrente alternada, algo amplamente presente em uma edificação convencional.

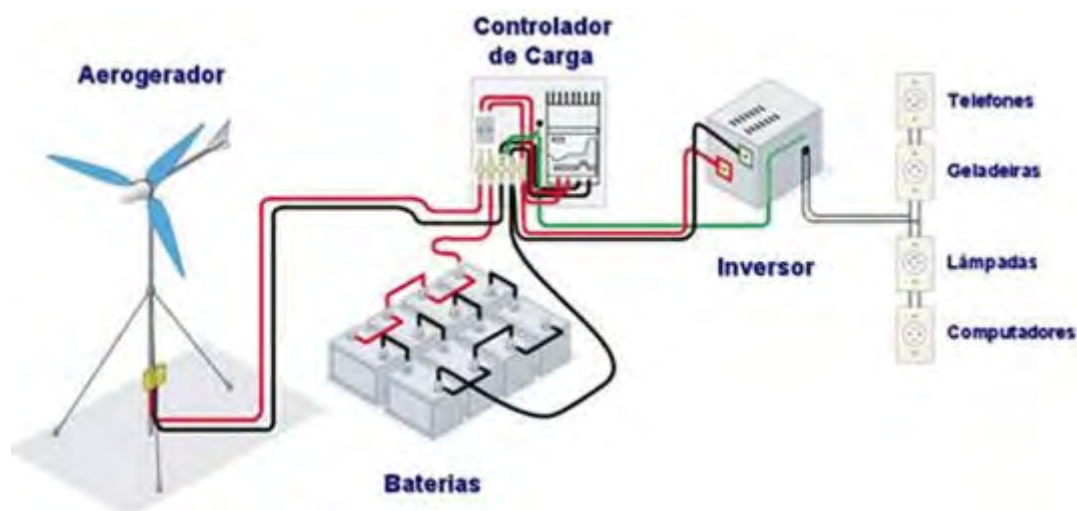


Figura 16 - Configuração de um sistema eólico isolado
Fonte: PIRES; OLIVEIRA (2009)

O aerogerador tem como principais componentes internos a turbina eólica, o gerador, um multiplicador de velocidade, sistemas de controle e a torre de sustentação. A Figura 17 apresenta um exemplo de um aerogerador. A turbina pode ter o eixo horizontal ou vertical e ser movida pela força de sustentação ou pelas forças de arrasto, ambas proporcionais ao quadrado da velocidade do vento.

Segundo Júnior (2009), as turbinas de eixo horizontal são as mais utilizadas e comercializadas. Nela os rotores giram pelo efeito das forças de sustentação, o que permite um melhor aproveitamento da potência, em relação às forças de arrasto. Elas possuem mecanismos que mantêm o disco das pás sempre perpendicular ao vento. As

pás possuem diversas formas e materiais, sendo mais utilizado pás rígidas de madeira, alumínio ou fibra de vidro. As turbinas de eixo vertical possuem a vantagem de não precisar de mecanismos para acompanhar a direção do vento, porém possuem um rendimento bastante limitado e grande vibração.

O gerador é o componente responsável pela conversão da energia cinética em energia elétrica. Essa integração do gerador para transformação eólica é algo complexo devido a variações da velocidade do vento, o que por consequência varia o torque de entrada do gerador, sendo exigida uma energia na saída de frequência e tensão constantes. Atualmente existem conjuntos geradores alternativos, que possuem vantagens e desvantagens de acordo com a aplicação do sistema.

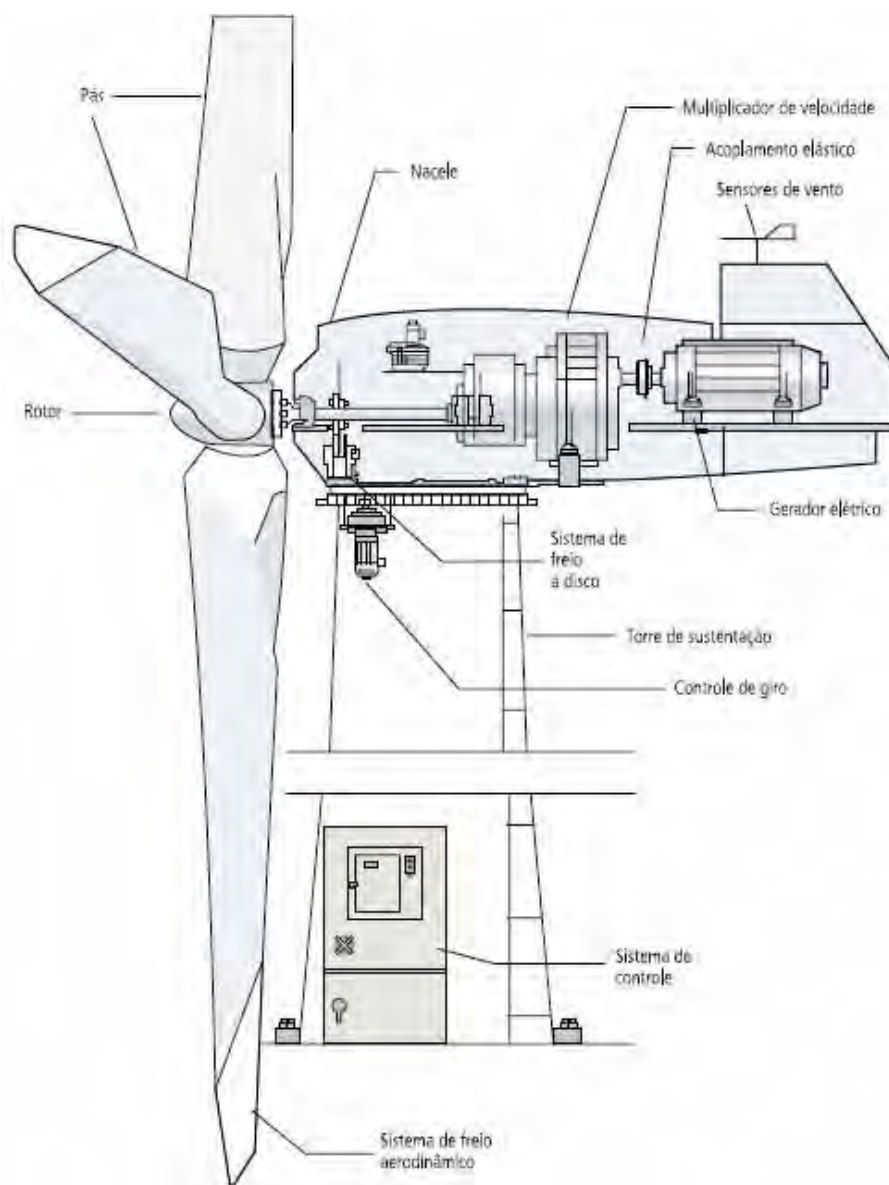


Figura 17 - Desenho esquemático de um aerogerador

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (2005)

A caixa multiplicadora é um sistema de engrenagens necessário para multiplicar a velocidade angular das turbinas, que gira em torno de 20 e 150 rpm, até a velocidade de trabalho dos geradores, em torno de 1.200 e 1.800 rpm. Já existem geradores em que esse componente não é mais preciso, sendo o eixo do rotor acoplado diretamente na carga.

Os sistemas de controle monitoram a velocidade do rotor, assim como o seu passo, freio e posicionamento. Estes auxiliam no controle da carga e no equilíbrio de todo o sistema eólico, pois uma mudança na velocidade do ar modifica as forças aerodinâmicas geradas no aerogerador, sendo preciso um controle da potência do rotor para evitar sobrecargas no sistema.

3.3 Análise Rentável das Aplicações Solares e Eólicas

A implantação de um sistema de geração de energia elétrica renovável possui duas análises econômicas: em relação à economia de energia e também a análise financeira. É perceptível que um sistema autônomo de geração de energia diminui a necessidade do consumo da energia elétrica distribuída pela concessionária. E com essa redução da demanda, também se minimiza a necessidade da ampliação das formas tradicionais de geração e redes de distribuição e transmissão, colaborando com a sustentabilidade energética.

No entanto, a análise do investimento inicial desses sistemas também é algo importante para o usuário. Felizmente, com os constantes desenvolvimentos e novas tecnologias, o custo desses sistemas está cada vez mais atrativo. Para se conseguir analisar a viabilidade econômica de um sistema, o dimensionamento de uma instalação como exemplo se faz necessária.

3.3.1 Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico

Para a definição dos componentes do sistema inicialmente é feito o levantamento do sistema, calculado levando-se em conta o período do ano com o consumo energético crítico. Para esse cálculo a criação de uma tabela onde são listados

os equipamentos presentes na edificação, suas potências, o número médio de horas diárias de uso (h/dia) e o consumo diário.

Para exemplificar esse dimensionamento, suponha uma residência com um levantamento de equipamentos instalados descritos na Tabela 2:

Tabela 2 - Lista de equipamentos presentes na residência

Equipamento Elétrico	Quantidade	Potência (W)	Uso (h/dia)	Consumo Diário (Wh)
Lâmpada Fluorescente Compacta	10	12	5	600
Televisão Tubo 29 "	2	110	5	1.100
Televisão LCD 42 "	1	200	5	1.000
Computador	2	150	3	900
Micro-ondas	1	1.200	0,2	240
Geladeira	1	90	24	2.160
Freezer	1	130	24	3.120
Chuveiro	1	6.000	0,5	3.000
Lavadora de roupas	1	500	0,4	200
TOTAL		8.760		12.320

Da Tabela 2 tira-se: $E_{TOTAL} = 12.320 \text{ Wh}$ $P_{ILUM} = 120 \text{ W}$ $P_{CARGA} = 8.640 \text{ W}$

O banco de baterias deve ser dimensionado de acordo com a capacidade requerida na edificação, na tensão de trabalho do sistema fotovoltaico do projeto, normalmente de 12 V, conforme equação (1).

$$E_{BATERIA} = \frac{E_{TOTAL}}{V_{BATERIA}} = \frac{12.320}{12} = 1.026,67 \text{ Ah} \quad (1)$$

Comercialmente, não é produzido em grande escala baterias com capacidade maior que 200 Ah, portanto é necessária a montagem de um banco de baterias. Considerando um fator de 80 %, ou seja, a bateria pode ser descarregada em até 80 % de sua carga sem sofrer nenhum desgaste, o número de baterias de 200 Ah do banco em questão é encontrado pela equação (2):

$$N_{BATERIA} = \frac{E_{BATERIA}}{F_C \cdot 200} = \frac{1.026,67}{0,8 \cdot 200} = 6,41 \quad (2)$$

Para alimentar isoladamente essa residência, seriam necessárias um banco de 7 baterias em paralelo com capacidade nominal de 200 Ah de 12 V, com um valor unitário aproximado de R\$ 650,00, dependendo do fabricante. Para o levantamento de custos apresentado nesse estudo, foram utilizados sites de fabricantes e fornecedores especializados.

O dimensionamento dos painéis fotovoltaicos depende fortemente das horas de Sol pleno na região, ou seja, os momentos no dia com a maior quantidade de radiação solar. As horas de Sol pleno dependem da latitude e nebulosidade média do local. Esse dado pode ser encontrado em sites especializados nesses cálculos, como o da CRESESB. No Sul do Brasil é considerado entre 3,5 e 4 h/dia, e para o Nordeste aplica-se um valor entre 4 e 5 h/dia de Sol pleno. O ângulo de inclinação dos painéis vai depender da latitude local, com um acréscimo de 10°, privilegiando o mês mais crítico.

Supondo essa residência na região Sudeste do país, com 4,5 h/dia de Sol pleno, potência mínima do módulo solar, dada pela equação (3):

$$P_{MINIMA} = \frac{E_{TOTAL}}{h_{SOLPLENO}} = \frac{12.320}{4,5} = 2.737,78 W \quad (3)$$

Utilizando um painel solar de 210 W, serão necessários 14 painéis, com valor unitário médio de R\$ 1.700,00. Uma ligação física possível seria duas fileiras de 7 painéis em série, ligadas em paralelo. Numa conexão em série, as tensões individuais são somadas, enquanto que em uma conexão em paralelo, são as correntes que são somadas, não alterando assim a potência final do módulo fotovoltaico.

O próximo seria dimensionar o inversor necessário para esse sistema, e para esse cálculo, alguns valores devem ser definidos. Pela quantidade de aparelhos presentes na casa, definiu-se um Fator de Demanda de 0,8, tanto para as cargas como para as lâmpadas, que representa a possibilidade de que todos sejam ligados ao mesmo tempo. O Fator de potência das cargas é aproximado em 0,8, e o das lâmpadas compactas em 0,6. Com isso, pode-se calcular a demanda máxima durante o regime permanente através da equação (4):

$$D_{MAXIMA} = F_D \frac{P_{CARGA}}{FP_{CARGA}} + F_D \frac{P_{ILUM}}{FP_{ILUM}} = 8.800 \text{ VA} \quad (4)$$

É aconselhável que o inversor trabalhe com no máximo 80% de sua potência nominal, com o objetivo de se trabalhar na região de alta eficiência e de se ter uma reserva de segurança. Analisando o regime permanente, pela equação (5) tem-se:

$$P_{INVERSOR} = \frac{8.800}{0,8} = 11.000 \text{ W} \quad (5)$$

Considerando agora a partida dos aparelhos com motores, e admitindo uma corrente de partida 4 vezes maior que suas correntes nominais e a tensão máxima na saída do inversor de 220 Vca, encontram-se pelas equações (6) e (7):

$$I_{INVERSOR} = 4 \frac{1.920}{220} + \frac{6.720}{220} + 0,8 \frac{120}{220} = 65,89 \text{ A} \quad (6)$$

$$P_{INVERSOR} = I_{INVERSOR} \cdot V_{INVERSOR} = 65,89 \cdot 220 = 14.496 \text{ W} \quad (7)$$

Considerando o caso mais crítico, que é atender a corrente de partida, o inversor deve ter uma potência superior a 14.496 W. Um inversor solar de potência de 15 kW, 12Vdc-220Vac, é vendido pelo preço aproximado de R\$ 8.000,00.

O último item no dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o controlador de carga. É um item muito importante, pois prolonga a vida útil das baterias, e protege os painéis de correntes reversas. No lado da corrente alternada, a corrente máxima é dada pela equação (8):

$$I_{MAXIMA} = \frac{D_{MAXIMA}}{Vac} = \frac{8.800}{220} = 40 \text{ A} \quad (8)$$

De acordo com Serrão (2010), o rendimento de um inversor solar, ligado ao controlador, é de 0,862. Com a equação (9) encontra-se a corrente do controlador:

$$I_{CONT} = \frac{V_{220} \cdot I_{220}}{\eta \cdot V_{BATERIA}} = \frac{220 \cdot 40}{0,862 \cdot 12} = 850,73 \text{ A} \quad (9)$$

Um controlador de carga desse porte custa em torno de R\$3.000,00, porém é um dos componentes mais baratos, como mostra o resumo na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo do levantamento dos componentes de um sistema fotovoltaico

COMPONENTE SISTEMA	QUANTIDADE	PREÇO MÉDIO
Bateria	7	R\$ 4.550,00
Módulo fotovoltaico	14	R\$ 23.800,00
Inversor	1	R\$ 8.000,00
Controlador de carga	1	R\$ 3.000,00
	TOTAL	R\$ 39.350,00

Supondo que o consumo da residência exemplificada seja algo constante, e assumindo uma tarifa da concessionária de energia de 0,325 R\$/kWh, pode-se estimar o tempo que levaria até que o sistema instalado se torne lucrativo, conforme demonstrado na Figura 18.

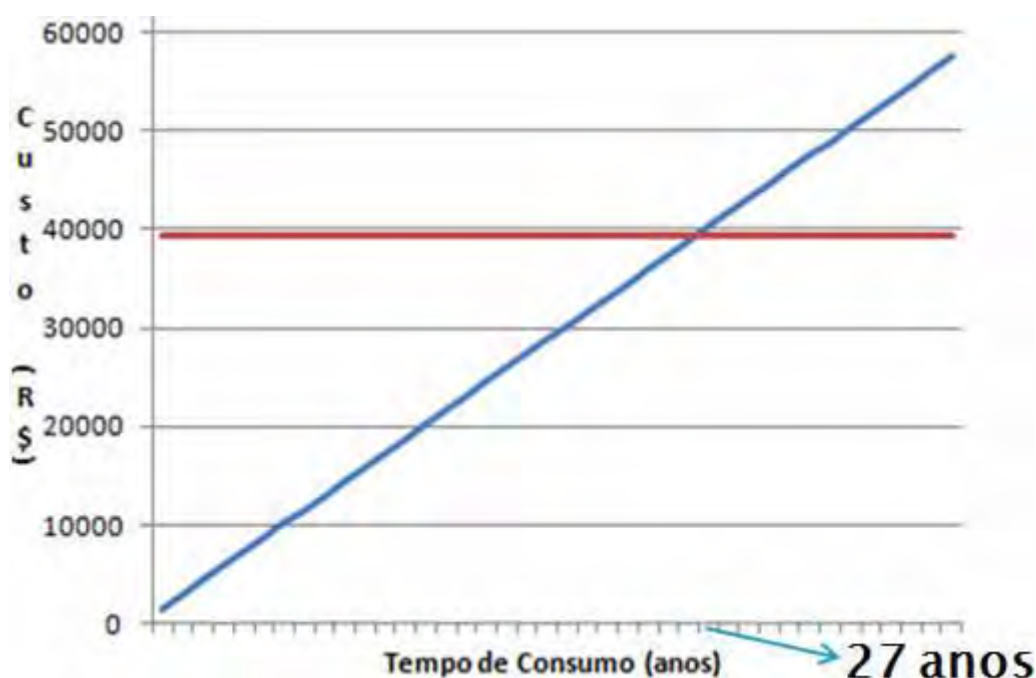


Figura 18 - Curva de custo energia elétrica x sistema fotovoltaico

Essa simples análise mostra que o uso de um sistema fotovoltaico para alimentação isolada de uma edificação ainda é algo financeiramente inviável, demorando em torno de 27 anos para pagar o investimento inicial. Porém esse cenário já vem e tende a se alterar ainda mais nos próximos anos, devido ao aumento constante de investimentos em pesquisa e tecnologias. A maioria das utilizações da energia solar é como uma produtora auxiliar de energia, como é o caso do sistema de aquecimento solar.

3.3.2 Dimensionamento de um Sistema de Aquecimento Solar

São poucas as tecnologias existentes que conseguem unir economia, conforto e respeito ao meio-ambiente, com um dimensionamento simples e eficiente, sendo preciso definir o reservatório térmico e os coletores solares.

O primeiro passo é definir a necessidade diária de água quente em uma determinada residência, representada nas Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Consumo diário de água quente

Alojamento Provisório de Obra	24	litros por indivíduo
Casa Popular ou rural	36	litros por indivíduo
Residência	45	litros por indivíduo
Apartamento	60	litros por indivíduo
Quartel	45	litros por indivíduo
Escola (Internato)	45	litros por indivíduo
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36	litros por indivíduo
Hospital	125	litros por leito
Restaurante e Similares	12	litros por refeição
Lavanderia	15	litros por Kg de roupa seca

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993)

Tabela 5 - Consumo médio de água aquecida em ambientes residenciais

Chuveiro	50	litros por banho
Banheira para uma pessoa	100	litros por banho
Banheira para duas pessoas	200	litros por banho
Torneira de água quente	50	litros por dia
Máquina de lavar pratos	150	litros por dia
Máquina de lavar roupa	150	litros por dia

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993)

Supondo uma residência familiar, composta de 5 pessoas, que possuem um chuveiro e duas torneiras de água quente, o consumo diário é dado pela equação (10):

$$C_{AQ} = 5.50 + 2.50 = 350 \text{ L / dia} \quad (10)$$

Com esse volume de água quente necessário, pode-se dimensionar o Boiler utilizado nesse sistema. No mercado se encontra facilmente reservatório térmico de 400L de capacidade, num valor próximo de R\$800,00.

O próximo passo é definir a área dos coletores solares. Esse cálculo depende das características do coletor, a latitude do local, a temperatura ambiente e o volume de água a ser aquecido. Supondo uma temperatura local de 26°C, a temperatura desejada da água de 50°C, para aquecer 400 litros de água de calor específico (C_e) de 1 kcal/kg °C, a quantidade de calor necessária é dada pela equação (11):

$$Q = M.C_e.\Delta T = 400.1.(50 - 26) = 9,6 \text{ kcal} \quad (11)$$

Estando essa residência numa região com radiação incidente (R_i) de 530 kcal/m²h, com um coletor solar de eficiência térmica (η) próxima de 70% expondo ao Sol por um tempo médio de 7 horas por dia, a área (A) desse coletor é calculada pela equação (12):

$$A = Q/(R_i.h.\eta) = 9.600/(530.7.0,7) = 3,69 \text{ m}^2 \quad (12)$$

Para fornecer a energia necessária para aquecer a quantidade de água do boiler escolhido, uma área de 4m² se faz necessária. Um coletor solar de boa qualidade de 1m² custo na faixa de R\$300,00.

Avaliando os gastos com tubulação, instalação e transporte próximos de R\$1.500,00, o investimento inicial em um sistema de aquecimento de água é mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Resumo do levantamento dos componentes de um sistema de aquecimento solar

COMPONENTE SISTEMA	QUANTIDADE	PREÇO MÉDIO
Boiler	1	R\$ 800,00
Coletor Solar	4	R\$ 1.200,00
Tubulação	1	R\$ 1.500,00
	TOTAL	R\$ 3.500,00

Tendo o chuveiro uma potência de 6.000 W, sendo utilizado por 30 minutos em um dia, e as torneiras elétricas 7.500 W, utilizadas num total de 20 minutos, esses equipamentos terão um consumo diário de 5,5 kWh. Com um mesmo valor de tarifa

energética de 0,325 R\$/kWh, esse sistema de aquecimento solar analisado levaria cerca de 5 anos para se tornar rentável, o que é observado na Figura 19.

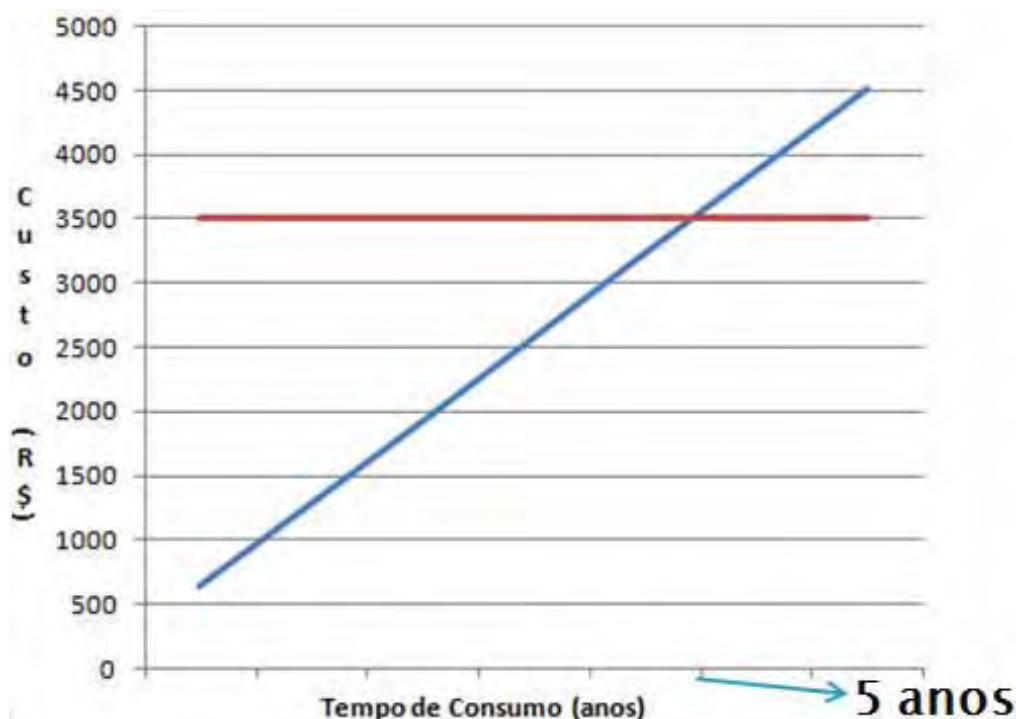


Figura 19 - Curva de custo energia elétrica x sistema aquecimento solar

3.3.3 Dimensionamento de um Sistema Aerogerador

O dimensionamento de um sistema de geração eólico é muito semelhante ao de um sistema fotovoltaico, pois o cálculo das baterias, controladores de carga e inversores é o mesmo. Já o dimensionamento do aerogerador depende da velocidade do vento que será exposto e do tamanho de seu rotor.

O cálculo da potência média, considerando o mesmo sistema para o cálculo do painel fotovoltaico, é feito pela equação (13):

$$P_{MED} = \frac{E_{TOTAL}}{24} = \frac{12320}{24} = 513,33 \text{ W} \quad (13)$$

O tamanho do rotor depende da velocidade do vento (v), que é próxima de 6 m/s em grande parte da região Sudeste do Brasil, e da potência mecânica disponível no eixo do seu gerador. Sendo considerados parâmetros estimados dos componentes de um aerogerador expostos na Tabela 7:

Tabela 7 - Rendimentos e carga do sistema

PARÂMETRO	VALOR
P _{med} : potência média da carga	513,33
C _p : coeficiente de potência dos rotores	0,40
η _g : rendimento do gerador	0,60
η _{ig} : rendimento do inversor do gerador	0,90
η _b : rendimento do banco de baterias	0,80
η _{ic} : rendimento do inversor das cargas	0,90

Fonte: SANSON (2006)

A potência mecânica gerada pelos ventos necessária no rotor é encontrada pela equação (14):

$$P_{MEC} = \frac{P_{MED}}{C_P \cdot \eta_G \cdot \eta_{IG} \cdot \eta_B \cdot \eta_{IC}} = 3.300 \text{ W} \quad (14)$$

O raio do rotor é dado pela equação (15):

$$R = \sqrt{\frac{P_{MED}}{1,806 \cdot v^3}} = 2,91 \text{ m} \quad (15)$$

Considerando os mesmos cálculos realizados no sistema fotovoltaico para o banco de baterias, o inversor e o controlador de carga, o sistema de geração de energia eólica para a residência analisada, é resumido na Tabela 8:

Tabela 8 - Resumo do levantamento dos componentes de um sistema aerogerador

COMPONENTE SISTEMA	QUANTIDADE	PREÇO MÉDIO
Bateria	7	R\$ 4.550,00
Aerogerador 4000 W	1	R\$ 11.500,00
Inversor	1	R\$ 8.000,00
Controlador de carga	1	R\$ 3.000,00
	TOTAL	R\$ 27.050,00

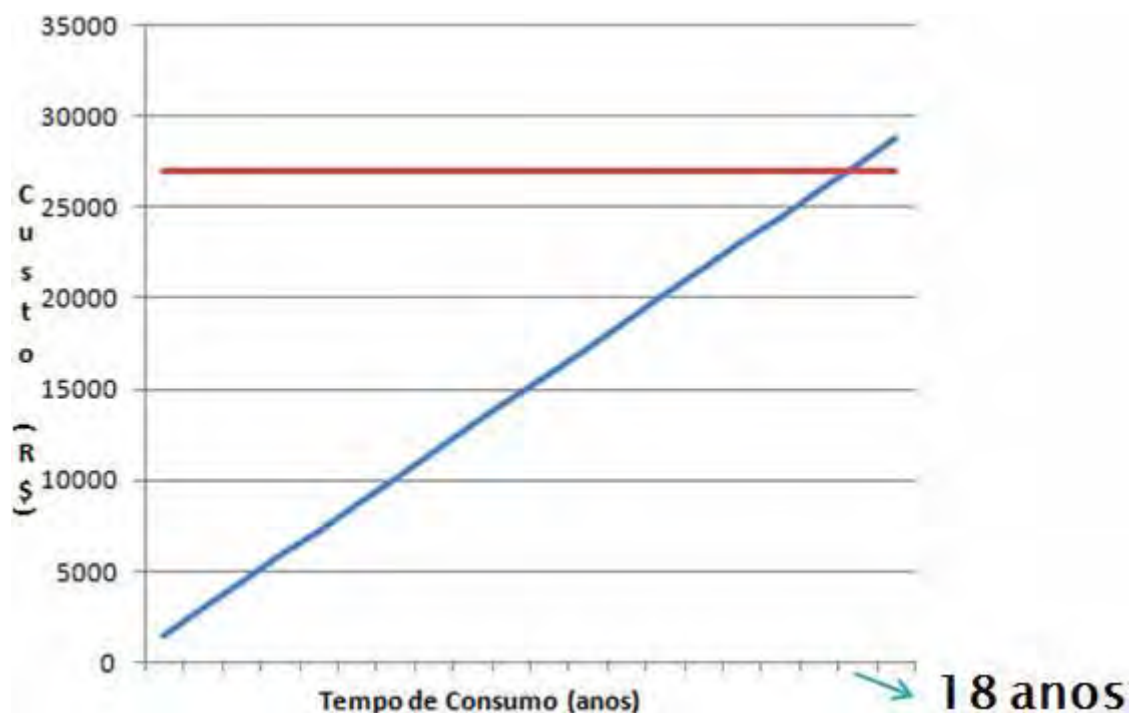


Figura 20 - Curva de custo energia elétrica x sistema aerogerador

Como se pode concluir com a Figura 20, o sistema de utilização da energia dos ventos para geração isolada de energia elétrica se mostra mais rentável, levando cerca de 18 anos para que o investimento seja pago.

Essa análise não expressa totalmente o custo de instalação dos sistemas analisados, já que não envolve, por exemplo, mão de obra, cabeamento, proteção, porém é suficiente para se realizar uma comparação entre eles, e de se ter uma perspectiva de uma possível aplicação residencial.

4 INFLUÊNCIA DA ARQUITETURA NO CONSUMO ENERGÉTICO

Como demonstrado anteriormente, a iluminação interna e a busca por um controle da temperatura de um ambiente são os maiores contribuintes no consumo final de energia elétrica em uma edificação. Para uma diminuição desses gastos, sem comprometer a qualidade da habitação, existem algumas propostas arquitetônicas que, por si só, eliminam ou diminuem a necessidade de equipamentos elétricos para essas finalidades.

4.1 Técnicas Arquitetônicas de Iluminação

A iluminação natural ocorre quando componentes numa edificação aproveitam direta (incidência) ou indiretamente (reflexo/dispersão) a radiação solar. Trata-se de uma iluminação de maior qualidade, sem custos ou desperdícios, além de propiciar um maior bem-estar dos ocupantes, podendo ser complementada com iluminações artificiais para atender o conforto luminoso desejado. Porém, é preciso tomar cuidado com seu uso devido ao aumento do ganho de calor dentro de uma edificação.

Um sistema de iluminação natural depende de diversas variáveis, como disponibilidade de luz solar, possíveis obstruções, orientação, posição e detalhes das aberturas, tamanho do ambiente, entre outros. A quantidade de luz e sua distribuição nos ambientes precisam ser devidamente calculadas, para evitar fortes contrastes de iluminação e ofuscamento por iluminação excessiva. O uso de técnicas de iluminação natural permite até 50 % de economia de energia em iluminação. De acordo com suas características e orientações, a iluminação natural é pode ser lateral ou zenital.

4.1.1 Iluminação Lateral

É conseguida através de aberturas feitas nas paredes laterais da edificação, onde o maior aproveitamento luminoso ocorre nas proximidades dessas janelas, e esse aproveitamento segue declinando exponencialmente de acordo com que vai se afastando delas.

A iluminação direta predomina nas regiões vizinhas às aberturas laterais, como observado na Figura 21, sendo preciso o uso de iluminação artificial em regiões mais distantes. No entanto, existem algumas simples técnicas que aumentam o alcance da radiação solar para dentro do ambiente, aumentando sua zona de atuação. A luz natural direta introduz menor quantidade de calor por lúmen para o interior de um edifício que a maioria das lâmpadas.

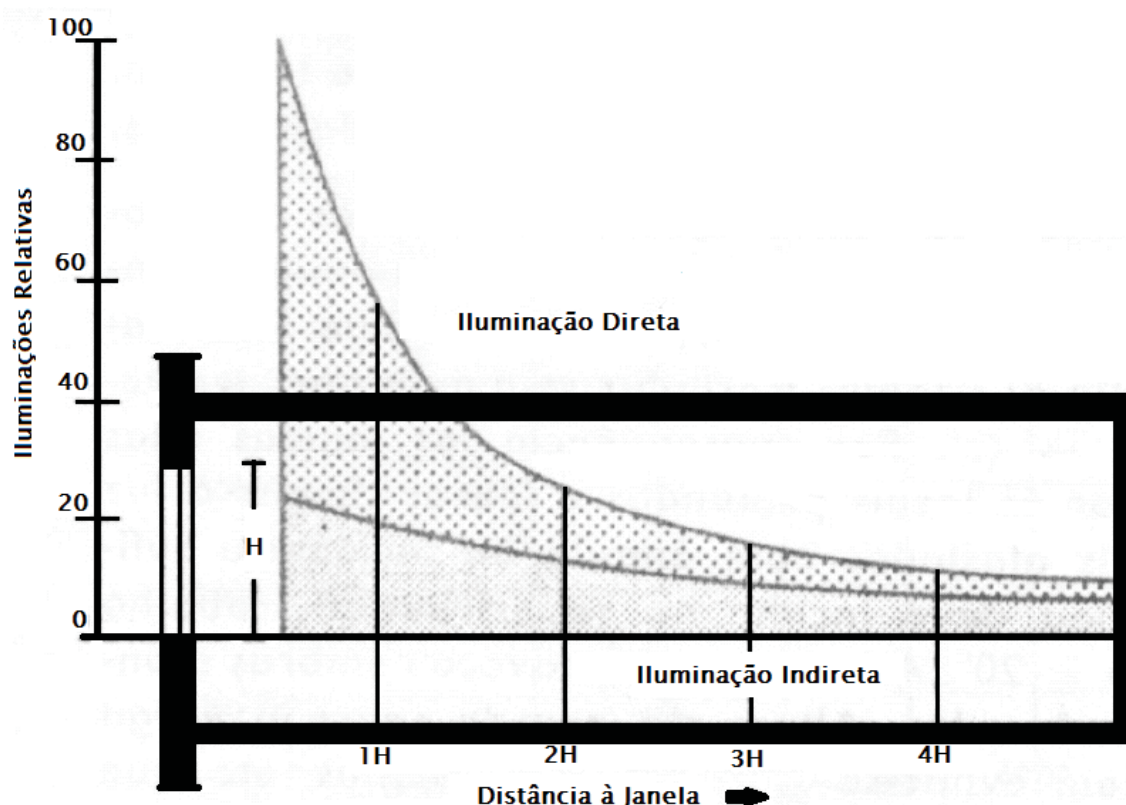


Figura 21 - Percentagem de iluminação direta e indireta, em função da altura das janelas
Fonte: AGUILAR (2004)

4.1.1.1 *Light Shelf*

Light Shelf, ou prateleira de luz, é um elemento arquitetônico que intercepta a radiação solar e a redireciona para o teto, permitindo que a luz penetre mais profundamente em uma edificação, uniformizando a distribuição da luz no interior, além de reduzir o ganho de calor no ambiente, presente na radiação direta. Ele é preferencialmente usado direcionado para a linha do Equador, onde a radiação solar é máxima, o que melhora sua eficiência.

De acordo com Tavares (2010), sua aplicação é normalmente feita posicionada acima do nível do olho do observador em um componente vertical de passagem de luz,

como em janelas, dividindo-a em duas partes: uma inferior, destinada para ventilação e visualização do exterior, e outra superior, para a entrada da luz solar a ser desviada para o interior do recinto, como exemplificado na Figura 22.

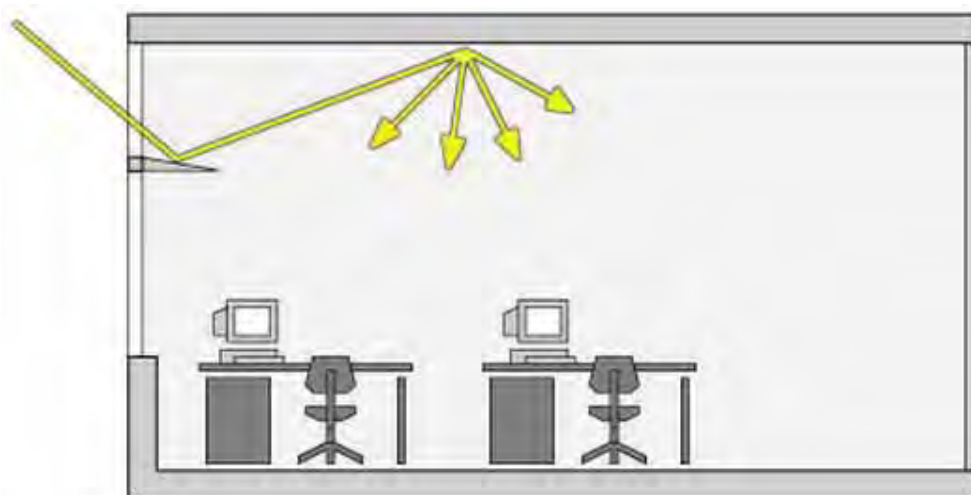


Figura 22 - Funcionamento de um *Light Shelf*
Fonte: LIGHTING (2011)

Light Shelves possuem em sua superfície um material refletor, como espelho e alumínio, ou pintados e anodizados com componentes com alta refletância. O direcionamento adequado da radiação direta também aumenta o conforto visual, diminuindo casos de ofuscamento. A sua eficiência pode ser consideravelmente aumentada com o uso de uma forma especificamente curva, como o uso de espelhos elípticos, de acordo com a Figura 23.

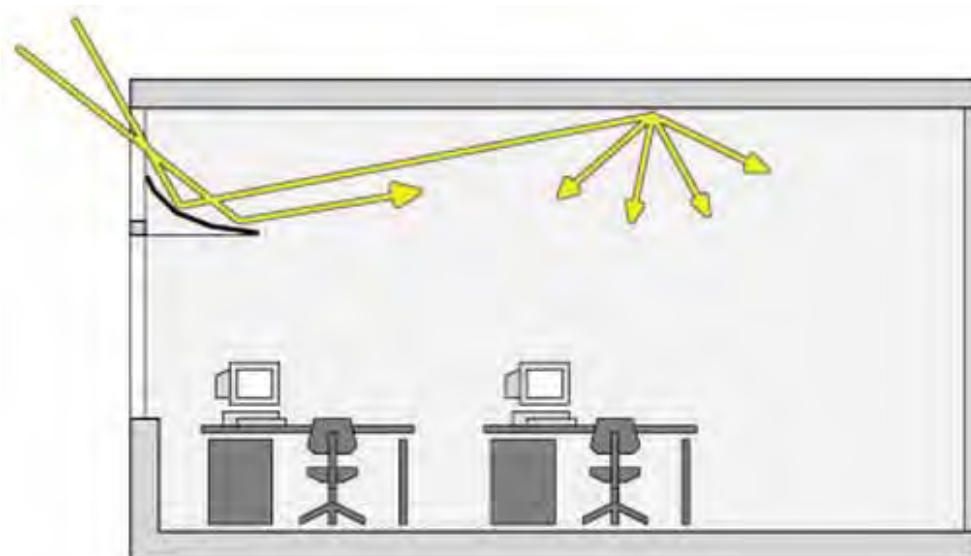


Figura 23 - Funcionamento de um *Light Shelf* com espelho curvo
Fonte: LIGHTING (2011)

4.1.1.2 Laser Cut Panel

Trata-se de um painel de acrílico que é dividido em vários elementos retangulares através de cortes a laser. Como mostra a Figura 24, cada superfície retangular age como um pequeno espelho que deflete a luz solar em diversas direções.

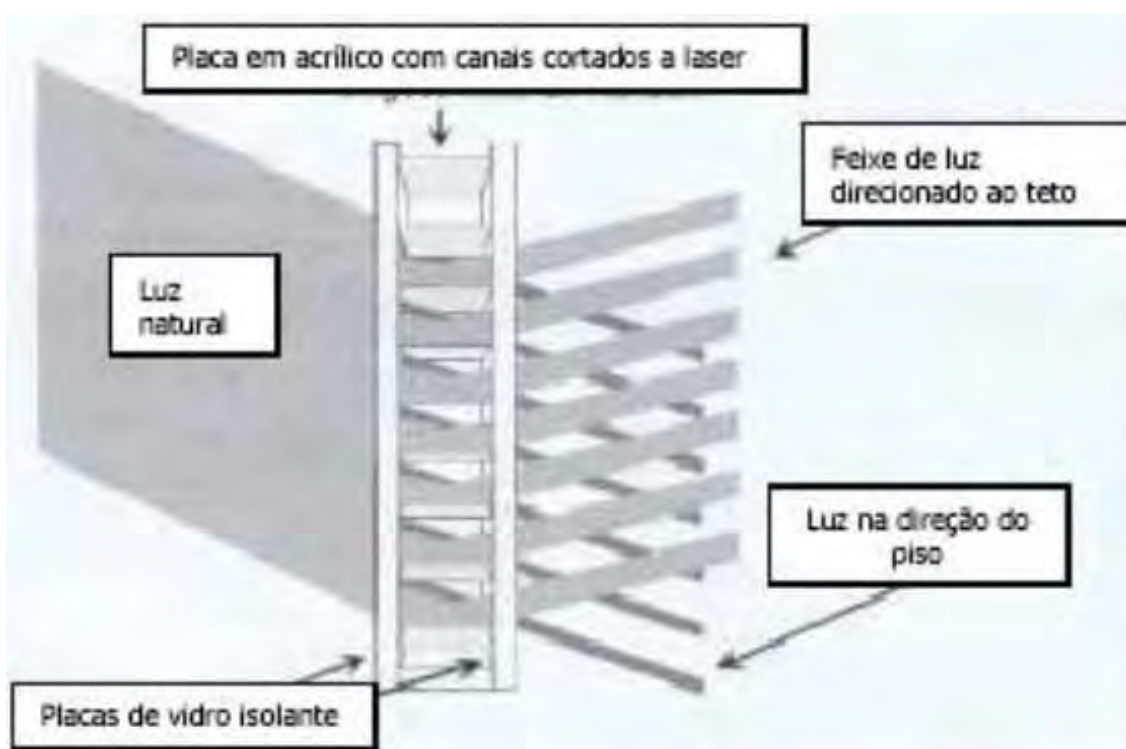


Figura 24 - Funcionamento de um *Laser Cut Panel*
Fonte: GARROCHO; AMORIM (2004)

A luz é defletida quando incide no meio do acrílico pelo princípio da refração, refletida internamente e defletida novamente ao sair do painel. Os painéis de acrílico são fixados entre duas folhas de vidro, podendo ser usados em áreas externas se os cortes tiverem proteção por meio das lâminas. Os cortes são em sua maioria perpendiculares à superfície, porém podem ser feitos em ângulos diferentes.

É uma superfície transparente, porém distorce suavemente a visão exterior, não devendo assim ser usadas eficientemente também como janelas. Devem ser instalados em uma altura superior ao nível dos olhos, para diminuir o efeito de brilho causado pela mudança de direção da luz solar.

Sua principal característica é a grande proporção de luz defletida em um ângulo maior de 120°, permitindo um maior alcance dentro da edificação. Os painéis podem

ser de brise móvel, tendo ângulos diferenciados em cada estação do ano. Durante o inverno na posição vertical para permitir entrada de mais luz, e no verão na posição horizontal para refletir maior quantidade de radiação solar. Esse posicionamento é mais facilmente visualizado na Figura 25.

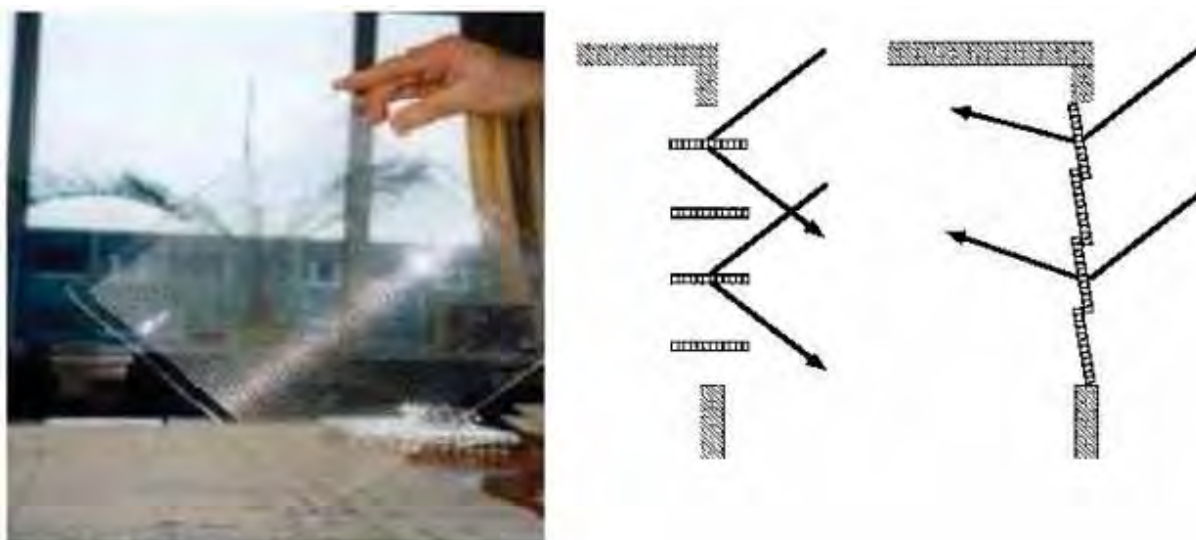


Figura 25 - Amostragem do material; Posicionamento dos painéis de acordo com a estação do ano
Fonte: GARROCHO; AMORIM (2004)

4.1.2 Iluminação Zenital

A iluminação zenital, feita pelo topo da edificação, gera uma maior distribuição dos níveis de iluminação, mas tem como característica um aumento da concentração de calor local, por receber radiação direta do Sol. Para minimizar esse efeito são utilizados elementos arquitetônicos que difundem essa radiação ao entrar no ambiente.

4.1.2.1 Solatube

Trata-se de um sistema que é composto por uma cúpula formada de prismas refletores que recebe a iluminação solar a refletindo por dentro de um tubo espelhado, até chegar ao interior da edificação. Possui um efeito semelhante à de lâmpadas convencionais, e por ser um sistema hermeticamente fechado, impede a formação de umidade e isola termicamente os ambientes externos e internos, transmitindo apenas os raios solares. Exemplos de Solatubes são mostrados na Figura 26.



Figura 26 - Exemplos de aplicação do Solatube
Fonte: NATURALUX (2011)

A Figura 27 mostra que independente da posição do Sol, o padrão de prismas na cúpula e o espelho parabólico favorece a captação da radiação solar, conseguindo conduzir e distribuir homogeneamente a luz pelo recinto. Mesmo com o Sol próximo do horizonte, seu interior refletor mantém um alto nível de luminosidade. Um Solatube consegue iluminar uma área de até 33 m², mesmo em um dia nublado.

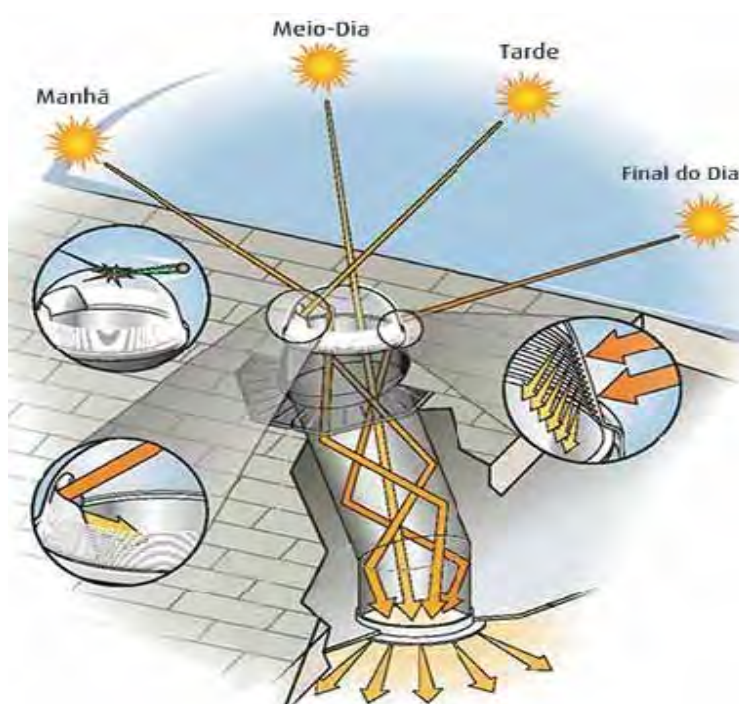


Figura 27 - Esquema de funcionamento do Solatube
Fonte: SOLATUBE (2011)

4.1.2.2 Zenital Angular Seletivo

O Zenital Angular Seletivo nada mais é que uma configuração piramidal do *Laser Cut Panel*. Lâminas finas de acrílico transparente são cortadas a laser e quatro dessas lâminas, em formato triangular ou piramidal, são postas dentro de uma pirâmide zenital.

Para os trópicos e subtropicais, região onde se localiza o Brasil, é sugerido um ângulo de inclinação do zenital para colocação dos painéis entre 45° e 55° , pois nestas situações torna-se de suma importância rejeitar a luz do sol com ângulos de inclinação altos, evitando o superaquecimento ao meio-dia.

O desempenho do Zenital Angular Seletivo depende do espaçamento entre os cortes nos painéis, o ângulo de inclinação dos painéis triangulares, a profundidade do zenital, hora e estação do ano e condições do céu. Quanto maior a profundidade do zenital, melhor será o desempenho da luz difusa através dele. Esse elemento arquitetônico, demonstrado na Figura 28, foi projetado especificamente para regiões de baixa latitude, por rejeitarem a luz solar direta.

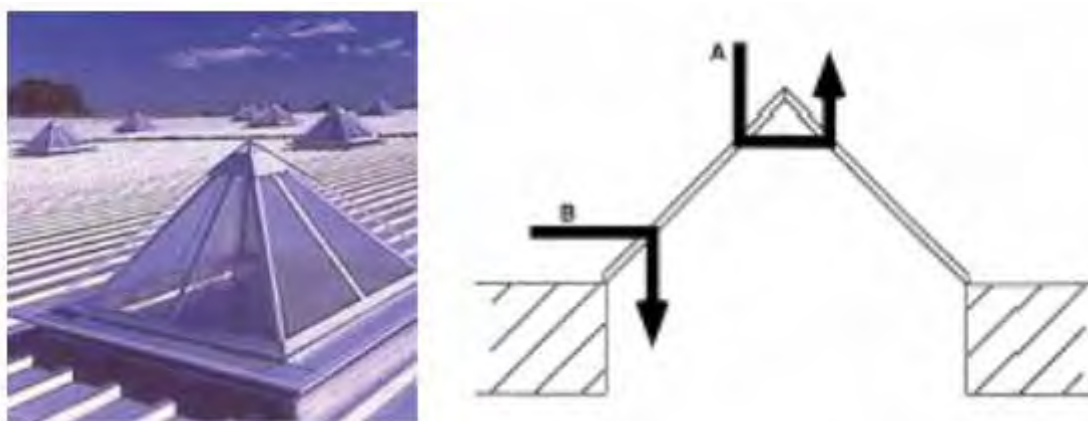


Figura 28 - A radiação direta é refletida enquanto a radiação difusa penetra na edificação
Fonte: GARROCHO; AMORIM (2004)

Economicamente é uma aplicação significativa, visto que bloqueia a entrada de luz solar direta, evitando ganhos térmicos indesejáveis o uso de ar condicionado, reduzindo também a necessidade de iluminação artificial.

4.2 Técnicas Arquitetônicas de Climatização

O controle do clima dentro de ambientes protegidos também é algo muito explorado, na medida em que um maior conforto térmico influencia no desempenho das atividades pessoais e gera uma condição de trabalho agradável, aumentando a produtividade e eficiência.

O projeto arquitetônico pode influenciar consideravelmente no conforto térmico do interior das edificações, sem ser necessário recorrer a equipamentos ou aparelhos elétricos, minimizando assim o consumo de energia nas instalações, sendo possível alcançar uma grande porcentagem de economia energética.

Usando como instrumento a força dos ventos, pode-se diminuir a temperatura interna de construções em regiões quentes, ou com o auxílio da energia solar elevar a temperatura daquelas localizadas em uma região mais fria, ou essas forças naturais podem ser usadas de acordo com a vontade ou necessidade dos proprietários.

4.2.1 Ventilação Natural

Uma redução passiva da temperatura interna pode ser feita simplesmente com sistemas de ventilação natural, presentes na Figura 29. Para existir uma ventilação natural, é necessária uma diferença de pressão entre o ar interior de um ambiente e o ar exterior.

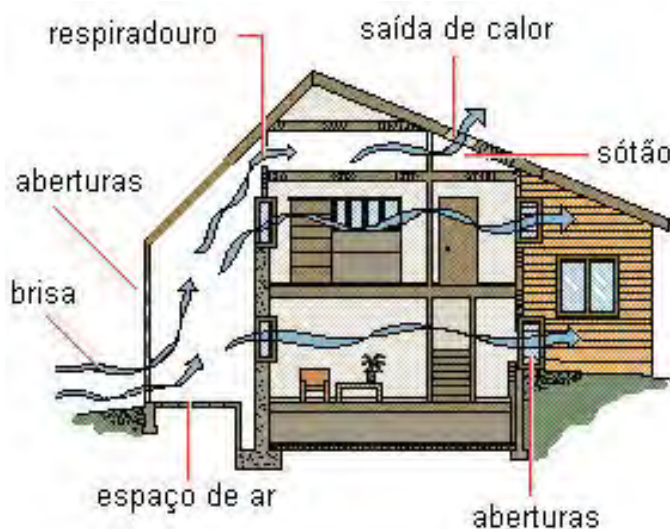


Figura 29 - Exemplo do uso da ventilação natural em uma edificação
Fonte: BRITO (2002)

Sua eficiência depende das características climáticas da região, sendo maior em locais de clima quente e úmido, por não serem aptos para uma redução intensa da temperatura interna comparada com a externa.

Um projeto eficiente de ventilação natural oferece aos ocupantes do recinto uma grande sensação de conforto, não só pela expulsão do ar quente antes preso no ambiente, diminuindo os gastos com equipamentos de refrigeração, mas também pela troca de um ar ali saturado por um ar mais puro e saudável.

4.2.1.1 Ventilação Cruzada

A ventilação cruzada é conseguida pela circulação do ar pelos cômodos de uma edificação. É a estratégia mais simples de conforto térmico, sendo preciso apenas uma janela bem orientada em relação à direção dos ventos da região e uma porta ou outra janela na parede oposta, como na Figura 30. Ou seja, não basta que o ambiente esteja exposto à ação dos ventos, mas que o fluxo de ar atravesse transversalmente o recinto.

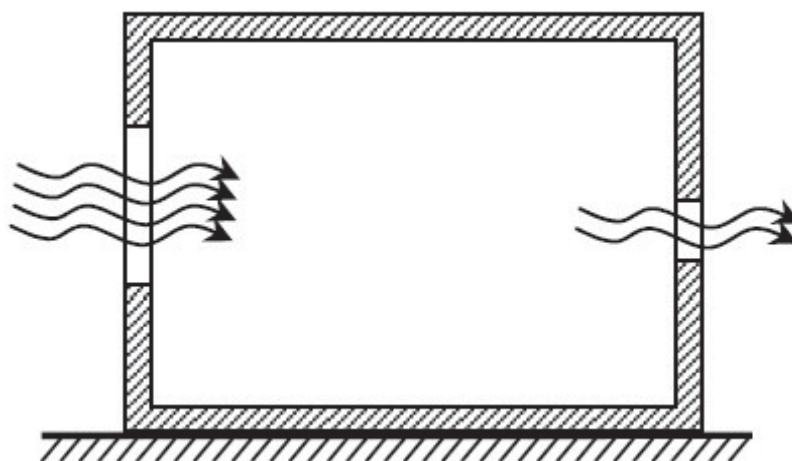


Figura 30 - Sistema de ventilação cruzada
Fonte: MENDONÇA (2005)

4.2.1.2 Efeito Chaminé

O chamado efeito chaminé pode produzir uma ventilação natural mesmo na ausência de ventos, ou seja, quando não existe deslocamento de ar no exterior. De acordo com a Figura 31, com a presença de uma abertura na parte superior da

estrutura, o ar quente tenderá a ser expulso do ambiente pelo ar fresco e com menor temperatura que entra pelo nível mais baixo do recinto.

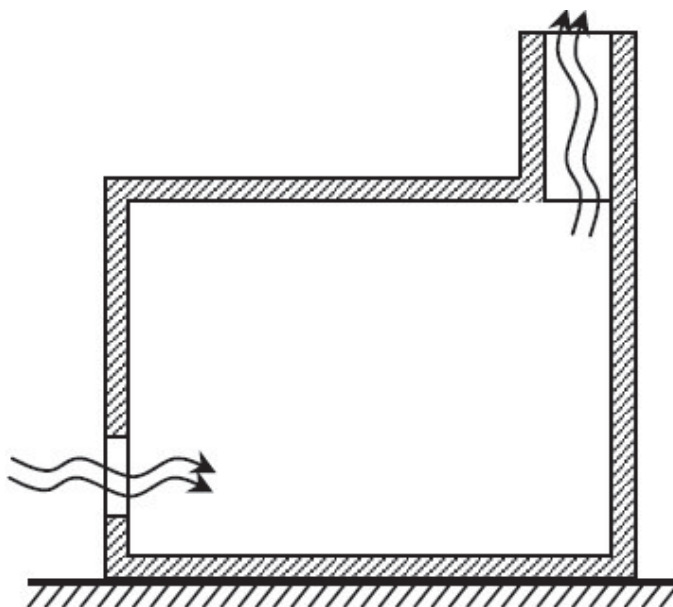


Figura 31 - Sistema de troca de ar pelo efeito chaminé
Fonte: MENDONÇA (2005)

Esse sistema de troca de ar se torna mais eficiente quanto mais alta estiver a abertura no teto, pois essa troca depende da diferença de altura das janelas. O efeito chaminé não gerará um grande conforto térmico em regiões muito quentes, pois a diferença de temperatura interna e externa será pequena, o que minimizará o seu funcionamento.

4.2.1.3 Chaminé Solar

A Figura 32 apresenta uma variação do efeito chaminé, onde é instalada na cobertura da estrutura uma câmara coberta com um captor pintado com uma cor escura, protegido por vidro. Com o auxílio da energia solar, esse sistema eleva a temperatura do ar no interior da câmara, aumentando a troca de calor com o ambiente externo, através de uma abertura na parte inferior da edificação.

A principal característica desse sistema de ventilação natural é que sua eficiência depende da intensidade da radiação solar presente, proporcionando uma maior troca de ar quando o clima está mais quente, que é exatamente o momento que o resfriamento se faz mais necessário.

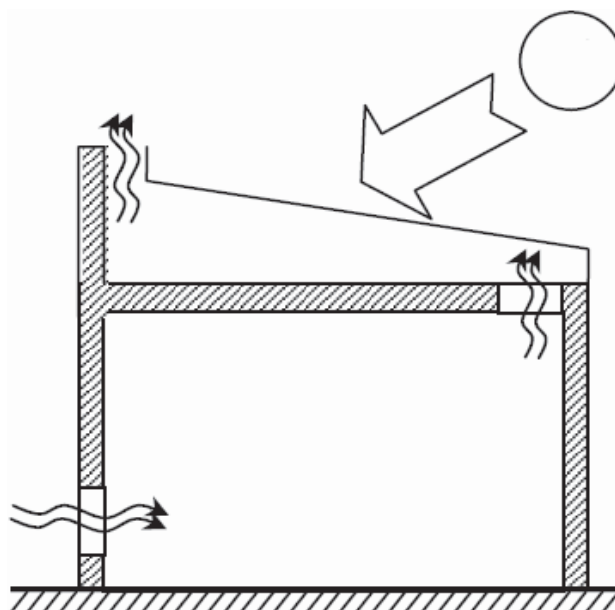


Figura 32 - Sistema de chaminé solar
Fonte: MENDONÇA (2005)

4.2.1.4 Aspirador Estático

Esse outro sistema de extração do ar pela cobertura, mostrado na Figura 33, utiliza um aspirador no topo da “chaminé”, que suga o ar presente no recinto, gerando uma depressão no interior da edificação, sendo preenchida por ar fresco pela abertura em sua parte inferior. Mais eficiente em climas quentes e temperados, em zonas com ventos constantes.

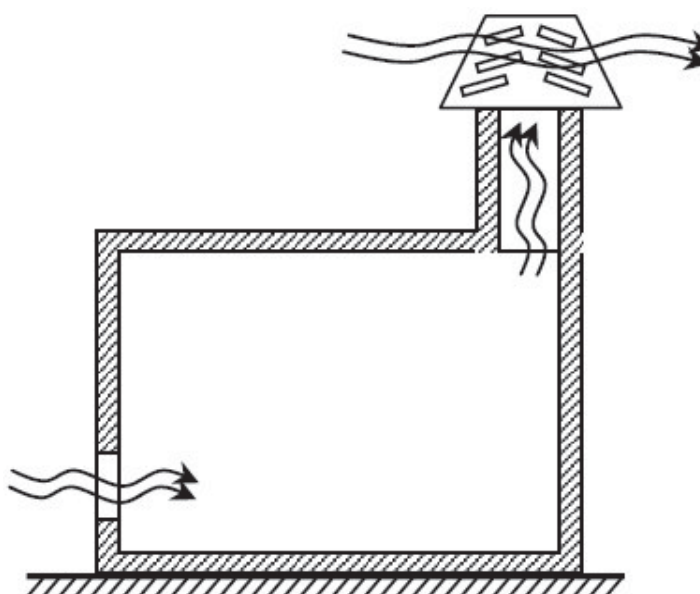


Figura 33 - Sistema de aspirador estático
Fonte: MENDONÇA (2005)

4.2.1.4 Torre de Vento

A torre de vento circula o ar num sentido contrário aos elementos arquitetônicos mostrados anteriormente. É elevada uma torre a uma altura considerável da cobertura da edificação, onde os ventos são mais intensos. O ar então é captado e conduzido para o interior da construção, atravessando-a, de acordo com a Figura 34.

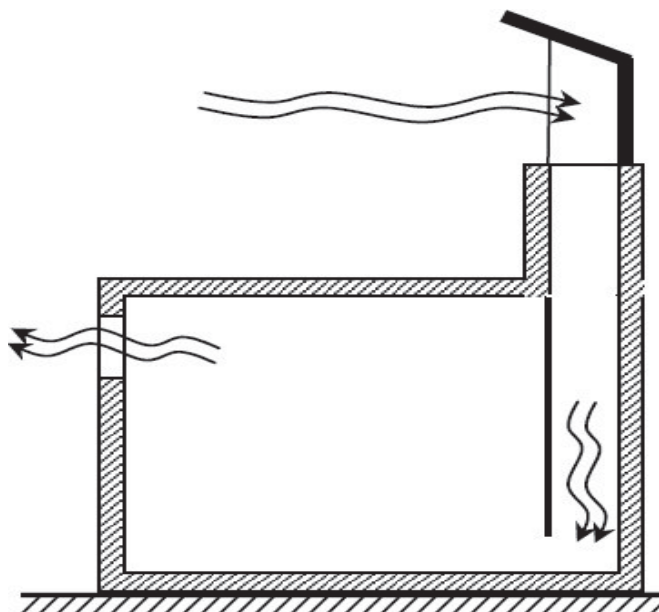


Figura 34 - Sistema de torre de vento
Fonte: MENDONÇA (2005)

A torre pode ter diversas aberturas, dependendo das direções que os ventos da região assumem. Uma vantagem desse sistema é que ele pode ser usado em conjunto com outros elementos de tratamento de ar, aumentando sua eficácia.

4.2.2 Arquitetura Solar Passiva

Também conhecida de arquitetura bioclimática, a arquitetura solar passiva se baseia na captação ou proteção da energia solar, de acordo com época do ano, adaptando segundo as necessidades de aquecimento ou resfriamento interno, sem recorrer ao uso de sistemas ativos.

Um sistema solar passivo destinado para aquecimento pode ser classificado como ganho direto, ganho indireto, ou ganho separado. O ganho direto é feito através de janelas ou outros tipos de aberturas, sendo assim este dependente de suas dimensões

e tempo de exposição ao Sol. O ganho indireto ocorre através da captação da radiação solar, sendo este cedido ao ambiente interno de forma controlada. O ganho separado se caracteriza pelo fato do calor solar ser captado em zonas externas à edificação.

4.2.2.1 Paredes Trombe

Sistema utilizado para aquecimento de interiores, composto por uma camada exterior de vidro e uma camada interior de um material com alto armazenamento térmico, como pedra, concreto, terra compactada ou material cerâmico. Essas camadas possuem um distanciamento entre si de 5 a 20 cm, formando um intervalo de ar. É um elemento arquitetônico muito eficiente em climas frios e temperados, que recebam uma boa insolação.

As paredes trombe absorvem a radiação solar, a armazenando no material de alta inércia térmica, para ser distribuída ao ambiente nos períodos mais frios do dia. O tempo de retardo da transferência do calor depende da espessura da camada do material de armazenamento térmico. De acordo com Rocheta e Farinha (2007), numa parede de 200 mm de concreto, por exemplo, esse retardo é de aproximadamente 6 horas, ou seja, se a parede começa a absorver a luz solar às 12 horas, a condução do calor para o interior do ambiente iniciará por volta das 18 horas.

A caixa de ar formada no seu interior pode ser ou não ventilada. A diferença é que durante a noite, a condução do ar quente em uma parede trombe ventilada não se dá apenas por condução, mas também por convecção. Paredes trombe ventiladas permitem a passagem do ar quente armazenado para o interior por um orifício na parte superior da parede, além de captar o ar frio do ambiente por um orifício inferior. Esses orifícios devem ser fechados durante o dia, evitando assim a fuga do ar quente a ser utilizado durante a noite.

Como mostra a Figura 35, as paredes trombe também são úteis durante períodos mais quentes do ano. Além de prever um sombreamento do vidro, contribui para o arrefecimento interno através do orifício superior no vidro e um inferior na camada acumuladora de calor, provocando a refrigeração da parede, e por consequência do ambiente.

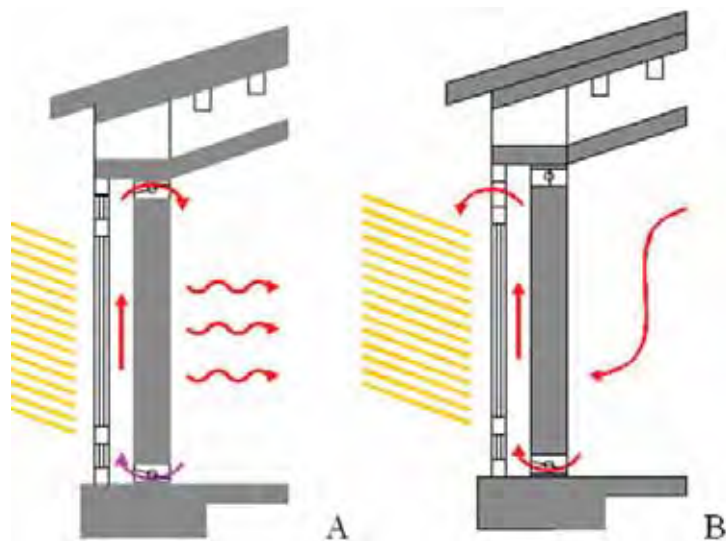


Figura 35 - A: parede trombe ventilada durante o Inverno; B: durante o Verão
Fonte: ROCHETA; FARINHA (2007)

4.2.2.2 Brise-Soleil

O brise-soleil, conhecido no Brasil como brise ou quebra-sol, é um elemento arquitetônico usado para bloquear a entrada da radiação solar na edificação, evitando um aumento de sua temperatura interna. É um dos principais dispositivos de sombreamento utilizados, sendo constituído de diversas lâminas de materiais como concreto, alumínio ou madeira, localizado à frente de janelas ou outras aberturas.

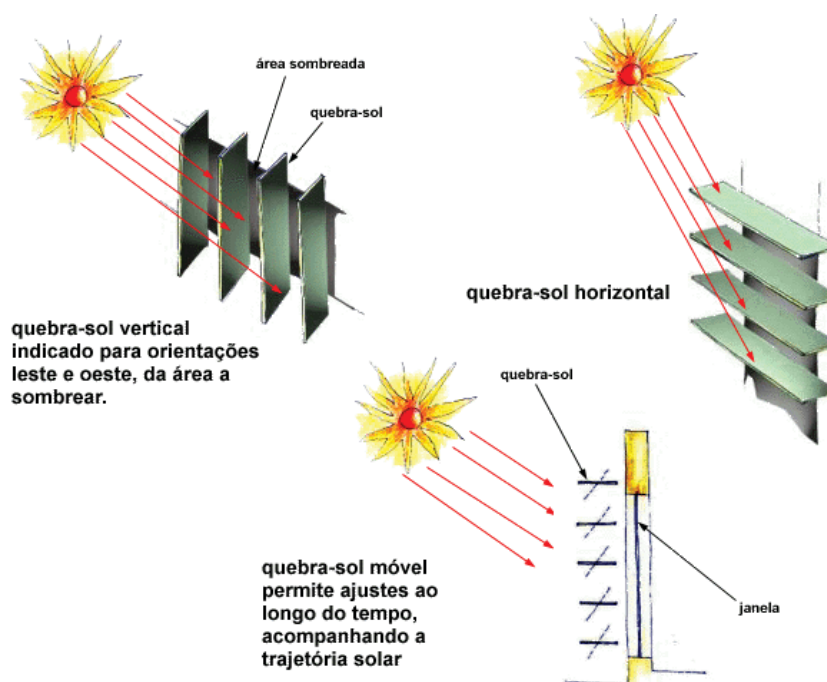


Figura 36 - Diferentes posicionamentos do brise-soleil
Fonte: EDIFIQUE (2011)

Os brises podem ser posicionados na horizontal ou vertical, como mostra a Figura 36. Os brises horizontais são mais úteis em direções onde o Sol permanece grande período do dia na parte superior do globo. Nas fachadas visando o leste ou oeste, por receberem o Sol da manhã e o da tarde, os brises verticais são mais aplicados. Os brises podem ser móveis, o que aumenta sua eficiência, pois permite que seu ângulo seja ajustado de acordo com a posição solar.

4.2.2.3 Coberturas de Água

Nesse sistema é posto sobre a laje uma quantidade de água exposta diretamente à radiação solar, para armazenar o calor absorvido, como exemplificado na Figura 37. Esses recipientes com água recebem uma cobertura plástica para diminuir a perda por convecção desse calor armazenado. O inferior desses recipientes é normalmente composto de uma estrutura metálica, que conduz por meio da radiação o calor para o interior da edificação, distribuindo-o no ambiente.

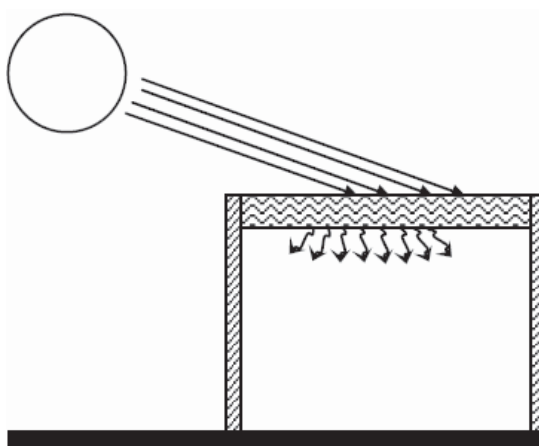


Figura 37 - Sistema de cobertura de água
Fonte: MENDONÇA (2005)

Esse sistema necessita de um isolamento móvel, que serve tanto para impedir as perdas de calor indesejadas durante a noite, como também impedir que a temperatura do interior do recinto atinja níveis superiores aos aceitáveis, ao que posso ocorrer em dias de forte insolação.

5 USO RACIONAL E EFICIENTE DA ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica em uma edificação possui inúmeras aplicações, e seu consumo vai depender das características e especificações dos aparelhos eletroeletrônicos presentes. Com o avanço tecnológico sempre atuando, equipamentos com uma maior eficiência energética, e que desempenham as mesmas aplicações, surgem constantemente.

A implantação de pequenas automações também pode diminuir consideravelmente o consumo energético de uma edificação, diminuindo os períodos desnecessários de alimentação dos aparelhos e um controle de intensidade desses utensílios, além de proporcionar uma maior comodidade e praticidade em tarefas habituais e repetitivas.

5.1 Eficiência Energética

A eficiência energética trata da utilização de energia na forma mais eficaz para realizar um processo de fabricação ou prestar um serviço, onde o desperdício de energia é reduzido e o consumo geral de recursos primários de energia é reduzido. Em outras palavras, sistemas energeticamente eficientes procuram utilizar menos energia durante a realização de qualquer atividade e, ao mesmo tempo, causando o menor impacto ambiental. As ações de eficiência energética visam à redução de perdas e conseqüentemente o consumo de energia. Os impactos do uso de energia afetam a todos e, portanto, todos devem se preocupar sobre como utilizar a energia de forma mais eficiente.

A eficiência energética pode ser aplicada na geração, distribuição, e também junto às instalações consumidoras. Através de melhorias nos sistemas de uso final de energia elétrica, pode-se reduzir o consumo sem interferir no desempenho. Essa redução favorece o setor elétrico, pois diminui futuros investimentos no parque de geração instalado para atender a demanda, e favorece também o usuário final, pois reduz os seus gastos com energia elétrica.

Segundo PROCEL (2007), O Brasil possui uma lei 10.295 que trata da eficiência energética dos equipamentos que consomem eletricidade ou combustíveis. A partir dessa lei, os equipamentos comercializados no Brasil devem atender índices mínimos de eficiência energética ou níveis máximos de consumo de energia.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), realizado pelo INMETRO, cuja etiqueta é mostrada na Figura 38, efetua a certificação de equipamentos em relação ao consumo de energia, em parceria com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Os equipamentos testados recebem uma etiqueta em suas embalagens, indicando sua classificação quanto ao consumo de energia.

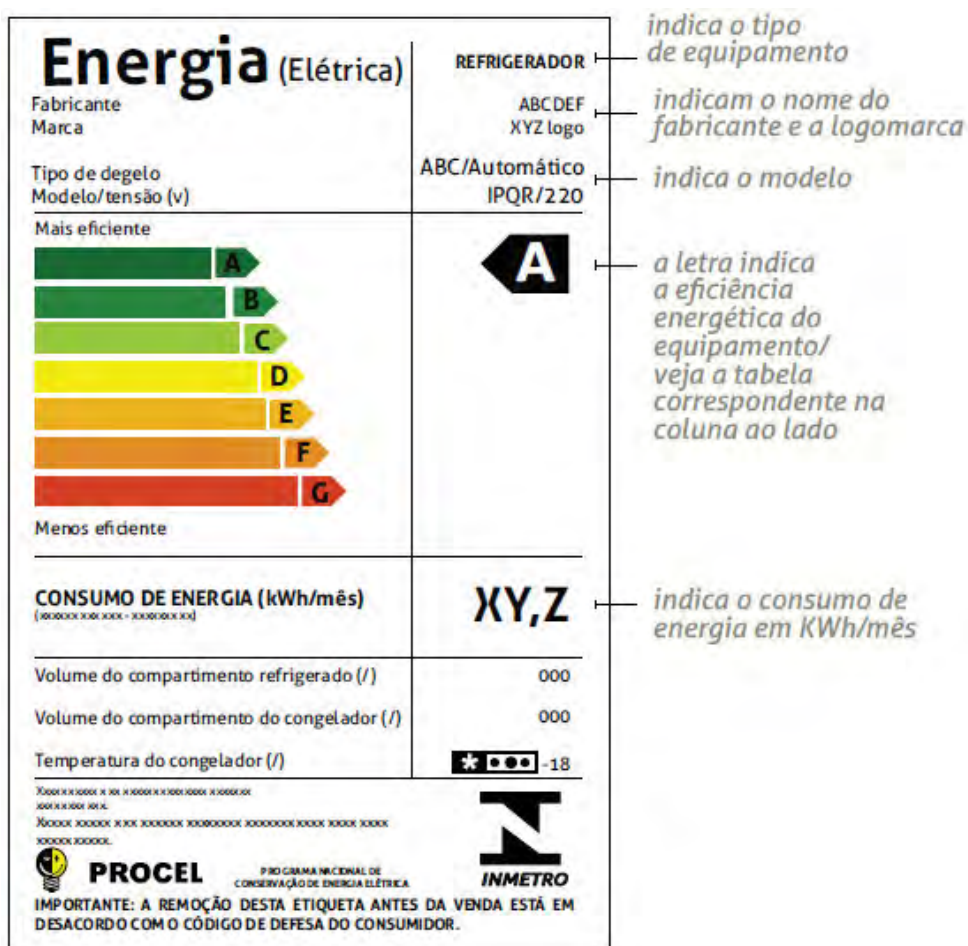


Figura 38 - Etiqueta nacional de conservação de energia
Fonte: PROCEL (2007)

Outro método de se atingir uma eficiência energética é com a utilização de novas tecnologias, que possuem um desempenho igual ou mesmo superior à outras tecnologias, e com a vantagem de consumir uma menor quantidade de energia elétrica em seu funcionamento.

Um exemplo é a evolução dos sistemas de iluminação. A substituição das lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas já é uma realidade, porém a nova tecnologia que busca aprimorar ainda mais a eficiência da iluminação residencial é a lâmpada LED. Essa comparação de custos e eficiência é resumida na Figura 39.

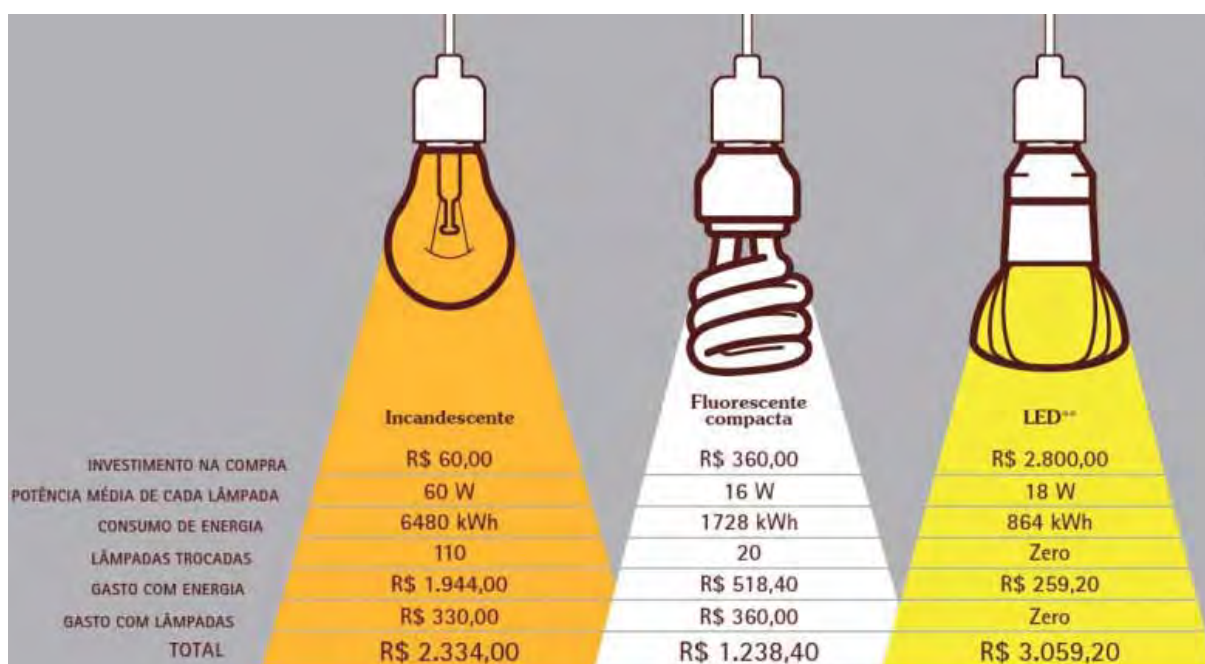


Figura 39 - Esquema comparativo dos tipos de lâmpadas
Fonte: PLANETA (2011)

Uma lâmpada LED utiliza diodos emissores de luz como a fonte de iluminação. Os LEDs envolvidos podem ser convencionais de semicondutores diodos emissores de luz, LEDs orgânicos (OLED), ou polímero diodos emissores de luz (PLED), tecnologia esta ainda não disponível comercialmente.

Como a saída de luz de cada um dos diodos emissores de luz é pequena em comparação com lâmpadas incandescentes e lâmpadas fluorescentes compactas, múltiplos diodos são utilizados em conjunto. Nos últimos anos, como a tecnologia de diodos tem melhorado, diodos emissores de alta potência com saídas maiores de lúmen estão tornando possível a substituição das lâmpadas usadas por lâmpadas LED.

Diodos se alimentam por corrente DC, então para usá-los é necessária a presença de circuitos retificadores internos ou externos. LEDs são danificados por operação em altas temperaturas, e tipicamente apresentam elementos de gestão de calor, tais como dissipadores de calor e aletas de refrigeração. As lâmpadas LED oferecem uma longa

vida útil e alta eficiência energética, apresentando uma economia de até 87 % no gasto de energia, mas os custos iniciais são mais elevados que os de lâmpadas fluorescentes e incandescentes, chegando ao valor de R\$ 140,00 por lâmpada.

5.2 Sensores de Presença ou Movimento

Um sensor de presença é um dispositivo que detecta qualquer movimentação de usuários dentro de seu ambiente monitorado. Depois de decorrido um tempo sem nenhum movimento, tempo esse programável, o sensor de presença desliga a iluminação do recinto. Esse tipo de controle pode proporcionar grandes economias de energia, já que simula a ação de um usuário praticante do uso eficiente e racional de energia.

Os sensores de presença possuem dois tipos básicos de detecção: a detecção por radiação infravermelha e os que detectam por ultra-som. Os sensores sensíveis ao infravermelho, apresentado na Figura 40, detectam entre franjas verticais e horizontais criadas por uma lente posta sobre um semicondutor que reage à radiação infravermelha.

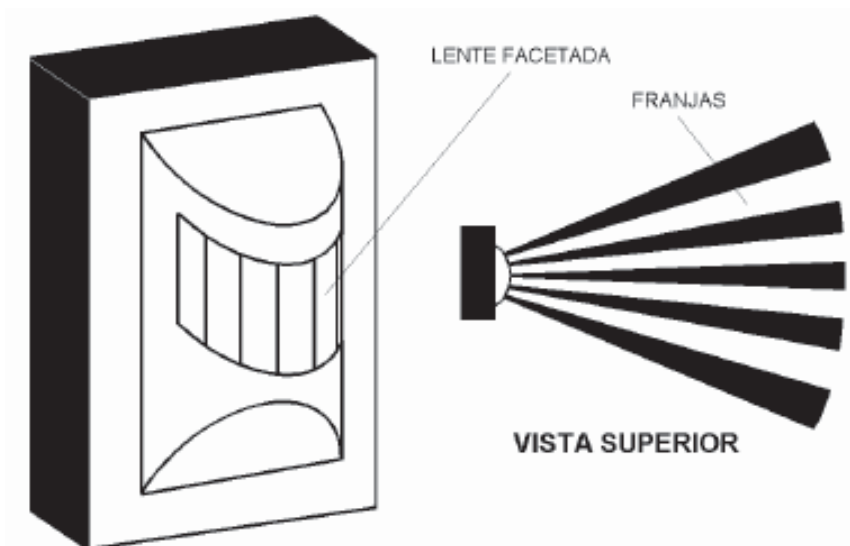


Figura 40 - Sensor de presença por radiação infravermelha
Fonte: ALVAREZ (1998)

Quando alguém se move entre duas franjas, o sensor gera um sinal elétrico que atua no circuito de controle, acendendo ou mantendo acesa a iluminação do ambiente. A qualidade da detecção depende diretamente da distância que o usuário se encontra

do sensor, detecta geralmente apenas movimento de um corpo inteiro a uma distância de 12 m, porém atinge uma alta confiabilidade em pequenos cômodos.

Porém, sua operação é comprometida quando existem objetos obstruindo seu campo de visão. Nessas situações, usam-se então o sensor de presença sensível ao ultra-som, ou mesmo detectores híbridos. O detector de ultra-som lança e monitora sinais sonoros de frequência entre 24 e 40 kHz, sendo refletidos em todo o ambiente, desde usuários até mobílias e paredes. Quando essas ondas refletidas são diferentes daquela que foi emitida pelo aparelho, é entendido como movimentação dentro do recinto, o que aciona o circuito de comando da iluminação.

A Tabela 9 representa valores da porcentagem de conservação de energia elétrica proporcionada pelos sensores de presença.

Tabela 9 - Potenciais de conservação dos sensores de presença

APLICAÇÃO	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO (%)
Escritórios	20 – 50
Banheiros	30 – 75
Corredores	30 – 40
Áreas de Estoque	45 – 65
Salas de Reunião	45 – 65
Depósitos	50 – 75

Fonte: ALVAREZ (1998)

5.3 Sensores de Luminosidade

Os sensores de luminosidade é um dispositivo que realiza a integração entre a luz artificial e a luz natural. Esse monitoramento da iluminação natural é feito através de uma fotocélula, que fornece uma intensidade de sinal elétrico de acordo com a iluminância recebida. Essa fotocélula é composta por um dispositivo chamado LDR (*Light Dependent Resistor*), que nada mais é que um resistor que varia sua resistência de acordo com a quantidade de radiação eletromagnética do espectro visível incidente sobre ele.

Esse sinal recebido pela fotocélula é comparado com um valor de referência ajustável, e sendo maior que o sinal de referência, significa que a luz natural recebida é

suficiente para iluminar o ambiente interno eficientemente, desligando ou mantendo desativada a iluminação artificial. O inverso desse sistema é usado, por exemplo, em iluminação pública, onde as luminárias dos postes são acionadas quando a luz natural não é mais suficiente para iluminar suficientemente o ambiente.

Componentes recentes permitem um controle analógico mais preciso do sistema de iluminação, possibilitando a integração de parcelas de iluminação natural recebida pelo ambiente com a iluminação artificial, otimizando a eficiência e diminuindo o consumo dos elementos de iluminação. Essa configuração, mostrada na Figura 41, também é utilizada eficientemente com compensar a depreciação luminosa devido à presença de pó ou envelhecimento das lâmpadas, em períodos sem manutenção.

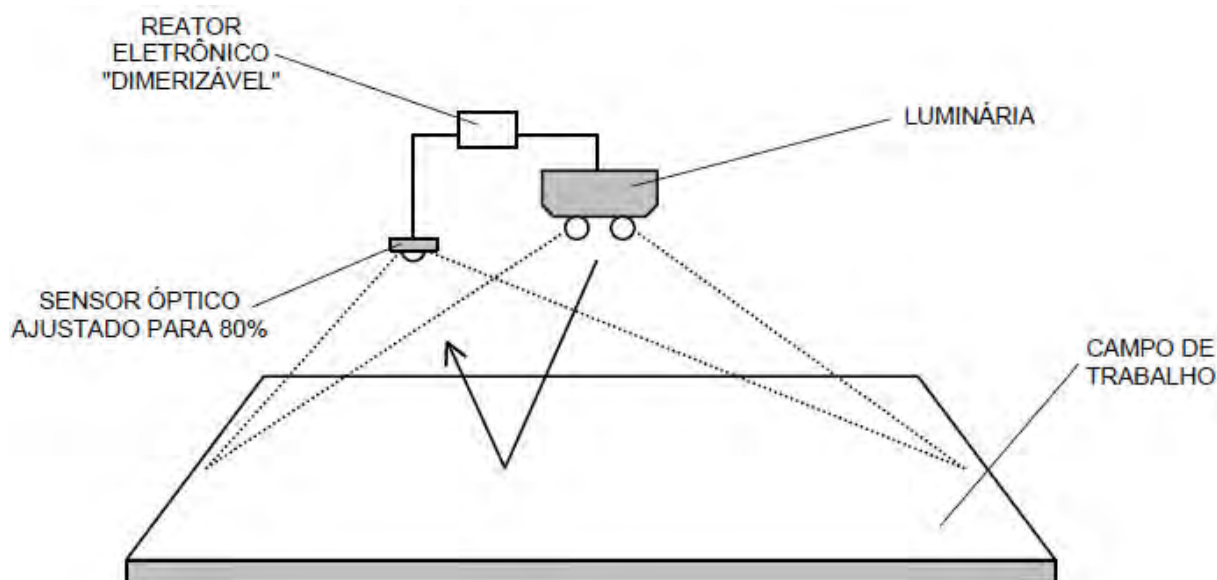


Figura 41 - Sistema de compensação da depreciação luminosa
 Fonte: ALVAREZ (1998)

Essa depreciação pode chegar a até 30 %, tanto para envelhecimento das lâmpadas quanto para presença de poeiras. Essa compensação é feita projetando o sistema de iluminação para fornecer, em máxima iluminação, 125 % do valor calculado do fluxo luminoso para o ambiente. O sensor de luminosidade então deve ser ajustado para 80 % de sua capacidade nominal, emitindo assim o fluxo luminoso projetado. Conforme a depreciação luminosa progride, o dispositivo de controle compensa a diminuição do fluxo luminoso, irradiando mais luz, mantendo o 100 % da iluminação desejada.

5.4 Resfriador Evaporativo

Também conhecido como ar-condicionado ecológico, é um aparelho que aspira o ar externo que atravessa um painel evaporativo composto de um material semelhante a uma esponja, sobre o qual água é circulada continuamente por uma pequena bomba. A água evaporada durante o ciclo é repostada por uma bóia, mantendo um nível constante no reservatório. Esse ar então resfriado é distribuído no ambiente interno através de um ventilador.

O equipamento, cujo esquema é demonstrado na Figura 42, proporciona um grande conforto térmico, baixando a temperatura ambiente em até 3°C, além de umidificar e purificar o ar interno, prevenindo contra doenças respiratórias. Por utilizar somente água em seu funcionamento, o seu custo de manutenção também é bem reduzido, assim como o ruído gerado pelo equipamento.

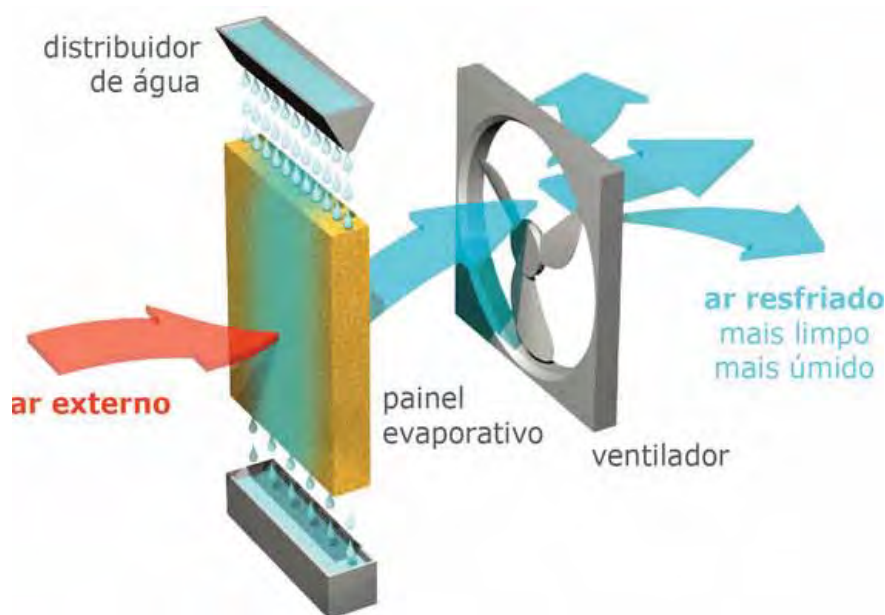


Figura 42 - Esquema de funcionamento de um ar-condicionado ecológico
Fonte: ROTIV (2011)

É considerado ecológico por não utilizar CFC, HCFC ou outros gases poluentes, e economiza até 90% de energia elétrica em relação a um aparelho de ar-condicionado convencional. O aparelho comum custa em torno de R\$ 1.100,00, enquanto que o aparelho ecológico gira em torno de R\$ 1.450,00, possuindo ainda um preço extra em relação à instalação da tubulação de água, porém esse investimento é facilmente recuperado, além da conservação do meio ambiente e da saúde do usuário.

6 CONCLUSÃO

As possibilidades de aplicação do conceito de sustentabilidade em uma edificação são cada vez mais numerosas, e a contribuição energética para esse tipo de construção possui elevada importância, seja na fase da geração da energia elétrica, como nas suas aplicações finais. E essas atitudes sustentáveis causam um grande impacto positivo para toda a sociedade.

No que diz respeito aos métodos alternativos de geração de energia elétrica, ainda não são muito atrativos financeiramente quando comparados aos métodos convencionais existentes, sendo normalmente utilizados em sistemas isolados, ou seja, onde a distribuição da energia elétrica ainda não é presente. Porém é uma área muito promissora e atualmente muito explorada, principalmente devido ao constante aumento da demanda e da criação de uma visão de respeito ao meio ambiente na sociedade. Com isso, espera-se que esses métodos renováveis de geração de energia elétrica atinjam uma taxa de custo-benefício que justifique e incentive a população a aderir a esses sistemas.

A redução do consumo elétrico dentro de uma edificação também é uma política amplamente difundida nos dias atuais, e já existem diferentes meios e equipamentos que auxiliam nesse propósito. Algumas propostas arquitetônicas, além de proporcionarem novas opções de estética e design, aproveitam aquilo que o ambiente externo tem a oferecer para eliminar a necessidade de um aparelho ou equipamento elétrico para o mesmo fim. A substituição dos equipamentos por outros, que cumpram o mesmo objetivo, porém com uma maior eficiência energética é uma atitude inteligente e de fácil aplicação. Aproveitando-se de novas tecnologias, é possível reduzir consideravelmente o consumo energético de uma edificação.

Uma edificação sustentável traz grandes vantagens para o usuário, para a sociedade e para o meio ambiente. Porém ainda falta uma maior conscientização e um maior investimento na área. No Brasil, devido ao seu grande potencial hídrico, e por consequência, de fontes naturais de geração de energia elétrica, isso ainda é de pouca preocupação das autoridades.

REFERÊNCIAS UTILIZADAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Ed.). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005.

AGUILAR, H. M. C. **Projeto de uma Edificação Energeticamente Autônoma e Eficiente para uso como Laboratório de Energias Renováveis e de Eficiência Energética**. 124 f. Trabalho Conclusão de Curso (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

ALVAREZ, A. L. M. **Uso Racional e Eficiente da Energia Elétrica: Metodologia para Determinação dos Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares**. 183 f. Trabalho Conclusão de Curso (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198: Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente**. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

BAIMA, M. C. **Segredo da Casa Auto-Suficiente: Arquitetura e Construção**. Brasília: Editora Abril, 2005.

BRITO, A. U. **Edificações Energeticamente Autônomas e Eficientes**. 89 f. Trabalho Conclusão de Curso (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

CÂMARA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Guia da Sustentabilidade na Construção**. Belo Horizonte: FIEMG, 2008.

CRESESB (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO). **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: CEPEL, 2001.

CRESESB (CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO). **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A., 2004.

EDIFIQUE: Quebra-sol ou Brise Soleil. Disponível em: <http://www.edifique.arq.br/nova_pagina_24.htm> Acesso em: 13/09/2011.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2010**. Rio de Janeiro: EPE, 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo Nacional de Energia na Rede por Classe – 1995-2010**. Rio de Janeiro: EPE. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Forms/AllItems.aspx>> Acesso em: 14/07/2011.

GARROCHO, J. S.; AMORIM, C. N. D. **Luz Natural e Projeto de Arquitetura: Estratégias para Iluminação Zenital em Centros de Compras** In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, I.. São Paulo, 2004.

GREEN, M. A. et al. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**. Sidney: John Wiley & Sons, Ltd., 2000.

JÚNIOR, F. D. M. **Viabilidade Técnica/Econômica para Produção de Energia Eólica, em Grande Escala, no Nordeste Brasileiro**. 53 f. Trabalho Conclusão de Curso (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

LIGHTING Design and Simulation Knowledgebase: Daylight Redirection Systems. Disponível em: <<http://www.schorsch.com/en/kbase/redir/interior.html>> Acesso em: 08/08/2011.

MACEDO, W. N. **Estudo de Sistemas de Geração de Eletricidade Utilizando as Energias Solar Fotovoltaica e Eólica.** 170 f. Trabalho Conclusão de Curso (Pós-Graduação) - Universidade Federal do Pará, Pará, 2002.

MARINOSKI, D. L.; SALAMONI, I. T.; RÜTHER, R. **Pré- Dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC.** In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, I. São Paulo, 2004.

MENDONÇA, P. J. F. A. U. **Habitar Sob Uma Segunda Pele: Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados.** 93 f. Trabalho Conclusão de Curso (Doutorado) - Universidade do Minho, Guimarães, 2005

NATURALUX: Solatube, Innovation in Daylighting. Disponível em: <<http://www.naturalux.com.br>> Acesso em: 09/08/2011.

PATTO, F. R. **Aquecedor Solar em Substituição ao Chuveiro Elétrico.** 60 f. Trabalho Conclusão de Curso (Pós-Graduação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PIRES, J. C. P.; OLIVEIRA, B. F.; **Gerador Eólico de Baixo Custo Para Uso Residencial.** In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE, III.. Vale do Itajaí, 2009.

PLANETA Sustentável: Lâmpadas Econômicas. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/lampadas-economicas-gasto-energia-sua-conta-luz-597380.shtml>> Acesso em: 13/09/2011.

PROCEL. **Avaliação do mercado de eficiência energética no Brasil.** Rio de Janeiro: PROCEL, 2007.

ROCHETA, V.; FARINHA, F. **Práticas de Projecto e Construtivas para a Construção Sustentável**. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSTRUÇÃO, III. Coimbra, 2007.

ROTIV: Climatizador Evaporativo. Disponível em:
<<http://rotiv.com.br/pt/produto/13/climatizador-evaporativo>> Acesso em: 09/08/2011.

SALA, L. G. **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. 87 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SANSON, D. M. **Projeto Básico de um Sistema Aerogerador**. 130 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Do Espírito Santo, Vitória, 2006.

SERRÃO, M. A. S. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para uma casa de veraneio em Pouso da Cajaíba - Paraty**. 99 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SOLATUBE: Para sua Casa. Disponível em: <<http://www.solatube.polirigido.com>>
Acesso em: 09/08/2011.

TAVARES, P. O. **Aplicação do Conceito de Sustentabilidade em Construções Residenciais**. 43 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

BARROSO-KRAUSE, C. et al. **Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica**. Rio de Janeiro: IBAM/Eletronbras/Procel, 2003.

BRIDGEWATER, A. **Renewable Energy for Your Home**. Ulysses Press, 2009.

CARLO, J. C. **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

GRAÇAS, J. A. **Residências Sustentáveis e sua Contribuição ao Meio Ambiente**. São Paulo, 2010.

HINRICH, R. A. **Energia e Meio Ambiente**. 4. ed. Estados Unidos: Cengage Learning, 2010.

IMAMURA, M. S.; HELM P.; PALZ W. **Photovoltaic System Technology: An European Handbook**, CEC, H.S. Stephens & Associates, 1992.

KUTZ, M. **Environmentally Conscious: Alternative Energy**. John Wiley & Sons, Ltd., 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de Educação**. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005.

NATIONAL CENTER FOR PHOTOVOLTAICS. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/ncpv/>> Acesso em: 15/09/2011.

PEREIRA, M. J. **Energia: Eficiência e Alternativas**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2009.

REIS, L. B. **DOS Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2005.

ROAF, S. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SORENSEN, B. **Renewable Energy: Its Physics Engineering Enviromental Impacts Economics and Planning**. 3.ed. Dinamarca: Elsevier Academic Press, 2004.

SCHMIDT, F. T. M. **Aplicação do Conceito de Sustentabilidade em uma Edificação Residencial Unifamiliar – Estudo de Caso**. 97 f. Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2009.