

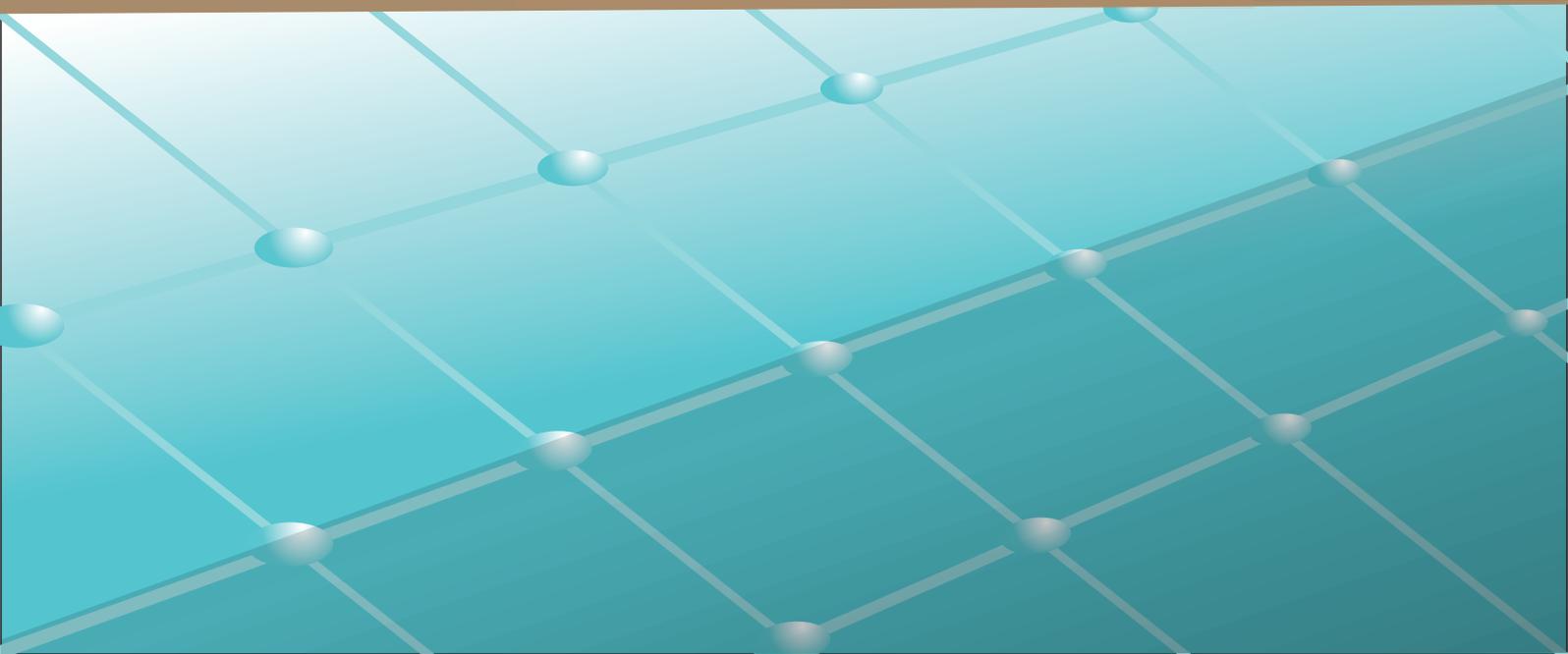


**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA  
FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS.**  
ESTUDO DE CASO DO FÓRUM DE PALMAS - TO



**ELEN OLIVEIRA VIANNA**

Orientadora: Professora Doutora Marta Adriana Bustos Romero





UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA  
EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS.**  
ESTUDO DE CASO DO FÓRUM DE PALMAS - TO

ELEN OLIVEIRA VIANNA  
Orientadora: Professora Doutora Marta Adriana Bustos Romero  
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Brasília, março de 2010

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

**INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS.**  
ESTUDO DE CASO DO FÓRUM DE PALMAS - TO

Elen Oliveira Vianna

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ARQUITETURA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

---

PROFESSORA DOUTORA MARTA ADRIANA BUSTOS ROMERO  
(ORIENTADORA)

---

PROFESSORA DOUTORA CLÁUDIA NAVES DAVID AMORIM  
(EXAMINADORA FAU/UNB)

---

PROFESSOR DOUTOR LEONARDO PINTO DE OLIVEIRA  
(EXAMINADOR UNICEUB)

BRASÍLIA, MARÇO DE 2010

## FICHA CATALOGRÁFICA:

VIANNA, ELEN OLIVEIRA

Integração de Tecnologia Fotovoltaica em Edifícios Públicos. Estudo de Caso do Fórum de Palmas – TO. [Distrito Federal] 2010.

143p., 297mm (PPG/FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2010).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação.

1. Energia

3. Energia Elétrica

Fotovoltaica

5. Edifícios Públicos.

2. Eficiência Energética

4. Sistemas Solares

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIANNA, E. O. (2010) Integração de Tecnologia Fotovoltaica em Edifícios Públicos. Estudo de Caso do Fórum de Palmas – TO. [Distrito Federal] 2010. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Elen Oliveira Vianna

TÍTULO: Integração de Tecnologia Fotovoltaica em Edifícios Públicos. Estudo de Caso do Fórum de Palmas – TO.

GRAU: Mestre

ANO: 2010

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva os outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Elen Oliveira Vianna

## **DEDICATÓRIA**

A Deus pela vida, a saúde, a força e a vontade de vencer ainda em condições desfavoráveis.

A memória do meu pai Telmo, que se foi em outubro de 2007 - quando eu já cursava este mestrado - pelo exemplo de integridade, honestidade e justiça. A memória da minha mãe Ledi, que se foi em abril de 1992, pelos exemplos de amor, respeito e dedicação, deixados em nosso curto período de convivência.

Ao meu esposo Marcelino, pela compreensão e incentivo em meios as dificuldades. Aos meus filhos José Davi (que nasceu em novembro de 2004) e José Daniel (que nasceu em abril de 2009) por me fazerem entender o verdadeiro sentido da vida.

Aos meus familiares em geral e em especial ao meu irmão Evandro, esposa e filhos, por me acolherem em sua casa durante o curso, rodeando-me com carinho, suprimentos e atenção.

Aos demais amigos e conhecidos que porventura também me hospedaram em seus lares com o propósito deste mestrado.

À minha querida orientadora Marta Adriana Bustos Romero, por seu exemplo profissional e ético, e também por seus valores enquanto ser humano. Obrigada pela compreensão e dedicação a este trabalho.

Ao professor Ricardo Ruther (UFSC) e suas orientandas Isis e Isabel Salamoni, pelo interesse em colaborar com a pesquisa acerca de Edifícios Solares Fotovoltaicos. Aos colegas engenheiros eletricitas do IF-TO: Daniel Petean (agora no IF-SP), Fábio, Serginho e demais incentivadores dos estudos quanto à Energia Solar Fotovoltaica.

Aos colegas Caio, Giuliana, Júlia, Ana Zerbini, Ana Nicoletti, Lorena e os que porventura eu tenha me esquecido de citar, que direta ou indiretamente fizeram parte deste momento tão especial de minha vida, o meu muito obrigada.

## **AGRADECIMENTOS**

O meu sincero agradecimento a todos aqueles, que contribuíram direta ou indiretamente, tornando possível a realização deste estudo e a todos os docentes do PPG/FAU, pela oportunidade que me foi dada, e em especial à minha orientadora Marta Adriana Bustos Romero e aos professores Cláudia Amorim e Márcio Buzar.

A todos os funcionários da Biblioteca (CEDIARTE), dos laboratórios de informática (Valmor) e dos Serviços Gerais da FAU e da Secretaria da Pós-Graduação (Raquel, João, Junior) que sempre atenderam a todas as minhas solicitações, com carinho e dedicação.

As diversas instituições que pelo apoio possibilitaram a realização deste trabalho, assim como o Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins, e a Rede CELTINS, pelo fornecimento do Projeto Arquitetônico e os dados de consumo energético do edifício objeto de estudo deste trabalho; ao CRESESB e ao LABEEE (Universidade Federal de Santa Catarina), pelos dados de incidência solar no Brasil e demais informações pertinentes a pesquisa.

## RESUMO

A questão energética acompanha a história da humanidade e atualmente tem gerado uma polêmica de caráter multidisciplinar, no interior da qual situa-se o tema central deste estudo: o enfoque ao alto consumo de energia elétrica em edifícios públicos. A abordagem vai, então, de encontro à sustentabilidade na arquitetura e a utilização de energia solar fotovoltaica como tecnologia que alia fontes alternativas renováveis de energia integradas a edifícios conectados à rede elétrica urbana. O presente trabalho direciona-se à desmistificação da utilização de fontes alternativas de energia aliadas à produção arquitetônica contemporânea. Em um primeiro momento contextualiza-se a sustentabilidade, a questão energética mundial e a utilização de sistemas solares ativos na arquitetura e em seguida, o principal objetivo é dimensionar um Sistema Fotovoltaico integrado a um edifício público – Fórum de Palmas – TO. Para isto foi necessário avaliar a eficiência energética do edifício; e neste sentido foi considerado o consumo de energia nos denominados horários de pico e de ponta. Posteriormente, o estudo buscou testar diversas possibilidades de painéis fotovoltaicos, analisando qual o melhor desempenho, em função das características locais como: a orientação solar, a latitude, a média mensal anual de radiação solar. Foi feita uma simulação de um sistema solar fotovoltaico ideal com os devidos cálculos de seu rendimento, a fim de proporcionar uma compensação do gasto energético do edifício – ou parte dele - através da utilização da fonte alternativa em questão. O objetivo é desmistificar a geração de energia elétrica a partir da utilização da energia solar, avaliando ao longo do estudo, a contribuição do sistema ao consumo da energia elétrica convencional. Finalmente, realizou-se a análise econômica parcial do sistema, vislumbrando-se assim, caracterizar o potencial de contribuição do Sistema Solar Fotovoltaico integrado a um edifício público - o Fórum de Palmas – TO - conectado à rede de energia elétrica, colaborando com a sua popularização no contexto da arquitetura sustentável.

**Palavras Chave:** Energia, Eficiência Energética, Energia Elétrica, Sistemas Solares Fotovoltaicos, Edifícios Públicos.

## ABSTRACT

The energy issue accompanies the history of mankind and nowadays has triggered a multidisciplinary debate. Within this discussion, there is the main topic of this study: the focus on the high electric power consumption in public buildings.

The approach is in consonance with the sustainability of architecture and the use of solar photovoltaic energy as a technological tool that brings into alliance the renewable alternative energy sources and the buildings which are connected to the urban electric power lines. This study aims to demystify the use of alternative energy sources in conjunction with the contemporary architectonic production.

In the first part the sustainability, the world energy issue and the use of active solar systems in architecture were contextualized and then, the main objective was to measure an Integrated Photovoltaic System in a public building- the Court of Justice in Palmas, Tocantins. For that reason, it was necessary to evaluate the energy efficiency in the building and to achieve that objective the energy consumption in the so-called rush hours and the 19:00 to 21:00 period of time were considered.

Subsequently, the study tested several possibilities of photovoltaic panels and analyzed which one had the best performance, according to the local characteristic such as: the solar orientation, the latitude, the monthly and annual solar radiation average. There has been done a simulation of an ideal photovoltaic solar system with the proper calculation of its productivity, in order to provide a compensation to the energy consumption of the building- or a part of it- through the use of the alternative energy source in question.

The objective is to demystify the generation of electric power from the use of solar energy and thus evaluating the contribution of the system to the conventional electric energy.

Finally, a partial economic analysis of the system was carried out, driving to characterize the contribution potential of the Integrated Photovoltaic Solar system in a public building- the Court of Justice in Palmas, Tocantins, connected to the electric power lines and therefore collaborating to its popularization in the sustainable architecture context.

**Keywords:** Energy, energetic efficiency, electric energy, photovoltaic solar systems, public buildings.

# SUMÁRIO

## INTRODUÇÃO

<b>1.</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE</b>	<b>28</b>
1.1.	O tripé: ambiental, social e econômico	33
1.2.	O novo paradigma	34
1.3.	Escolha de materiais construtivos	35
1.4.	O papel do arquiteto	38
1.5.	O papel da academia	39
1.6.	Fontes limpas e renováveis de energia e a arquitetura sustentável	40
1.7.	A energia solar e a sustentabilidade dos edifícios	43
	Conclusões	45
<b>2.</b>	<b>O CONTEXTO DA ENERGIA</b>	<b>46</b>
2.1	Aspectos Gerais	47
2.2	A história da energia	48
2.3	Fontes renováveis de energia	58
2.4	Energia solar	59
2.5	Clima, arquitetura e consumo de energia em edifícios públicos	60
2.5.1	Recomendações	61
	Conclusões	62
<b>3.</b>	<b>ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA</b>	<b>64</b>
3.1	Aspectos Gerais	65
3.2	A experiência internacional com energia solar fotovoltaica	67
3.2.1	A experiência do Japão	68
3.2.2	A experiência da Alemanha	69
3.3	A experiência do Brasil	69
3.4	O contexto da utilização de fontes renováveis de energia	70
3.4.1	A eficiência da informação	71
3.4.2	Planejamento integrado dos recursos – PIR	71
3.4.3	A curva de aprendizado	72
3.4.4	A agência internacional de eficiência energética e energias renováveis	72
3.5	As barreiras para a utilização de fontes renováveis de energia	73
3.5.1	As políticas e suas barreiras	73
3.5.2	Barreira de tecnologia	74
3.5.3	Barreiras econômicas	75
3.5.4	Barreiras políticas e de informação	76
3.6	A era da energia solar ativa e os exemplos mundiais	78
3.7	Aspectos tecnológicos e energético-ambientais	88

3.7.1	Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações e rede urbana	88
3.8	A pesquisa quanto à energia solar fotovoltaica no Brasil	90
3.9	Princípios e tecnologias fotovoltaicas disponíveis	93
3.9.1	Silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si)	94
3.9.2	Silício amorfo hidrogenado (a-Si)	95
3.9.3	Telureto de cádmio (CdTe)	97
3.9.4	Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS):	97
3.9.5	HIT	98
	Conclusões	99
4.	<b>METODOLOGIA</b>	102
5.	<b>DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO</b>	104
5.0	Coleta e levantamento de dados	105
5.1	Cálculo da radiação e geração solar fotovoltaica	105
5.2	Análise do potencial de geração fotovoltaica no edifício do Fórum de Palmas – TO	105
5.3	Análise da viabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos em edifícios públicos	109
5.4	Análise dos resultados obtidos	132
6.	<b>CONCLUSÕES</b>	134
7.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	138

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – SÍNTESE DOS RESULTADOS – ANO BASE 2007. Fonte: Balanço Energético Nacional de 2008.	20
Tabela 02 – Consumo de energia elétrica na UTFPR. Fonte: Junior, Jair Urbanetz. 2006.	23
Tabela 03 – Consumo de energia elétrica no CREA-SC. Fonte: SALAMONI, 2004b,	23
Tabela 04 – Comparativo do consumo de energia em edifícios públicos de outras localidades no Brasil. Adaptado de JUNIOR, 2006, pg. 09 e SALAMONI, 2004b,	24
Tabela 05 – Estimativa de geração FV em diversas cidades do mundo. Fonte: Burgos et. al, 2002,	82
Tabela 06 – Estimativa de geração FV em Palmas – TO, Brasil.	83
Tabela 07 – Classificação dos sistemas de captação fotovoltaicos. Adaptado de Burgos et. al, 2002,	84
Tabela 08 – Exemplos europeus de Integração de energia solar fotovoltaica. Adaptado de Burgos et. al, 2002,	86
Tabela 09 – Exemplos europeus de Integração de energia solar fotovoltaica. Produção de energia mensal nos anos de 1999 e 2000. Adaptado de Burgos et. al, 2002,	87
Tabela 10 – Área das fachadas do Fórum de Palmas – TO.	111
Tabela 11 – Área de coberturas do Fórum de Palmas – TO.	111
Tabela 12 – Correção dos Azimutes das Fachadas do edifício do Fórum de Palmas - TO.	112
Tabela 13 - Consumo médio mensal de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2006, 2007 e 2008 fora de ponta. Fonte: REDE CELTINS, 2009.	114
Tabela 14 - Modelos de painéis utilizados. Fonte: PHOTON INTERNATIONAL, 2003 apud SALAMONI, 2004b,	119
Tabela 15 – Irradiação solar mensal em Palmas. Fonte: Labsolar / UFSC.	119
Tabela 16 – Radiação x incidência solar.	120
Tabela 17 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2006.	123
Tabela 18 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2007.	123
Tabela 19 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2008.	124
Tabela 20 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2006.	127
Tabela 21 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2007.	127
Tabela 22 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2008.	128
Tabela 23 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2006. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	131
Tabela 24 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2007. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	131
Tabela 25 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2008. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	131

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO FÓRUM DE PALMAS – TO EM 2007. Gráfico elaborado no Excel com os dados fornecidos pela REDE CELTINS.	22
Gráfico 02 – Variação no consumo médio mensal ano 2006.	114
Gráfico 03 – Variação no consumo médio mensal ano 2007.	115
Gráfico 04 – Variação no consumo médio mensal ano 2008.	115
Gráfico 05 – Irradiação Solar mensal em Palmas. LABSOLAR – UFSC.	119
Gráfico 06 – Irradiação Inclinação X Radiação Solar	120
Gráfico 07 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2006.	124
Gráfico 08 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2007.	125
Gráfico 09 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2008.	125
Gráfico 10 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2006. Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.	128
Gráfico 11 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2007. Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.	129
Gráfico 12 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2008. Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.	129

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Casa com painéis de energia solar (tirado do Le Petit Inventeur, Paris, 1929). Fonte: Wolfgang Palz, 1995. Pg. 203.	21
Figura 02 - FACHADAS CREA – SC. SALAMONI, 2004b, pg. 03.	24
Figura 03 - BLOCOS A, B, C e D da UTFPR. JUNIOR, 2006. Pg. 11.	24
Figura 04 – VISTA EXTERNA DO EDIFÍCIO FÓRUM DE PALMAS – TO. Acervo particular.	25
Figura 05 – IMAGEM AÉREA DO FÓRUM DE PALMAS – TO. Fonte: <a href="http://www.googleearth.com.br">www.googleearth.com.br</a> . Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.	25
Figura 06 – Gráfico da energia. Fonte: Hémerly (1993). Pg. 435.	47
Figura 07 - UNIVERSIDADE DE SOPHIA EM TÓKIO. Fonte: Behling, 2002, pg. 209.	79
Figura 08 – PAVILHÃO NICOLAS GRIMSHAW. Fonte: Behling, 2002, pg. 220.	79
Figura 09 - FACHADA Flachglas AG. Fonte: Behling, 2002, pg. 220.	79
Figura 10 – BIBLIOTECA POMPEU FABRA. Fonte: Behling, 2002, pg.221.	79
Figura 11 – Sanyo Solar Ark. <a href="http://obviousmag.org/archives/2007/12/sanyo_solar_ark.html">obviousmag.org/archives/2007/12/sanyo_solar_ark.html</a> .	80
Figura 12 – EDIFÍCIO DA DEC. Fonte: Behling, 2002, pg.221.	80
Figura 13 – RESIDÊNCIA NA ALEMANHA. Fonte: Ruther, 2004, pg. 29.	80
Figura 14 – PROTÓTIPO DE JANELA EM RÓTULA COM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS INTEGRADAS, DESENVOLVIDO POR NORMAN FOSTER & PARTNERS. Fonte: Behling, 2002, pg.221.	81
Figura 15 – Exemplos europeus de Integração de energia solar FV. Adaptado de Burgos et. al, 2002, pg. 65 a 94.	85
Figura 16 – Esquema de um Sistema Fotovoltaico interligado a rede elétrica. Adaptado de Rüther, 2004, pg. 49.	89
Figura 17 - Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e conectados à rede elétrica pública. Ruther, 2004, pg. 40.	89
Figura 18 - CENTRO DE CONVIVÊNCIA DA UFSC. Acervo Particular.	90
Figura 19 - IMAGENS INTERNAS DA CASA SOLAR EFICIENTE – LABEEE. Acervo Particular.	91
Figura 20 - EQUIPAMENTOS DE SOLARIMETRIA DISPOSTOS NA COBERTURA DO LABSOLAR. Acervo Particular.	91

Figura 21 - EQUIPAMENTOS DISPOSTOS NA COBERTURA DO LABSOLAR. Acervo Particular.	92
Figura 22 - VISTA DOS PAINÉIS FV NA COBERTURA. CENTRO DE CONVIVÊNCIA DA UFSC. Acervo Particular.	92
Figura 23 – CASA SOLAR EFICIENTE. Fonte: LABEEE.	92
Figura 24 - CASA SOLAR EFICIENTE – LABEEE. Acervo Particular.	93
Figura 25 - Silício monocristalino (c-Si). Fonte: . 87	94
Figura 26 - Silício policristalino (p-Si). Fonte: <a href="http://www.kyocerasolar.com.br">www.kyocerasolar.com.br</a> .	95
Figura 27– Silício amorfo (a-Si) depositado sobre vidro. Fonte: RWE Solar GmbH.	95
Figura 28 - Silício amorfo (a-Si) depositado sobre material flexível. Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 25.	96
Figura 29 – Telureto de cádmio (CdTe) depositado sobre vidro. Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 26.	97
Figura 30 – Disseleneto de cobre, gálio e Índio (CIGS). Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 27.	98
Figura 31 - Entrada do Fórum de Palmas – TO. Acervo particular.	105
Figura 32 – Planta do Pavimento Térreo. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	106
Figura 33 – Planta do Primeiro Pavimento. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	107
Figura 34 – Planta do Segundo Pavimento. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	108
Figura 35 – Planta de Cobertura do edifício. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	109
Figura 36 – Corte AA. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	110
Figura 37 – Corte BB. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	110
Figura 38 – Fachada Frontal. Esc.: 1:750. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	110
Figura 39 – Imagem aérea do edifício. Fonte: <a href="http://www.googleearth.com.br">www.googleearth.com.br</a> . Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.	111
Figura 40 – Azimutes. Fonte: Wolfgang Palz, 1995. Pg. 178.	112
Figura 41 – Planta de Localização. Esc.: 1:500. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	113
Figura 42 - Atlas de Radiação Solar do Brasil. Fonte: Pereira et. al, 2006,	

apud Ruther, 2004, pg. 68.	116
Figura 43 – Interface do usuário - 1. Fonte: UFRGS, 2007.	116
Figura 44 – Interface do usuário - 2. Fonte: UFRGS, 2007.	117
Figura 45 – Interface do usuário - 3. Fonte: UFRGS, 2007.	117
Figura 46 – Interface do usuário - 4. Fonte: UFRGS, 2007.	118
Figura 47 – Esquema de um Sistema Fotovoltaico interligado a rede elétrica. Adaptado de Rüther, 2004, pg. 49.	118
Figura 48 – Planta de Cobertura. Esc.: 1:500. Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e considerando impermeabilização da laje e retirada do telhado. Ocupação de 49,68% da área. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	122
Figura 49 – Planta de Cobertura. Esc.: 1:500. Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e sem a retirada das telhas. Ocupação de 13,66% da área. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.	126

## LISTA DE NOMECLATURAS E ABREVIACÕES

ACV - Análise do Ciclo da Vida

ANEEL - Agencia Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BREEAM - *Building Research Establishment Environmental Assessment*

*Method* - Método de Análise Ambiental do Centro de Investigação da Construção

CB SOLAR - Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica

CELTINS - Centrais Elétricas do Tocantins

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito

FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

FV - Fotovoltaico

GEDAE - Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas

GEFRE - Grupo de Gestão Energética para o Desenvolvimento Sustentável

LABEEE - Laboratório de Estudos em Eficiência Energética

LABSOLAR - Laboratório de Energia Solar

LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design Programme* -

Programa de Liderança para a Energia e o Desenho Ambiental

MME - Ministério de Minas e Energia

NT SOLAR - Núcleo Tecnológico em Energia Solar

PPG - Programa de Pós-Graduação

PRODEEM - Programa Nacional de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

READ - *Renewable Energies in Architecture and Design*

RIBA - Instituto Real de Arquitetos Britânicos

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UE - União Européia

UnB - Universidade de Brasília

## INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho volta-se para as questões energéticas, focando o alto consumo de energia elétrica em edifícios públicos, vislumbrando-se a divulgação das possibilidades de tecnologias de fontes alternativas renováveis para que sejam amplamente utilizadas. Aborda-se a captação de energia solar para transformação em energia elétrica, que em uma proposta mais ampla, poderá ser utilizada para iluminação, eletrodomésticos, chuveiro e até mesmo para condicionamento do ar.

O petróleo, esgotável e poluente, constitui hoje a matriz energética mundial. Já no Brasil a energia elétrica é proveniente predominantemente das hidroelétricas, de alto impacto não só ambiental, mas também social. A crescente demanda por energia em nosso país tem gerado os chamados “apagões”, os quais têm impulsionado o governo, as concessionárias de energia e analistas a estudarem o setor elétrico no Brasil. Surge a necessidade da racionalização e a estratégia do aumento da eficiência energética contra as crises do setor elétrico. Conclui-se que é mais barato economizar um kWh que gerá-lo. Investimentos em tecnologias aplicadas a fontes alternativas de energia surgem como soluções para os problemas atuais. Neste contexto apresenta-se a geração de energia em Sistemas Solares Fotovoltaicos, como tecnologia ecológica e fonte promissora, não poluente, silenciosa e sustentável; sendo amplamente utilizada nos países industrializados.

Atualmente a utilização de energia solar é comum no Brasil para aquecimento de água<sup>1</sup>, e não a fotovoltaica, como meio de geração de energia elétrica. A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esse, destacam-se os efeitos fotovoltaicos. (...) os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio de uso de células solares (PEREIRA, et al. 2006). A Energia Solar Fotovoltaica (FV) é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico). O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. A célula fotovoltaica é a unidade fundamental do processo de conversão.

De maneira geral, o custo dos sistemas fotovoltaicos ainda é alto no mundo todo. Os equipamentos para captação de energia solar e o próprio painel fotovoltaico não são produzidos comercialmente no Brasil ainda, embora existam estudos sobre a possibilidade, o que faz o custo de implantação do sistema ser elevado. Apesar disto, entendemos que a pesquisa deve avançar tornando a produção nacional destes equipamentos uma consequência.

Na Europa a utilização cotidiana de energia solar é realidade e sistemas fotovoltaicos estão disponíveis há 30 anos. Comumente são sistemas residenciais e integrados à rede elétrica, que eliminam o uso de baterias. A legislação relacionada ao assunto nestes países prevê, inclusive, que se a unidade consumidora produzir energia excedente, a concessionária poderá comprá-la. Nos sistemas ligados à rede há uma tarifa prêmio no preço da energia. A energia fotovoltaica produzida em uma unidade consumidora, que não seja utilizada (excedente) é vendida para a rede a um valor superior ao da energia que é consumida (proveniente da mesma rede), o que incentiva a produção.

Os Sistemas Fotovoltaicos têm sido mais utilizados onde o custo ambiental da energia elétrica convencional é alto, como na Europa, Japão e EUA, por exemplo, onde a matriz energética é o carvão, o gás mineral e a energia nuclear.

<sup>1</sup> Alguns avanços podem ser observados em termos de legislação, a qual esboça a preocupação com a causa em alguns pontos estratégicos do país, como em São Paulo, por exemplo, que recentemente aprovou a inserção da obrigatoriedade do uso de equipamentos de aquecimento solar térmico pelas edificações no Código de Obras Municipal. Já em relação à utilização de energia Fotovoltaica ligada à rede, embora pouco difundida, temos a Resolução ANEEL 112, de 18 de maio de 1999 – que fala sobre os requisitos necessários a autorização de implantação de Fontes Alternativas de Energia (SALAMONI, 2004b). Legislação específica para São Paulo.

A produção mundial de painéis fotovoltaicos, que convertem a luz solar em eletricidade, cresceu 51% em 2007, para 3.733 MW, segundo novo estudo divulgado pelo World Wacht Institute (WWI) e feito em parceria com o Prometheus Institute. A capacidade instalada cresceu 2.935 MW, acumulando 9.740 MW de geração em todo o mundo. De acordo com WWI, nos últimos cinco anos a produção de painéis cresceu sete vezes e a capacidade acumulada, quintuplicou (CANAZIO, 2008).

Os painéis fotovoltaicos são feitos de silício, segundo elemento mais abundante no planeta (HAMMOND, 1992 apud SALAMONI, 2004a). Contudo, outros elementos vêm sendo pesquisados com a finalidade de utilização da energia solar, como é o caso da tecnologia nanosolar e da solar térmica como a usina PS10 na Espanha, movida pelo calor da energia solar.

Os Sistemas Solares Fotovoltaicos podem contribuir nos centros urbanos por produzirem energia limpa e estarem próximos ao consumidor, reduzindo problemas de transmissão e distribuição, comuns à utilização da energia convencional. Os sistemas surgiram inicialmente com grande porte, com objetivo de resolver os problemas de geração e distribuição da energia convencional; e a partir do avanço do mercado eletrônico, estes deram espaço a sistemas menores, que hoje consolidam 50% do mercado fotovoltaico internacional (ATHANASIA apud SALAMONI, 2004a). Estes sistemas menores, também ligados à rede elétrica urbana, integram-se a fachadas e telhados das edificações, de forma centralizada em uma usina geradora. Tais sistemas, junto ao ponto de consumo, têm a vantagem da redução do pico de demanda e complementaridade com a energia da hidroelétrica, reduzindo também o impacto ambiental (SALAMONI, 2004a).

### **Justificativa da escolha do tema**

O aprofundamento acerca da energia solar fotovoltaica como forma de disseminar o conhecimento e buscar o barateamento de tecnologias justificaria a escolha do tema.

Considerando o conceito da sustentabilidade, linha de pesquisa a qual inclui-se o presente trabalho, outros motivos para o estudo de fontes renováveis de energia devem ser destacados, como por exemplo, os estudos comprovando que o advento da energia elétrica trouxe impactos ambientais em diversas áreas. Se por um lado energia elétrica significou desenvolvimento tecnológico, por outro agrediu a natureza e trouxe acomodação aos projetistas, que se despreocuparam com questões básicas de ventilação e iluminação naturais (MASCARÓ, 1991).

Para justificar o estudo de fontes renováveis de energia é válido considerar ainda a sustentabilidade ambiental, tanto no que se refere à utilização dos recursos naturais – que no caso das usinas hidrelétricas tem que desviar e ou represar os cursos de água que é um recurso finito da natureza, para assim gerar energia – quanto na produção dos espaços edificados – que de maneira geral, no contexto local do objeto estudo de caso, tendem a não levar em consideração os aspectos naturais de temperatura, umidade, ventos e incidência solar, pois contam com recursos artificiais de iluminação e climatização ambientes.

Os cenários apresentados pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), responsável pela elaboração do Balanço Energético Nacional (BEN), sinalizam para um equilíbrio precário entre oferta e demanda de energia em 2010 (PIRES, 2006).

O Brasil necessita aumentar a capacidade de produção energética. O Balanço Energético Nacional (BEN – 2008) ano base 2007 (Tab. 01), informa que o consumo de energia elétrica do Brasil (412,6 TWh) correspondeu a 93,40% da produção (441,8

TWh), o que indica perigo. A qualquer momento pode haver uma falha no sistema, como na época dos apagões, e a margem de produção excedente é pequena.

**Tabela 01 – SÍNTESE DOS RESULTADOS – ANO BASE 2007.**

Principais Parâmetros	Unidade	2007	2006	%
Produção de Petróleo	10 <sup>3</sup> bbl/dia	1.832,7	1.809,1	1,3
Produção de Gás Natural		49,7	48,5	2,5
→ Geração de Energia Elétrica		441,8	419,5	5,3
Consumo de Combustíveis Líquidos		266,5	248,4	7,3
→ Consumo de Energia Elétrica		412,6	390,0	5,8
Oferta de Energia		239,4	225,9	5,9
Oferta de Energia Elétrica		480,6	459,9	4,5
População		184,0	181,3	1,5
PIB		1.313,6	1.246,1	5,4

Principais Indicadores	Unidade	2007	2006	%
PIB <i>per Capita</i>	10 <sup>3</sup> US\$/hab	7.140	6.872	3,9
OIE <i>per Capita</i>	tep/hab	1,301	1,246	4,4
OIE por PIB (2007)	tep/10 <sup>3</sup> US\$	0,182	0,181	0,5
OIEE <i>per Capita</i>	kWh/hab	2,162	2.612	11,7
OIEE por PIB (2007)	kWh/10 <sup>3</sup> US\$	366	366	-0,9

<sup>1</sup>bbl = barril; inclui líquidos de gás natural.

<sup>2</sup>Inclui autoprodução.

<sup>3</sup>Estimativa do IBGE para a população residente em 1º de julho de cada ano.

<sup>4</sup>PIB divulgado pelo IBGE convertido para US\$ pela taxa de câmbio média de 2007.

(Banco Central: US\$ 1,00= R\$ 1,9479)

**Fonte: Balanço Energético Nacional de 2008. Pg.11.**

O indiscutível potencial natural de energia solar precisa ser explorado de maneira sustentável e não ignorado como ocorre atualmente nos países não industrializados. Neste sentido, a Energia Solar Fotovoltaica apresenta-se como alternativa sustentável e de atuação coadjuvante. Considerando que a energia solar que incide diariamente na superfície da terra é maior que a demanda do total de habitantes, a fonte do sistema solar fotovoltaico é inesgotável<sup>2</sup>.

O lago de Itaipu cobre uma superfície de 1350 km<sup>2</sup>, para uma potência instalada de 12,6GW e uma produção anual de energia elétrica em torno de 80 TWh (Balanço Energético Nacional, 2002). Cobrindo uma área equivalente com um sistema solar fotovoltaico de filmes finos com eficiência de conversão em torno de 7%, a potência instalada seria de 94,5 GWp e, em função da disponibilidade de energia solar na região do lago de Itaipu (de acordo com o Atlas Fotovoltaico do Brasil) a quantidade anual de energia elétrica fotogerada seria em torno de 160 TWh. Em 2002 o Brasil consumiu 321,5TWh de energia elétrica (RUTHER, 2004).

O Brasil tem baixas latitudes (10o S no Estado do Tocantins e 27o S em Santa Catarina, por exemplo) e altos níveis de radiação<sup>3</sup>. Além de baixas densidades de ocupação do solo em relação aos países industrializados, o que traduz áreas livres para a tecnologia e baixo percentual de sombreamento por edificações vizinhas<sup>4</sup>. Temos melhores condições físicas e climáticas para o sistema fotovoltaico (SALAMONI, 2004b), na região centro-norte, principalmente.

<sup>2</sup>O fluxo solar, energia radiante ou potência instantânea total que incide sobre a terra é da ordem de 1,75 x 10<sup>17</sup> W (raio da terra = 6,4 x 10<sup>6</sup>m; área da seção reta da terra = 1,3 x 10<sup>14</sup>m<sup>2</sup>; GAMO = 1,353 W/m<sup>2</sup>). Por outro lado, a demanda energética mundial é da ordem de 3,4 x 10<sup>6</sup> Wh/ano. Assim, podemos calcular o tempo necessário para que incida sobre a terra uma quantidade de energia solar equivalente à demanda energética mundial anual: t = (3,4 x 10<sup>16</sup> x 60) / 1,75 x 10<sup>17</sup> (RUTHER, 2004).

<sup>3</sup>A máxima de 6,5 kWh/m<sup>2</sup> na Bahia e a mínima de 4,25 kWh/m<sup>2</sup> em Santa Catarina (RADIASOL).

<sup>4</sup>Na maioria das cidades brasileira, com exceção das grandes capitais e de Metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro.

<sup>5</sup>As baterias devem ser trocadas a cada 5 anos em média, e os painéis duram de 25 a 30 anos. Então o custo é reduzido não tanto na manutenção, mas na reposição das baterias que, dependendo do arranjo, se tornam mais caras que os próprios painéis.

A estrutura central dos sistemas convencionais de geração de energia torna o consumidor vulnerável a blackouts energéticos (SALAMONI, 2004a). O sistema Fotovoltaico pode ser instalado junto ao ponto de consumo, minimizando as perdas por transmissão e distribuição. Dispensam acumuladores por serem ligados à rede elétrica urbana, reduzindo o custo de instalação e manutenção<sup>5</sup>.

É importante conhecer a capacidade de geração de um conjunto fotovoltaico quando a demanda aumenta. Este conjunto pode não só gerar energia, mas aumentar a capacidade da rede elétrica local (SALAMONI, 2004a).

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (4200-6700 Wh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 Wh/m<sup>2</sup>), França (900-1650 Wh/m<sup>2</sup>), e Espanha (1200-1850 Wh/m<sup>2</sup>), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (PEREIRA et al., 2006). Face à abundante radiação solar no Brasil e a apropriação destes dados nos principais pontos do país, a pesquisa implica em inserir o Centro-Norte no contexto das discussões quanto à utilização de fontes alternativas de energia. Implica ainda, em abordar a eficiência energética em um Edifício Público no Tocantins, que é o Fórum de Palmas, e a busca de soluções tecnológicas considerando a somatória do consumo de energia elétrica com iluminação e climatização entre outros. E finalmente, busca a análise da possível integração da tecnologia fotovoltaica neste edifício e o potencial de geração de energia através do mesmo.

Os denominados edifícios solares fotovoltaicos proporcionam a apropriação da área construída com a geração junto ao local de consumo, reduzindo os problemas de perdas e alto custo da transmissão e distribuição comuns à geração convencional de energia elétrica proveniente de usinas hidrelétricas, também construídas a altos custos ambientais e para os cofres públicos. Os edifícios solares FV vêm sendo estudados nem tão recentemente assim, sendo que antes mesmo da década de 30 cogitava-se na França a integração dos painéis FV em habitações (Fig. 01).

Programas de governo caminham no sentido da utilização de fontes alternativas de energia<sup>6</sup>, conferindo um perfil sustentável a gestão pública; e mais do que isto, sendo precursores da utilização de fontes alternativas integradas a edifícios e contribuindo com a popularização da tecnologia Fotovoltaica.

A curva de demanda de energia elétrica varia conforme o consumidor. Nos sistemas fotovoltaicos integrados a edificações comerciais ou públicas, a geração de energia é concomitante ao da demanda nos horários comerciais. Tal característica justifica além do tema desta dissertação, também a escolha do objeto de estudo, sendo que a busca fundamentalmente é avaliar o potencial de geração solar



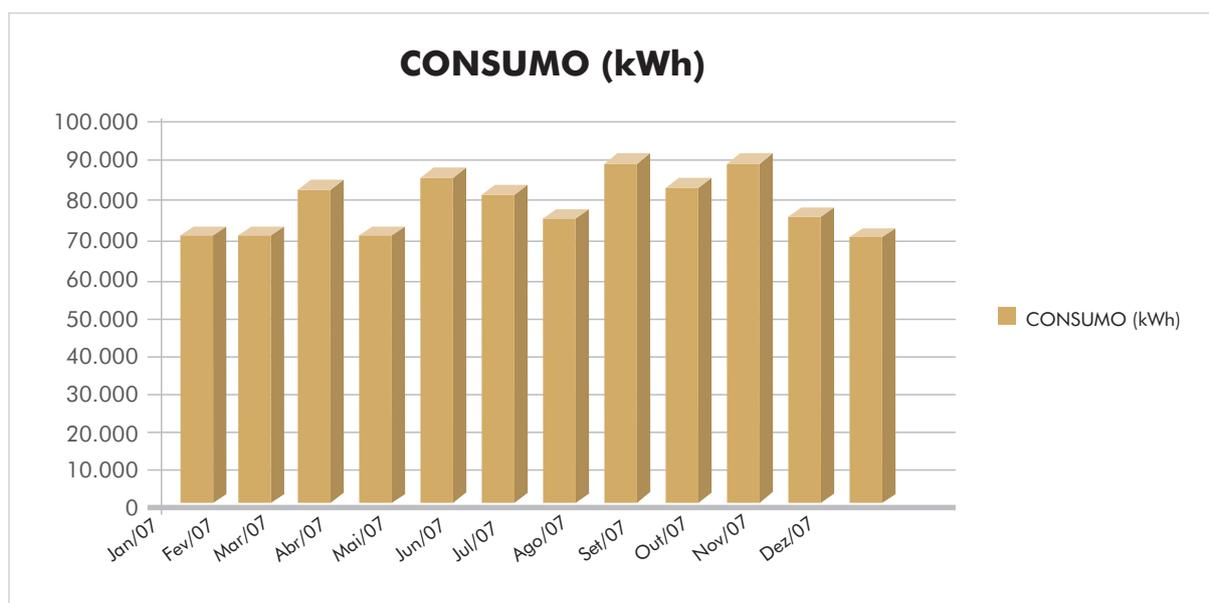
**Figura 01** - Casa com painéis de energia solar (tirado do Le Petit Inventeur, Paris, 1929). Fonte: Wolfgang Palz, 1995. Pg. 203.

<sup>6</sup> O LUZ PARA TODOS e o PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios - são exemplos destes programas.

## Justificativa da escolha do Objeto de estudo - Fórum de Palmas – TO

Segundo Geller (1994), no Brasil mais de 40% da energia elétrica consumida é utilizada por edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo o setor residencial responsável por 23 % do total do consumo nacional e os restantes, responsáveis por 11 % e 8 % respectivamente.

Embora o setor residencial seja o de maior consumo, o interesse em desenvolver o estudo de caso no setor público deve-se, em um primeiro momento, a maior visibilidade que a tecnologia pode vir a ter nestes edifícios; além do fato de que a legislação federal referente à utilização de fontes renováveis de energia integradas a edifícios vem tramitando no sentido de sua utilização em edifícios públicos. Dados fornecidos pela REDE CELTINS (Centrais Elétricas do Tocantins) mostram o alto consumo de energia com climatização e iluminação artificial dos edifícios públicos de Palmas (Gráfico 01). Percebemos esta realidade ao considerarmos o consumo anual de energia elétrica do Fórum, por exemplo, em 2006, 2007 e 2008, que foi de 876.345 kWh, 956.221 kWh e 997.429 kWh, respectivamente, com média mensal de 73.029 kWh, 79.685 kWh e 83.119 kWh, também respectivamente.



**Gráfico 01 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO FÓRUM DE PALMAS – TO EM 2007**  
Gráfico elaborado no Excel com os dados fornecidos pela REDE CELTINS.

Este alto consumo de energia deve-se principalmente à inadequação da arquitetura à rigidez do clima local, além das constantes e mal estudadas mudanças de lay-out de divisórias, o que torna inviável o aproveitamento da iluminação natural; somando-se a isto o constante uso de climatização artificial, que requer altas cargas de energia.

Tomando como referência alguns trabalhos realizados pelo LABEEE, com a integração de tecnologia fotovoltaica à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR (Tab. 02) e ao edifício do Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura de Santa Catarina - CREA-SC (Tab. 03), percebemos o alto consumo de energia elétrica do Fórum de Palmas – TO, que é um edifício relativamente novo e ainda não totalmente consolidado. Respectivamente os consumos totais anuais de energia elétrica nestes edifícios são: 2.097.249 kWh, 214.522 kWh e 956.221 kWh (Tab. 04).

**Tabela 02 – Consumo de energia elétrica na UTFPR.**

Mês/Ano	Consumo (kWh)	Valor da Fatura
Set/05	157.176	R\$ 60.915,29
Out/05	190.666	R\$ 66.748,59
Nov/05	186.112	R\$ 65.365,44
Dez/05	184.592	R\$ 62.959,77
Jan/06	112.340	R\$ 45.472,43
Fev/06	196.106	R\$ 62.462,44
Mar/06	149.955	R\$ 54.885,63
Abr/06	188.599	R\$ 60.478,03
Mai/06	190.046	R\$ 65.596,13
Jun/06	188.642	R\$ 65.466,98
Jul/06	183.272	R\$ 64.693,78
Ago/06	169.743	R\$ 61.861,86

Fonte: Junior, Jair Urbanetz. 2006. Pg. 09.

**Tabela 03 – Consumo de energia elétrica no CREA-SC.**

Mês	Consumo Médio (kWh)	Valor da Fatura	Média diária (kWh/dia)
Jan	16567	31	534,4
Fev	21285	32	665,1
Mar	21266	28	745,6
Abr	19532	32	640,1
Mai	16465	31	514,6
Jun	13004	30	433,5
Jul	13980	33	423,6
Ago	12750	30	425,0
Set	12683	29	437,3
Out	16906	32	528,3
Nov	14133	29	487,3
Dez	19450	27	720,4
<b>Média</b>	<b>16501</b>	<b>30</b>	<b>546,3</b>

Fonte: SALAMONI, 2004b, pg. 07

Em função de não obtermos o valor exato da área construída da UTFPR (Fig. 03), realizamos uma estimativa considerando a área dos blocos principais de 2.600,00m<sup>2</sup> cada, distribuídos em (04) quatro pavimentos (blocos A, B, C e D – com 65,00m de comprimento por 10,00m de largura), o que totaliza cerca de 10.400,00 m<sup>2</sup>. O complexo da UTFPR ocupa uma área de 150,00m x 150,00m e compõe-se também pelo: DCE geral, biblioteca, teatro e auditório, bloco A, restaurante, bloco M, ginásio, piscina e academia, mini-ginásio, quadras externas e bloco Q; o que levou a uma estimativa de 30.000,00 m<sup>2</sup> de área total. Já do CREA-SC (Fig. 02) sabe-se que tem dois pavimentos, com 878,00m<sup>2</sup> cada, totalizando 1.756,00m<sup>2</sup>.



**Figura 02** - FACHADAS CREA – SC. SALAMONI, 2004b, pg. 03.



**Figura 03** - BLOCOS A, B, C e D da UTFPR. JUNIOR, 2006. Pg. 11.

### Tabela 04 – Comparativo do consumo de energia em edifícios públicos de outras localidades no Brasil

EDIFÍCIO	CONSUMO ANUAL	ÁREA m <sup>2</sup> (estimada)	kWh/m <sup>2</sup> /ano
UTFPR	2.097.249	30.000,00	69,91
CREA-SC	214.522	1.756,00	122,17
<b>FÓRUM-TO</b>	<b>956.221</b>	<b>12.827,88</b>	<b>74,54</b>

Adaptado de JUNIOR, 2006, pg. 09 e SALAMONI, 2004b, pg. 07.

Um aspecto em particular da arquitetura atual em Palmas – TO é o de que há uma tendência à utilização de grandes panos de vidro nas fachadas (Fig. 04) dos edifícios que, além da reflexão que proporcionam, desconsideram as questões de consumo e geração de energia, gerando desperdício energético e pouco conforto para os usuários. Segundo BUSTOS ROMERO (2001), a reflexão provocada por materiais de invólucro em edificações que refletem a radiação torna-se um elemento pouco benéfico para o espaço público exterior, uma vez que, além do calor incidente direto, o espaço deve comportar a soma das emissões.



FACHADA NOROESTE



FACHADAS OESTE E SUL



FACHADA NOROESTE



FACHADAS OESTE E SUL



FACHADA NORTE



FACHADA OESTE

Figura 04 – VISTA EXTERNA DO EDIFÍCIO FÓRUM DE PALMAS - TO  
(acervo particular)

Os principais edifícios públicos de Palmas têm pátio interno (Fig. 05) e extensas fachadas em pano de vidro. Coincidência ou não, tantos os edifícios construídos na época da abertura das ruas da cidade, quanto os mais recentes, seguem o mesmo princípio. Considera-se, então, tais características como predominantes da arquitetura local. Com destaque também para os materiais do invólucro (fachadas em vidro, com alta transmitância térmica); os sistemas de iluminação (prioritariamente artificial) e ventilação (a natural não funciona, apelando-se exclusivamente para a climatização artificial) utilizados; o número de pavimentos (térreo, primeiro e segundo) e a área construída.



Figura 05 – IMAGEM AÉREA DO FÓRUM DE PALMAS - TO  
Fonte: www.googleearth.com.br. Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.

## **Objetivo Geral**

Contribuir com a disseminação da utilização de fontes alternativas renováveis integradas à arquitetura através da divulgação e manipulação de dados relativos ao consumo e geração de energia elétrica e da metodologia de pré-dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

## **Objetivos Específicos**

Demonstrar a captação de energia solar através de tecnologia fotovoltaica em fachadas e coberturas, propondo como fonte renovável de energia próxima ao ponto de consumo, integrada ao entorno construído.

Caracterizar o potencial de contribuição do Sistema Solar Fotovoltaico integrado a um Edifício Público - o Fórum de Palmas – TO - conectado à rede de energia elétrica urbana, colaborando com a sua popularização no contexto da arquitetura sustentável e pela disseminação da informação, o barateamento da tecnologia.

Verificar a viabilidade econômica da instalação do Sistema Fotovoltaico, cujas tecnologias são disponíveis no mercado internacional, integrado a um Edifício Público - o Fórum de Palmas – TO - conectado à rede de energia elétrica urbana.

## **Método**

A pesquisa tem caráter em parte explorativo / subjetivo e em parte prático / experimental. Para alcançar os objetivos deste estudo o caminho percorrido foi:

1. Análise do consumo de energia elétrica do edifício do Fórum de Palmas – TO para o cálculo da demanda, através das faturas de energia no decorrer do ano de 2006, 2007 e 2008;

2. Estudo do sistema de captação de energia solar como proposta de eficiência, analisando-se além das tecnologias fotovoltaicas disponíveis, a vocação local do estudo de caso, pelas características climáticas e a incidência solar. Analisar os níveis de radiação solar locais e a orientação favorável de forma a potencializar a produção de energia, em função da área disponível e do tipo de tecnologia fotovoltaica utilizada;

3. Avaliação da eficiência do sistema de captação de energia solar através do cálculo do percentual de contribuição ao suprimento do consumo de energia e da análise da viabilidade econômica. Comparando o pico de demanda com o pico de geração no edifício estudado.

O levantamento de dados ocorreu a partir de fotografias do edifício do Fórum de Palmas, mapeamentos, pesquisa em projetos de arquitetura e entrevistas. Alguns órgãos como as Centrais Elétricas do Tocantins - REDE CELTINS - e o Tribunal de Justiça do Tocantins forneceram os dados quanto ao edifício, como projetos e dados de consumo; e para a revisão bibliográfica acerca da Energia Solar Fotovoltaica, pesquisa no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE - da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – e Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB, sites da Internet e demais órgãos voltados ao tema. O RADIASOL, programa elaborado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, utilizado para a simulação dos cálculos referentes aos sistemas fotovoltaicos experimentais.

## **Dos capítulos que compõem o trabalho**

A dissertação se divide em seis capítulos: capítulo 01 - sustentabilidade; capítulo 02 – energia; capítulo 03 - energia solar fotovoltaica; capítulo 04 – metodologia; capítulo 05 - desenvolvimento do estudo de caso; e capítulo 06 - conclusões.

O primeiro capítulo subdivide-se, por sua vez em sete partes, introduzindo conceitualmente as seguintes questões da sustentabilidade: o tripé ambiental, social e econômico; o novo paradigma; a escolha de materiais construtivos; o papel do arquiteto; o papel da academia; fontes limpas e renováveis de energia e a arquitetura sustentável; a energia solar e a sustentabilidade dos edifícios; e conclusões.

No segundo capítulo, subdividimos a questão da energia em cinco partes: aspectos gerais; a história da energia; fontes renováveis de energia; energia solar; clima, arquitetura e o consumo de energia em edifícios públicos (incluindo o subitem recomendações); e conclusões.

O terceiro capítulo enfoca a energia solar fotovoltaica, dividindo-se, em nove partes: aspectos gerais; a experiência internacional com energia solar fotovoltaica (subdividindo-se em Japão e Alemanha); o Brasil; o contexto da utilização de fontes renováveis de energia (subdividindo-se por sua vez em quatro: a eficiência da informação, planejamento integrado dos recursos – PIR, a curva de aprendizado, a agência internacional de eficiência energética e energias renováveis); as barreiras para a utilização de fontes renováveis de energia (subdivide-se em quatro partes: as políticas e suas barreiras, barreira de tecnologia, barreiras econômicas, barreiras políticas e de informação); a era da energia solar ativa e os exemplos mundiais; aspectos tecnológicos e energético-ambientais (subitem sistemas solares fotovoltaicos integrados a edifícios e rede públicos); a pesquisa quanto à energia solar fotovoltaica no Brasil; princípios e tecnologias fotovoltaicas disponíveis (cinco partes: silício monocristalino e policristalino, silício amorfo, telureto de cádmio, disseleneto de cobre e índio, HIT); e conclusões.

O quarto capítulo é dedicado à metodologia.

No quinto capítulo desenvolve-se o estudo de caso, subdividindo-se em cinco partes: a primeira - coleta e levantamento de dados, a segunda - cálculo de radiação e geração solar fotovoltaica com a proposição das tecnologias fotovoltaicas, a terceira – a análise do potencial de geração FV no edifício do Fórum de Palmas – TO, a quarta – análise da viabilidade econômica da instalação de sistemas FV em edifícios públicos, e quinta – análise dos resultados obtidos. Os dados levantados na primeira subdivisão do quinto capítulo têm cinco categorias: características geográficas de Palmas – TO, dados dos componentes construtivos do edifício, dados do consumo de energia elétrica no edifício do Fórum de Palmas – TO, dados do sistema FV no Brasil e o potencial energético em Palmas – TO para a geração fotovoltaica. A segunda parte do quinto capítulo subdivide-se em três partes: características dos equipamentos do sistema fotovoltaico, simulações das melhores possibilidades, cálculos referentes à geração do sistema. A terceira parte do quinto capítulo subdivide-se em três partes: contribuição de redução da energia da rede, cálculo da contribuição das fachadas, tecnologias mais apropriadas ao edifício em estudo. A quarta e a quinta partes do quinto capítulo não têm subdivisões.

No sexto capítulo faz-se o fechamento do estudo com as conclusões finais e apuração da contribuição a ser dada pelo presente estudo.

# CAPÍTULO 1



**CONTRIBUIÇÕES A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE**

## 1. CONTRIBUIÇÕES A QUESTÃO DA SUSTENTABILIDADE

Entre os acontecimentos recentes que levaram a um novo pensamento e a mudanças de atitudes entre as nações estão os acordos fundamentais do Encontro da Terra – Rio de Janeiro 1992. Os principais temas abordados foram:

<b>Energia</b>	Aquecimento Global Esgotamento dos Recursos
<b>Ecologia</b>	Biodiversidade Proteção dos Bosques Tropicais
<b>Meio Ambiente</b>	Recursos hídricos O cultivo da terra e a pecuária

Edwards (2004) explica que desde a Rio 92, os planejamentos ecológicos começaram a ocupar-se mais dos sistemas que dos recursos. Enquanto os acordos do Rio tratavam de proteger habitats e espécies em perigo de extinção e a herança genética de todos os seres vivos (a diversidade genética dentro das espécies), a arquitetura ecológica adquiriu um compromisso mais amplo. Está se desenvolvendo um sistema geral de avaliação do impacto ecológico dos edifícios e, enquanto resulta mais árduo, de cidades inteiras. O conceito de análise do ciclo da vida<sup>7</sup> (ACV) se baseia em recursos, materiais, etc., que consome e produz um sistema (entradas e saídas) e forma parte da metodologia ecológica conhecida como “planejamento global”. O desenho ecológico põe em evidência a pobreza intelectual do desenho humano. Em regra geral, a natureza cria a máxima riqueza e complexidade com o mínimo de recursos e o máximo de reciclagem, enquanto a humanidade cria a mínima riqueza e complexidade com o máximo de recursos e o mínimo de reciclagem.

Quando falamos em sustentabilidade na construção civil o esperado é que a abordagem volte-se basicamente para as questões de conforto térmico e eficiência energética, contudo, o conceito ficaria incompleto se nos ativéssemos apenas a este aspecto. Brian Edwards (2004) confirma que grande parte do desenho sustentável está relacionado com a poupança energética mediante o uso de técnicas como a análise do ciclo da vida, com o objetivo de manter o equilíbrio entre o capital inicial investido e o valor dos ativos fixos em longo prazo. Sem dúvida, desenhar de forma sustentável também significa criar espaços que são saudáveis, viáveis economicamente e sensíveis às necessidades sociais. Por si só, um desenho responsável desde o ponto de vista energético é de escasso valor.

Segundo Nascimento (2007), para Roberta C. Kronka Mulfarth, pesquisadora do NUTAU - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da USP, uma arquitetura sustentável é a que consegue promover um menor impacto ambiental, uma busca de maior igualdade social, valorização dos aspectos culturais, maior eficiência econômica e nas soluções adotadas nas fases de projeto, construção, utilização, reutilização e reciclagem da edificação, visando à distribuição eqüitativa da matéria-prima, garantindo a competitividade do homem e das cidades.

As interpretações variadas – e muitas vezes equivocadas – sobre o significado do termo sustentabilidade é, segundo a pesquisadora, um dos principais obstáculos para a fixação desse conceito no país.

“Hoje não é difícil (...) encontrar empreendimentos auto-classificados de

<sup>7</sup> A ACV identifica os “fluxos de materiais, energia e resíduos que gera um edifício durante toda sua vida útil, de maneira que o impacto ambiental seja determinado antecipadamente”. Os fluxos analisados englobam a extração de materiais e seus usos, reutilização, reciclagem ou eliminação. Normalmente há três opções no final da vida útil de um edifício:

- Reutilizar as partes em uma nova construção;
- Reciclar o material (por exemplo, como secos para concreto novo);
- Derubar o edifício e enterrar os escombros em um aterro controlado. (Edwards, 2004. Pg.55)

“sustentáveis” apenas por possuírem áreas para jardim nas sacadas, por utilizarem lâmpadas economizadoras, ou até mesmo por realizarem coleta seletiva. Na verdade, muito do denominado 'baixo impacto ambiental' ou 'sustentável' possui um grande apelo de marketing e não passa de 'maquiagem' verde, ou seja, sustentável, de fato, não possui nada!” (Mulfarth apud Nascimento, 2007. Pg. 12 e 14).

Analisando a sustentabilidade em relação ao espaço urbano entendemos que os edifícios têm desempenho fundamental, caracterizando-se como um dos componentes principais da simbiose morar, trabalhar, circular, ter atividades de lazer e usufruir de áreas verdes. Assim, o planejamento não só energético, mas em um complexo mais amplo e atual: dentro da Análise do Ciclo da Vida - ACV - identificamos o edifício, ator de destaque do elenco urbano. Para Edwards (2004), a cidade desempenha um papel chave neste esforço por estabelecer uma relação mais simbiótica com o território. Os edifícios são uma das peças da cidade, e seu desenho, inspirado nas análises do ciclo da vida, também pode contribuir neste esforço. Os edifícios podem gerar sua própria energia, captar e reciclar sua própria água, utilizar materiais produzidos a partir de resíduos ou manter o equilíbrio entre o CO<sup>2</sup> (dióxido de carbono) utilizado em sua construção e uso e o CO<sup>2</sup> transformado de novo em oxigênio através das árvores plantadas em outros lugares. A complexidade do desenvolvimento de cidades sustentáveis é um obstáculo que dificulta a ação. Nos edifícios, sem dúvida, a facilidade com que podem avaliar-se os efeitos sobre os recursos pode aproveitar-se para conseguir que a nova arquitetura ilumine este processo de troca.

Uma arquitetura que deve ser aberta e livre de barreiras à acessibilidade de pessoas, e com ambientes preocupados com a segurança do usuário. O sombreamento adequado pelo verde interno e circundante cria uma ambientação e visuais agradáveis integrando paisagismo e arquitetura para a obtenção de soluções naturais que resultam em importante contribuição para um micro clima desejável (Zanettini, 2007. Pg. 05).

A previsão de plantio ou a preservação de árvores existentes no entorno de uma edificação; e porque não, a previsão de jardins suspensos e internos ao edifício, contribuindo com a geração de um microclima local mais ameno é uma forma de interação com o meio ambiente.

A respeito da sustentabilidade existem algumas opiniões que se contradizem. A questão do avanço tecnológico, por exemplo, nem sempre reflete preocupação com as gerações futuras. Para Edwards (2004) a grande ironia, sem dúvida, é que as nações mais avançadas do mundo são também as que mais contaminam. A arquitetura por si só não pode resolver os problemas do meio ambiente do mundo, mas pode contribuir significativamente a criação de habitats humanos mais sustentáveis.

Segundo Zanettini (2007), de questões básicas como: aberturas estrategicamente situadas, que aproveitam os ventos predominantes e, por efeito chaminé, saem por aberturas opostas, criando ambientes ventilados naturalmente para melhores condições de conforto, aspecto otimizado com painéis termo-acústicos, brises ou tecidos sombreadores como bloqueadores do calor e do ruído e paramentos externos adequados para dispersar a reflexão e a reverberação acústicas. (...) Ao domínio integral de tecnologias limpas; a utilização evolutiva do conhecimento de base científica; a busca permanente de avanços tecnológicos e estéticos deste século do “intelecto e da criação”, da arquitetura como obra de arte, mas com a razão sempre cúmplice da sensibilidade. A arquitetura deve levar em conta conceitos que precedem o projeto e se apóiam sobre fundamentos contemporâneos. Podemos destacar alguns: as visões sistêmica e cultural que alimentam o projeto de arquitetura; a concepção multidisciplinar, eco-eficiente e

sustentável; a questão ambiental como parte estrutural do repertório arquitetônico; o respeito ao dimensionamento dos espaços e às suas exigências, com flexibilidade para expansões ou alterações; a superação de paradigmas conceituais e construtivos, adequados à cultura de cada época.

Um bom exemplo de definição do desenvolvimento sustentável é a utilizada pelo escritório de arquitetura Norman Foster e Associados, o qual define a arquitetura sustentável como a criação de edifícios “que sejam eficientes quanto ao consumo de energia, saudáveis, cômodos, flexíveis no uso e desenhados para ter uma longa vida útil” (Norman Foster e Associados apud Brian Edwards, 2004. Pg. 07).

A questão ambiental requer uma mudança comportamental nas diversas áreas de atuação e fazendo surgir uma nova concepção em termos do que seriam os recursos de uma nação. O novo conceito de capital social, econômico, tecnológico e ambiental corresponde ao que se propõe no presente trabalho, onde identificamos que em edificações existe uma inteiração entre todos os capitais<sup>8</sup>.

Mais importante do que buscar uma série de ações pontuais é compreender a sustentabilidade como um conceito complexo que, no caso da arquitetura, permeia a edificação do projeto à ocupação, envolvendo tecnologia e planejamento, defende Márcio Augusto Araújo, consultor do Idhea - Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (Araújo apud Capozzi, 2006. Pg. 43).

Para Edwards (2004), a sustentabilidade é vista cada vez mais como o principal argumento do projeto arquitetônico no século XXI. O motivo é tanto espiritual como prático. No plano físico, o ecossistema terrestre submeteu-se a uma grande pressão devido ao aquecimento global. Toda arquitetura que evite este problema e não seja meio ambientalmente sustentável carecerá de validade moral. Como temos visto, a sustentabilidade tem sem dúvida uma dimensão social e estética. A função da tecnologia é servir de ponte entre ambas, buscando melhora social e harmonia ecológica. Deste acordo surgirá uma nova ordem arquitetônica, com novas tipologias para todo tipo de edifícios e novas tecnologias para equipá-los. Trata-se definitivamente de um novo paradigma arquitetônico, que reconciliará finalmente o habitat humano e a natureza.

“Questões como a fragilidade das áreas de risco devem ser determinantes para dar início a um projeto sustentável”, explica a arquiteta Marta Adriana Bustos Romero, líder do grupo de pesquisas Sustentabilidade na Arquitetura e no Urbanismo da UnB (Universidade de Brasília). Logo em seguida vem a acomodação do projeto ao terreno, procurando, tanto quanto possível, facilitar os escoamentos e a drenagem. Como condicionantes devem ser consideradas a realidade climática local, as construções vizinhas e sua influência no projeto, os quadrantes de maior radiação, a amplitude térmica local, a média da umidade relativa do ar e a velocidade dos ventos predominantes. “A geometria das edificações também precisa ser observada, visto que pode exercer influência na obstrução de agentes dispersores de calor, tais como vento”, acrescenta Marta Romero (Bustos Romero apud Capozzi, 2006. Pg. 42).

Nascimento (2007) expõe a sugestão de Denise Duarte, pesquisadora do Labaut - Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética do Departamento de Tecnologia da FAU-USP:

<sup>8</sup>O Informe de Brundtland propôs outros conceitos que estão começando a arraigar na consciência do século XXI. O primeiro é a noção de capital, adotada para toda fonte mundial de recursos que deva ser gerenciada racionalmente. Existem cinco tipos principais de capital:

- Social;
- Econômico;
- Tecnológico;
- Meio ambiental;
- Ecológico.

O capital social é um conceito consagrado desde o tempo, que no contexto do desenvolvimento sustentável, nos permite relacionar os conhecimentos e a educação com o uso dos recursos meio ambientais. (...)

A noção de capital econômico é o conceito melhor acreditado no âmbito dos recursos financeiros e um princípio político fundamental de ordem mundial durante ao menos os últimos 100 anos. (...) Mediante o capital tecnológico transformamos matérias primas e outros recursos em produtos úteis para os seres humanos (carros, edifícios, etc.). (...) A tecnologia nunca permanece estática, sobretudo em um momento de pressão sobre o meio ambiente. O desenvolvimento sustentável exige novos conhecimentos e novas tecnologias.

Capital meio ambiental é o término que se utiliza para quantificar todos os recursos da Terra. Inclui combustíveis fósseis, água, solo e minerais, assim como uma série de potenciais ou capacidades, entre elas a agricultura, a pesca, a exploração florestal e a energia renovável. (...)

O término 'capital ecológico', com o que nos referimos aos habitats, espécies e ecossistemas (...). Na atualidade, o capital ecológico continua sendo o sistema mencionado mais frágil, mal entendido e esquecido pelos governos, as empresas e os indivíduos. (Edwards, Brian. 2004. pgs. 8, 9 e 10)

“Para colocar a teoria em prática é necessário um plano de arquitetura que passa basicamente por cinco fases: conexões urbanas, estratégias de projeto, avaliação do desempenho de diferentes estratégias, operação do edifício, desmonte” (Denise Duarte apud Nascimento, 2007. Pg. 16).

As conexões com o entorno, sejam elas ambientais, de mobilidade, de interação com o funcionamento da cidade existente, seriam as primeiras a determinar as condições para a maior sustentabilidade do empreendimento. “Muitos requisitos de qualidade ambiental, por exemplo, começam a ser determinados na escala de vizinhança, no mínimo, na escala da quadra, tais como ventilação, acesso ao sol e à luz natural para conforto ambiental e geração de energia.” Só então viria a fase de concepção, quando devem ser pensadas as diferentes possibilidades de forma e volumetria para a implantação, o uso de materiais locais adequados aos diferentes requisitos de uso e desempenho, as estratégias de projeto para o uso mais eficiente de água e energia, para a drenagem, para a manutenção de áreas verdes, etc. Uma terceira etapa, relata Denise, passa obrigatoriamente pela avaliação do desempenho de diferentes estratégias, que vai realimentar o projeto de arquitetura e demais projetos complementares com novas informações para a otimização das soluções propostas. “Essa talvez seja a fase mais nova dessa abordagem de projeto, à qual o mercado não está habituado, e que demanda tempo e interação com diversas equipes de projeto. Essa fase é interativa, exige revisões e ajustes em benefício de uma maior eficiência na utilização dos recursos. Dá respostas cruciais sobre as possibilidades de climatização natural, artificial ou de modo misto, sobre a maior ou menor suficiência em qualidade e quantidade de luz natural, e conseqüentemente menor dependência da iluminação artificial, etc”, diz. Uma quarta etapa diz respeito à operação do edifício, que atrai, de acordo com a arquiteta, a necessidade de um gerenciamento eficiente. Para finalizar, Denise ressalta que a responsabilidade dos projetistas não se encerra com a entrega do edifício concluído. Os resultados devem aparecer não só ao longo de toda a sua vida útil, como também no momento do seu desmonte, pensando no ciclo de vida da edificação. “Projetar e construir de maneira mais sustentável envolve o compromisso que vai até a morte da edificação, que vai refletir o que foi pensado nas fases de projeto e construção para o reuso ou para a reciclagem dos materiais utilizados”, afirma (Denise Duarte apud Nascimento, 2007. Pg. 16 e 18).

Da mesma forma, a reciclagem, não apenas dos materiais, mas também da edificação, é recomendável. O design tem de ser o mais flexível possível para que o edifício possa ser reciclado e modificado tantas vezes quanto for necessário, afirma Geraldo Serra, coordenador do Nutau/USP - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (Serra apud Capozzi, 2006. Pg. 43).

Quando relacionamos a vida útil dos edifícios sob o ponto de vista da ACV é necessário levar em consideração alguns dados importantes no que se refere à durabilidade média dos diferentes elementos da arquitetura (Edwards, 2004. Pg.10), são eles:

?	<b>Instalações</b>	20 anos;
?	<b>Edifícios</b>	50+anos;
?	<b>Infraestrutura</b> (estradas, ferrovias)	100+anos;
?	<b>Cidades</b>	500+anos.

Quanto ao consumo de matérias primas, o capital meio ambiental investido é, segundo Edwards (2004):

- ? Materiais: 50% de todos os recursos mundiais se destinam a construção;
- ? Energia: 45% da energia gerada se utilizam para aquecer, iluminar e ventilar edifícios e 5% para construí-los;
- ? Água: 40% da água utilizada no mundo se destina a abastecer as instalações sanitárias e outros usos nos edifícios;
- ? Terra: 60% da melhor terra cultivável que deixa de utilizar-se para a agricultura se utiliza para a construção;
- ? Madeira: 70% dos produtos madeireiros mundiais se dedicam a construção de edifícios.

### **1.1 O tripé ambiental, social e econômico**

O conceito de sustentabilidade na arquitetura baseia-se fundamentalmente no tripé: ambiental, social e econômico. Nascimento (2007) expõe a opinião de três autoras sobre o tema, entre elas Roberta C. Kronka Mulfarth, Denise Duarte e Cláudia N. D. Amorim, professora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – FAU/UnB.

Denise Duarte ressalta que a expressão 'edifício sustentável' em muitos casos pode passar uma idéia de auto-suficiência, mas que isso não é estritamente necessário. “Do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, a meta é a eficiência no uso dos recursos naturais como água, energia e matéria-prima, e não, necessariamente, a autonomia, principalmente quando se trata de área urbanizadas, com redes de água, energia, esgoto e coleta de resíduos sólidos passando pela sua porta”, resume. Segundo ela, o conceito de sustentabilidade envolve também os aspectos sociais e econômicos. “Nesse sentido, o edifício mais sustentável também é economicamente viável ao longo do seu ciclo de vida, levando em conta as relações de custo/benefício ao longo do tempo, já que muitas inovações exigem investimentos iniciais maiores que se pagam na operação do edifício. Da mesma forma, um empreendimento mais sustentável também considera os aspectos sociais envolvidos e contribui para a melhoria da qualidade de vida dos seus usuários”, diz. De acordo com a arquiteta, considerando-se os aspectos ambientais, sociais e econômicos, muitos dos temas de projeto urbano e de edifícios abordados sob essa perspectiva têm reflexos nas três esferas. “A mobilidade, por exemplo, é um item importantíssimo. A localização do empreendimento determina as diversas possibilidades de deslocamento dos usuários e traz conseqüências ambientais, se pensarmos na emissão de poluentes dos meios de transportes convencionais; conseqüências econômicas, se pensarmos nas horas de trabalho ou descanso perdidas em congestionamentos intermináveis; e conseqüências sociais, na qualidade de vida do cidadão que passa boa parte do seu dia em deslocamentos”, afirma. “Hoje, vivemos situações cada vez mais freqüentes de congestionamentos dentro das garagens dos edifícios, por causa da dependência do transporte individual, da falta de investimentos em transporte público de qualidade, e essa situação precisa começar a mudar”, acrescenta (Denise Duarte apud Nascimento, 2007. Pg. 14).

Roberta C. Kronka Mulfarth também associa a sustentabilidade ao “tripé” ambiental, econômico e social, e alerta: “Também não podemos esquecer que a sustentabilidade é um processo. Não teremos um projeto sustentável e ponto final! Cada vez os edifícios serão mais sustentáveis” (Mulfarth apud Nascimento, 2007. Pg. 14).

Na opinião de Cláudia Naves David Amorim, professora da Faculdade de

Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (DF), de maneira geral, um edifício sustentável é aquele que reflete em seu projeto preocupações com a inserção no contexto climático local, fazendo com que haja menor gasto de energia para climatização e iluminação, mantendo o bom nível de conforto ambiental; demonstra em seu projeto ter trabalhado com o uso racional de recursos naturais, como água, materiais e solo; é um projeto pensado para que o edifício tenha um bom desempenho com relação à flexibilidade de usos, manutenção e durabilidade. “Podemos citar também os aspectos de inserção social, geração de empregos, segurança de canteiro, etc. Na verdade, em cada tipologia e cada contexto as prioridades serão definidas pelo que é mais importante e também pelo que é mais viável ambiental, social e economicamente”, analisa (Amorim apud Nascimento, 2007. Pg. 14).

“Um famoso grupo europeu de especialistas em meio ambiente afirma que a sociedade poderia quadruplicar sua produtividade sem consumir mais recursos. Esta idéia, conhecida como o fator quatro, se baseia na crença de que através de tecnologias mais eficientes, um maior uso de reciclagem e uma melhor gestão e desenho, a sociedade poderia crescer sem causar mais dano ecológico” (Rock Mountain Institute apud Brian Edwards, 2004. Pg. 04).

Indubitavelmente o tripé ambiental, social e econômico fundamenta o conceito da sustentabilidade como afirmam as pesquisadoras, sendo que a construção de edifícios a partir de agora deverá acontecer mediante a preocupação com estes aspectos, isto é, dando ênfase à interação ao meio-ambiente, considerando quanto de resíduos irá gerar, quanto de energia irá consumir, qual influência terá em termos de circulação de pessoas a pé e de carro, o tipo de transporte a utilizar-se para o acesso a tal lugar, e também questões básicas como o número de vagas em estacionamentos públicos necessárias, a acessibilidade das pessoas comuns e das pessoas portadoras de necessidades especiais. Enfim, o contexto é bem mais amplo.

## 1.2 O novo paradigma

Até bem pouco tempo em arquitetura buscava-se essencialmente a funcionalidade, a estética ou plástica apurada e finalmente, o conforto em seus diversos aspectos. Como todos os arquitetos, Edwards (2004) também afirma que o conforto é essencial para a criação de ambientes humanos saudáveis. Deve englobar o conforto térmico, a umidade, a ventilação, e a iluminação. Precisamos sentirnos cômodos, ter luz suficiente e livre de ofuscamentos e obter o equilíbrio correto entre a umidade e ventilação. Os ambientes saudáveis devem basear-se em uma iluminação, uma ventilação e em materiais naturais.

Diante do exposto, entendemos que atualmente Arquitetura Sustentável deve elencar os seguintes aspectos:

1. Eficiência Energética;
2. Preocupação com o meio ambiente;
3. Conforto (térmico, luminoso, ventilação e iluminação);
4. Tecnologia.

“A tecnologia é a pedra angular da construção sustentável, assim como o desenho urbano é o das cidades sustentáveis. A tecnologia é o mais importante motor do projeto. A técnica e a funcionalidade têm sido as forças dominantes na geração de formas durante ao menos um século. Dado que em um mundo de rápidas mudanças sociais e econômicas a função logo cai obsoleta, o espaço volta-se mais flexível e indeterminado. O projetista insufla valor cultural ao seu desenho dando forma a técnica. Neste sentido,

os arquitetos recorrem à ecologia para dar legitimidade e expressão a um estilo, uma ordem elementar que cada edifício adapta de forma única” (EDWARDS, 2004. Pg. 90 e 91).

A arquitetura contemporânea apóia-se em fundamentos que incluem questões sobre eco-eficiência, sustentabilidade, utilização de condições climáticas naturais, incorporações de novas formas de energia, interação com os contextos construídos ou naturais, reuso de águas servidas, tecnologias limpas, preocupações com seu uso, operação e manutenção, reciclagem dos materiais e uma relação custo-benefício equilibrada, entre outros aspectos relevantes (Zanettini, 2006. Pg. 05).

Para Edwards (2004), só mediante a tecnologia poderá obter-se uma arquitetura sustentável. As aplicações das células solares, as fachadas inteligentes, (...), a massa térmica e a ventilação natural estão sendo investigadas e postas a prova de maneira exaustiva pelos projetistas. O novo paradigma, trasladado a todos os níveis, influencia em cada decisão. Três são os vetores chave que impulsionam o novo enfoque emancipador da arquitetura:

? O manejo da ecologia como um sistema;

? A ampliação do âmbito do sustentável mais além da mera economia energética;

? A interação entre os seres humanos, o espaço e a tecnologia no marco de um modelo sustentável.

As conseqüências para a cultura arquitetônica abarcam todos os âmbitos. Os projetistas abordam questões como a reutilização e a reciclagem, a importância de levar em conta tanto a origem como a manipulação dos materiais, a economia de água e a saúde dos trabalhadores da construção e os usuários do edifício. Esta nova aproximação requer tecnologias inovadoras, provenientes de outras indústrias, de tecnologias alternativas, ou tecnologias em desuso (como os acabamentos de cal) recuperadas pela nova demanda da sustentabilidade, ou outras tecnologias, todavia por desenvolver-se. (EDWARDS, 2004)

A preocupação com o entorno, com o aumento da acessibilidade e a diminuição do stress diário propõe um impacto positivo por parte da arquitetura sustentável. E a partir das atuais constatações da crise ecológica, a preocupação deverá ser principalmente com o consumo de energia, não apenas o aspecto da eficiência energética, mas também das fontes de energia. Resta-nos compreender verdadeiramente papel do arquiteto na sociedade, o de criador de espaços saudáveis.

Edwards (2004) vai além relatando que tudo isto abre novas perspectivas. O reconhecimento de que um edifício é também mais produtivo não é a melhor delas. Os ambientes humanos criados pelos arquitetos influenciam na saúde, tanto física como psicológica. Os edifícios podem produzir estresse ou aliviá-lo, causar câncer ou ajudar a prolongar a vida. Constitui um feito crescentemente aceitado que a produtividade, a tecnologia e a sustentabilidade formam um conjunto de interações vitais, sobre tudo entorno de trabalhos. Os edifícios verdes compensam sempre, não só do ponto de vista da economia de energia, mas também quanto à saúde e coesão social.

### **1.3 Escolha de Materiais Construtivos**

Edwards (2004) percebe que é devido à complexidade sistêmica do conjunto, que as medidas para a poupança energética, a ecologia e o desenho meio ambiental resultam as vezes contraditórias entre si. Os materiais com boas prestações energéticas, como a fibra de vidro, o polietileno e as espumas utilizadas como isolantes, produzem um grande impacto ambiental.

“O fundamental é alcançar um equilíbrio entre a economia energética, a ecologia e o meio ambiente, evitando privilegiar um só dos aspectos em detrimento dos demais. Este, e não a antiga obsessão pela eficiência energética é o caminho que nos levará a uma arquitetura mais rica, mais sensível ao meio ambiente e mais humana.” (EDWARDS, 2004, pg. 38)

O caso do aço, por exemplo, um material extremamente prático do ponto de vista técnico, modular, que proporciona grandes vãos, relativamente leve, durável, totalmente reciclável, no entanto, consome altos índices energéticos em sua produção. Então, é o aço sustentável ou não?

Edwards (2004) relata que a eleição de um material de construção representa um difícil dilema para muitos arquitetos. O uso do aço é uma boa mostra disto. Este material é frequentemente rechaçado em favor do concreto, devido a sua alta energia incorporada e baixa capacidade térmica. Sem dúvida, o aço pode reciclar-se indefinidamente, o que permite que a energia incorporada seja explorada por futuras gerações, e a capacidade térmica do concreto está super valorizada (exceto no caso dos edifícios de escritórios), assim a opção pelo aço poderia, com efeito, ser uma eleição ecológica. Para serem sustentáveis, as estruturas de aço deveriam projetar-se de modo que pudessem desmontar-se facilmente (uniões parafusadas, não soldadas) e que seus componentes tivessem medidas padrões, para poder serem reutilizados.

Ainda sobre a escolha de materiais, Edwards (2004) expõe que a energia incorporada do aço é vinte vezes mais alta que do concreto (sem armar) (...). Sem dúvida, é necessário considerar a energia incorporada em função da relação peso/resistência do material e de suas possibilidades de reutilização. O custo energético da fabricação do aço e do alumínio é alto, mas o de sua reciclagem é relativamente baixo. É sabido que a capacidade estrutural do aço é muito maior que a do concreto: uma tonelada de aço proporciona um volume de estrutura muito maior que uma quantidade similar de concreto.

Aplicando-se o ACV ao processo completo de fabricação do aço, os resultados são interessantes. Em primeiro lugar, a energia incorporada é relativamente insignificante comparada com a energia total utilizada em um edifício. A quantidade de energia necessária para construir um edifício (fabricação, transporte e construção) é só uma pequena fração da energia consumida pelo edifício em aquecimento, iluminação e ventilação durante sua vida útil. Em um edifício, a relação entre a energia incorporada e a energia empregada ao longo de sua utilização é normalmente de 1:10 (a diferença de uma lavadora, por exemplo, onde é de 1:2). O ACV também estuda os custos de transporte, que estão relacionados sobre tudo com o peso do material. O transporte de aço, que é muito mais ligeiro que o concreto, requer menos energia, e o mesmo ocorre com o alumínio. O aço consome muito menos água que o concreto e sua fabricação contamina menos as redes de saneamento. Um edifício de aço pesa por regra geral a metade que um de concreto. (EDWARDS, 2004)

Comparando com o tijolo, a madeira ou o concreto, o aço oferece vantagens quanto aos custos, rapidez de construção e possibilidade de reciclagem. O aço se utiliza cada vez mais como um material de alta tecnologia ecológico, capaz de gerar sofisticados edifícios, que se adaptam ao clima. Do ponto de vista ecológico, alguns dos melhores edifícios recentes conjugam uma natureza híbrida, a qual mescla o aço e o concreto ou o aço e o tijolo. A seleção dos materiais busca a adequação. Em Doxford, próxima de Sunderland, Auketts e Studio E Arquitetos projetaram modernos edifícios de escritórios de três pavimentos com muros perimetrais portantes de tijolos (por seu rendimento térmico

e estética), estrutura de aço (por sua flexibilidade e rapidez de construção), painéis para tetos e piso de concreto pré-fabricado (por sua capacidade de esfriamento térmico) e fachadas fotovoltaicas (para gerar eletricidade in situ). A multiplicidade de materiais logra uma complexidade energética capaz de garantir a sustentabilidade. (EDWARDS, 2004)

○ aspecto econômico atualmente é o que mais tem pesado na escolha de materiais similares ou designados para a mesma função. Estes aspectos só avaliam as etapas de produção e transporte, não considerando os aspectos sociais e do meio ambiente. Uma análise mais detalhada de todo o ciclo de vida dos materiais construtivos, desde a extração da matéria prima – para a sua produção, sua utilização no processo de construção, até a fase de demolição da edificação (ou reciclagem respectiva) em que este foi utilizado, proporciona uma visão mais completa de como ocorre o processo e quais são as variáveis nele envolvidas. Os custos dos materiais construtivos são pagos não somente pelo cliente direto, mas também pelos usuários e pelo meio ambiente (MULFARTH, 2007. Pg. 36).

○ edifício deve ser visto como um organismo vivo, com seus complexos sistemas e interconexões, dos quais depende o seu funcionamento; deve ser analisado como um todo, um conjunto de materiais utilizados para uma única finalidade – a do habitat. A especificação de cada material é de fundamental importância, contudo a análise isolada dos mesmos irá tornar, em algum momento, inviabilizar a sustentabilidade da edificação.

○ grande volume de informações, a infinidade de instituições criadas, as pesquisas realizadas e infindáveis sistemas de certificação existentes traduzem não só a importância e necessidade urgente de mudanças, mas também a falta de foco que ainda é observada na temática da sustentabilidade. Este quadro não resulta em inovações significativas na arquitetura, ilustrando ainda o quanto se deve percorrer para chegar a um consenso. Com o acesso a tantas informações, alternativas e possibilidades, o profissional da área da construção civil chegou a ponto de estrangulamento: ou adotam-se soluções para a redução dos impactos da edificação, ou não existe mais saída. Materiais construtivos com baixo índice de energia embutida, painéis fotovoltaicos, sistemas construtivos racionalizados e modulares, energia eólica, biodigestores, teto verde, permacultura, orientação das fachadas, iluminação e ventilação naturais, células de combustível, geradores de energia eólica, reciclagem, reaproveitamento de materiais construtivos, consumo verde, edifícios inteligentes, armazenamento da água da chuva, reutilização de águas cinzas, sensores de temperatura e de presença, técnicas passivas de condicionamento térmico, pegada ecológica, adensamento dos grandes centros, transporte coletivo, softwares, arquitetura da terra, aumento das áreas de drenagem, diminuição do impacto da construção, utilização de materiais construtivos provenientes da localidade, planejamento na fase de projeto, eletrodomésticos com baixo consumo de energia... (MULFARTH, 2007. Pg. 35 e 36).

Roberta Kronka diz que decisões relacionadas à implantação da edificação podem acarretar em benefícios ou prejuízos, que serão carregados por todo o ciclo de vida da edificação. Uma implantação incorreta ou com alguns equívocos poderia acarretar insolação excessiva em determinadas fachadas e conseqüentemente maior consumo de ar condicionado e de energia. (...) “Também é importante conhecer o desempenho do material especificado, uma vez que a escolha de, por exemplo, um revestimento e até do tipo de vidro com desempenho inadequado pode acarretar em gastos com energia desnecessários para a edificação”, explica. Para a arquiteta, um custo inicial mais

elevado, na especificação de determinado material ou solução arquitetônica, pode acarretar ganhos e economia na vida útil da edificação. “É importante lembrar que a principal tarefa dos profissionais ligados à construção – neste momento em que a ação do Homem na natureza tornou-se insustentável – reside não só nos aspectos funcionais, bioclimáticos e operacionais das edificações, mas principalmente no desafio de implantar um novo modo de vida. Cabe aos profissionais contribuições não só quanto aos aspectos ambientais, mas principalmente quanto aos sociais”, acrescenta (Nascimento apud Mulfarth, 2007. Pg. 18).

#### **1.4 O papel do arquiteto**

O ato de projetar mais que nunca passa a ter uma dosagem extra de responsabilidade social, ambiental e econômica. O papel do arquiteto, enquanto pensador do espaço edificado deverá ter maior relevância.

Segundo Edwards (2004), os habitats criados pelos arquitetos devem contribuir a satisfazer tanto as necessidades humanas como a de outras espécies. Os arquitetos podem desempenhar um papel importante de três maneiras distintas:

? Podem fazer da criação de habitats naturais uma parte integrante do projeto arquitetônico;

? Podem selecionar os materiais de construção com sensibilidade ecológica;

? Podem favorecer o contato com a natureza.

Os arquitetos passam de criadores das edificações e áreas urbanas a conscientizadores de um novo modo de vida a ser buscado. A demanda tende a tornar-se diferenciada com o passar do tempo e consumidores cada vez mais exigentes em aspectos sustentáveis proporcionarão a transformação do mercado da construção.

Os profissionais da área da construção civil, arquitetos e engenheiros, possuem grande responsabilidade na redução dos impactos ambientais resultantes das suas decisões. Além disso, as soluções adotadas, pelos profissionais, em qualquer fase do ciclo de vida avaliado, podem e devem ter grande influência no usuário. Somente desta forma, ações efetivas serão realmente implantadas com o real objetivo de redução dos impactos ambientais, não só na arquitetura, mas na sociedade como um todo, como novos paradigmas... (MULFARTH, 2007. Pg. 37).

Edwards (2004) diz que os arquitetos, assim como muitos outros profissionais da construção, estão submetidos à certa pressão por parte dos clientes e de outros atores do processo produtivo para que reduzam o impacto ambiental negativo de seus edifícios. A extensão da consciência meio ambiental tem gerado uma sociedade mais exigente (clientes e usuários), que solicitam maior atenção ecológica sem custos adicionais.

“Uma grande culpa recai sobre nós, e não é exagerado dizer que se um extraterrestre nos visitasse, provavelmente nos veria como um vírus que ataca o planeta.

Seremos capazes de adotar um estilo de vida mais responsável? Preocupa-nos o suficiente? Se for assim, podemos mudar as coisas ou a democracia de mercado em que vivemos está fora de controle e destinada à autodestruição? A responsabilidade implica restrições, algo que é, por suposição, completamente contrário aos interesses de uma sociedade de consumo, na qual a possibilidade ilimitada de escolher é a que sustenta a oferta. O problema consiste em como vigiar o cumprimento das normas internacionais e quem o fará.” (HYETT, 2004, pg. 14 e 15).

Segundo Hyett (2004), devemos mudar nosso estilo de vida e tudo aquilo que o sustenta. Vivemos em um meio ambiente finito e nossos interesses entre indivíduos, empresas e nações estão irremediavelmente interrelacionados. Os arquitetos têm um

papel muito importante que desempenhar para obter uma sociedade responsável. Como projetistas criativos, podem plantar formas alternativas de cidade para garantir um futuro mais sustentável e estratégias de projeto mais responsáveis para edifícios individuais.

O autor faz uma reflexão quanto a uma mudança de paradigma:

“Na hora da verdade, só a sociedade pode exigir o desenho sustentável; os arquitetos não podem impô-lo e as associações profissionais são incapazes de regulá-lo.” (HYETT, 2004. Pg.17).

Cada realidade sócio-cultural vivencia ao seu modo o novo tempo, no continente Europeu os profissionais de arquitetura vem há mais tempo não só preparando-se, mas colocando em prática atitudes condizentes com a realidade atual.

A responsabilidade ambiental é da sociedade como um todo, e o arquiteto é um dos agentes de maior importância. Para Hyett (2004), a sustentabilidade tem se constituído, em prioridade política. Paralelamente tem se consolidado uma crescente consciência pública que se nutre de um novo estado de ânimo da opinião pública que deveria aproveitar-se ao máximo. É responsabilidade dos arquitetos proporcionar alternativas para o futuro que permitam à humanidade viver em harmonia com seu anfitrião, o meio ambiente.

O grande vilão da atualidade é sem dúvida o aquecimento global, diretamente ligado ao alto consumo de energia, tem colocado cientistas, políticos, industriais, e quase todas as demais classes da sociedade para pensar sobre o futuro. A reação da natureza ao que o próprio homem causou tem feito com que a visão de mundo do mesmo modifique-se radicalmente.

No quesito consumo de energia insere-se o edifício como o responsável por aproximadamente a metade das emissões de gases que geram o aquecimento do planeta. Edwards (2004) diz que os edifícios enfrentam um desafio singular. A maioria foi projetada quando a energia era abundante e se carecia de conhecimento sobre o aquecimento global. Os arquitetos e engenheiros confiavam na limitada disponibilidade de energia para aquecimento, iluminação, ventilação e elevadores. O apelo das mudanças climáticas exige, então, a atenção dos profissionais da construção quanto à sua responsabilidade com o meio ambiente.

Quanto a este processo, de adaptação dos arquitetos à nova realidade na produção dos edifícios, cabe abertura para maior discussão em outro espaço, uma vez que a apreensão de novas tecnologias, novos programas de simulação, os quais deveriam ser utilizados como ferramentas de projeto, enfim, a readequação a esta nova realidade, tem causado impactos e muitas vezes certa resistência de boa parte da categoria de profissionais, o que por sua vez reflete-se na arquitetura produzida.

### **1.5 O papel da academia**

Hyett (2004) expõe que, o Instituto Real de Arquitetos Britânicos – RIBA, associação profissional de arquitetos, tem convertido a sustentabilidade em uma parte obrigatória da educação dos arquitetos, e está fazendo esforços para convencer os profissionais associados, a indústria, os clientes e o público em geral da necessidade de considerar estes assuntos seriamente e envolver-se na eleição dos objetivos e as ambições em que se sustentam os projetos e finalmente as obras construídas.

No Brasil algumas Universidades propõem a responsabilidade ambiental, incluindo em suas grades curriculares o ensino de disciplinas com o referido conteúdo. Segundo Hyett (2004), o RIBA introduziu recentemente a sustentabilidade ecológica como um dos

novos critérios incluídos na documentação que se envia as faculdades que desejam obter e manter a homologação. Evidentemente, isto impõe às escolas a obrigação de introduzir enfoques em seus programas educativos que se reproduzam nos projetos de seus alunos. Esta iniciativa, que se aprovou no Conselho do RIBA, lhe concede uma influencia enorme. A sustentabilidade é agora uma matéria com entidade própria, não uma mera parte dos estudos de tecnologia.

## **1.6 Fontes limpas e renováveis de energia e a arquitetura sustentável**

O conceito de arquitetura sustentável, então, vem adquirindo conotações complementares e pertinentes à condição de urgência à proteção ambiental em que vivemos. Os nomes em destaque na produção da arquitetura contemporânea buscam aliar o velho conhecimento da arquitetura vernacular às tecnologias disponíveis no mercado. E a arquitetura que promove uma releitura da vernacular é também, sob determinados aspectos, denominada de arquitetura bioclimática. Então conclui-se que a atualidade requer uma arquitetura que seja bioclimática, tecnológica, sustentável.

“A arquitetura bioclimática é uma etapa atual do movimento climático-energético, e uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, e culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e meio” (BUSTOS ROMERO, 2001. Pg. 28).

Segundo Francisco Dantas, Diretor da Planejamento Térmico Integrado e Consultoria Ltda, o tratamento isotérmico adequado da envoltória das edificações, a observação dos fatores bioclimáticos, o correto dimensionamento e posicionamento das superfícies transparentes, a escolha criteriosa do tipo de vidro tendo em vista a eficiência energética óptica e térmica, a estanqueidade dos edifícios, e o bloqueio à infiltração de ar externo nos ambientes climatizados determinam o marco inicial no caminho do projeto dos chamados “Edifícios Verdes” (DANTAS, 2007. Pg. 22).

“A influência da arquitetura solar durante os anos que seguem à crise do petróleo de 1973, com destaque para suas modalidades solarizada, autônoma e bioclimática, é também uma reação à inadequação térmica da arquitetura moderna.” (BUSTOS ROMERO, 2001, pg. 19).

Bustos Romero (2001) contextualiza a utilização de fontes limpas de energia integradas à arquitetura, diferenciando as categorias da produção arquitetônica surgida em decorrência da crise energética. Com este objetivo, a autora utiliza conceitos retirados da revista *Architecture d'Aujourd'hui* de no 192, de 1977. Onde relata-se que: Arquitetura solarizada é a que faz uso dos chamados sistemas ativos de captação sobrepostos aos volumes construídos; Arquitetura autônoma é a que reivindica a independência energética dos volumes construídos; e Arquitetura bioclimática é a que modifica os volumes internos e sua pele a fim de melhorar o fluxo energético que atravessa a construção.

Da crise do petróleo de 1973, então, originam-se estudos que buscam a utilização de energia de fontes naturais (água, sol e vento). Estudos estes em sistemas isolados ou, mais recentemente, integrados a edificações.

Bustos Romero (2001) diferencia ainda os modelos bioclimáticos e os sistemas tecnológicos. Os primeiros aproximam-se das concepções vernáculas, enquanto os segundos se apóiam na industrialização e na standartização. Estes últimos também são chamados de sistemas ativos solarizados.

No presente estudo, portanto, o foco é a Arquitetura solarizada, ou os sistemas ativos

solarizados nos dias atuais.

Quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. As fontes de energia são, em última instância, derivadas do sol. É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a conseqüente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar. (CRESESB, 1999).

Edwards (2004) introduz a questão da energia, explicando que é um elemento essencial na busca da sustentabilidade. Se a sociedade pudesse gerar toda a energia que necessita a partir de fontes renováveis, não haveria nenhum conflito. Torna-se necessária maior preocupação por fontes alternativas de energia. Infelizmente, ainda falta muito desta consciência, sendo que alguns profissionais ainda declaram que a utilização de fontes alternativas de energia nada mais é que adereço em uma obra.

Quanto ao edifício e as mudanças climáticas, Edwards (2004) define que:

Além de evitar construir-se em planícies de inundações, a adaptação dos edifícios a mudança climática exige o respeito a três princípios:

? A envolvente e a superfície ocupada pelo edifício são fundamentais para sua sobrevivência a longo prazo, adaptabilidade e eficiência energética;

? A qualidade construtiva média deve ser mais alta (melhor isolamento, materiais de melhor qualidade);

? Devem prever-se meios para melhorar o acondicionamento dos edifícios, especialmente quanto à refrigeração e o consumo de energia renovável.

Tirar da cabeça dos empresários, poder público e dos próprios arquitetos a idéia de que uma "arquitetura sustentável importada" se transforma em arquitetura "insustentável" quando ultrapassa a fronteira Brasil adentro é mais um desafio. Para Denise Duarte o problema maior não é lançar mão do que há de mais avançado tecnologicamente pelo mundo, mas sim criar o hábito de se aplicar projetos mais sustentáveis. "A viabilidade econômica de muitas dessas soluções tecnológicas dependem simplesmente de investimentos em escala; por exemplo, o Brasil produz e exporta turbinas eólicas, e usa muito pouco a energia eólica dentro do seu próprio território. Outro exemplo difícil de entender é que, com tanta radiação solar disponível, a geração de energia com células fotovoltaicas ainda não tenha decolado, enquanto que em outros países, como a Alemanha, por exemplo, com uma disponibilidade muito menor de radiação solar, a geração de energia no próprio edifício ou em plantas solares é uma realidade há muitos anos", diz. "Dependendo do porte e do uso, edifícios geram, em parte ou totalmente, a energia que necessitam, e vendem o excedente para a rede, resultando não só em vantagens ambientais como também, econômicas", completa (Duarte apud Nascimento, 2007. Pg. 18, 19 e 20).

A utilização de fontes limpas ou renováveis de energia deve ser prevista em fase de projeto. Assim, segundo Edwards (2004), um desenho adequado (que explore, por exemplo, a capacidade térmica e a orientação do edifício) é fundamental para evitar o uso de aparatos condicionadores de ar autônomos, muito frequentes em climas mais quentes. Estes aparatos têm um alto consumo de energia elétrica e, dado que duram pouco e raras vezes se reciclam, geram inclusive mais problemas quanto ao consumo de recursos e a eliminação de resíduos.

“As principais fontes de energia renováveis em arquitetura são as energias solar, eólica e geotérmica” (EDWARDS, 2004, pg. 28).

Conforme Edwards (2004), na teoria, a energia renovável poderia satisfazer as necessidades energéticas da humanidade. A energia renovável pode empregar-se em edifícios de distintos modos. Pode:

- ? Extrair-se em outro lugar e distribuir-se através de canais convencionais;
- ? Extrair-se entorno do lugar onde está instalado o edifício;
- ? Extrair-se através da própria construção.

No caso da Europa, Edwards (2004) exemplifica sinteticamente que:

Uma colina orientada para o sul, por exemplo, facilita uma ótima exploração da energia solar, e um lugar exposto ao vento oferece a possibilidade de produzir eletricidade in situ mediante aerogeradores. (...) O primeiro princípio da energia renovável, portanto, é integrar as fontes de energia disponíveis e o método de exploração nas etapas iniciais do projeto (etapas A, B e C do trabalho do RIBA). Com muita frequência, a energia renovável é considerada só quando as decisões chaves que afetam seu aproveitamento foram tomadas. Este é o caso do desenho solar passivo, em que as limitações geométricas são muito importantes.

Edwards (2004) expõe que a iluminação artificial supõe um importante gasto energético nos edifícios. A forma mais barata de reduzir a quantidade de energia destinada à iluminação e aproveitar ao máximo a luz solar.

De acordo com Geraldo Serra, do ponto de vista tecnológico não há nada que impeça uma residência de coletar a totalidade da energia que vai consumir. “O problema é que não há um programa que envolva as distribuidoras de energia e que permita uma residência ser cogeneradora”, explica (Serra apud Capozzi, 2006. Pg. 43).

As perspectivas energéticas na União Européia são otimistas:

<b>Crescimento previsível do uso de energia renovável na UE (União Européia)</b>		
<b>Tipo de energia</b>	<b>1995</b>	<b>2010</b>
Vento	2,5 GW	40 GW
Células Fotovoltaicas	0.03 GW	3 GW
Biomassa	45 Mtep	135 Mtep
Geotérmica (bombas de calor)	1,3GW	5 GW
Coletores solares térmicos	6,5M m <sup>2</sup>	100M m <sup>2</sup>

Fonte: Sistemas de energia renovável, (UE) 1998, pág. 29 apud Edwards, 2004, pg. 31.

A legislação vigente na União Européia exige que pelo menos 12% da energia total consumida nas edificações seja obtida a partir da energia solar, através do emprego de painéis solares fotovoltaicos que captam e transformam a energia solar em energia elétrica, podendo operar em paralelo com a rede de distribuição que vem da Concessionária de energia elétrica. Há também configurações que utilizam sistemas híbridos que operam alternativamente instalações térmicas nas situações de baixa incidência solar. (...). Num clima tropical e de alta incidência solar o ano inteiro, como é o caso do Brasil, a viabilidade técnico/econômica é, certamente, muito superior à européia, cujo tempo médio de retorno do investimento é de cerca de 25 anos. (...). Temos fundadas esperanças de que possamos ter no Brasil e América Latina, num futuro breve, legislação que regule e exija medidas de preservação do meio ambiente como ocorre na União Européia. (DANTAS, 2007. Pg. 23)

Ainda sobre Arquitetura Sustentável e fontes limpas de energia, o arquiteto Siegbert

Zanettini – professor titular da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - FAUUSP - questiona: como falar em cidades sustentáveis, (...) quando 70% de nossas matas foram delapidadas pela ocupação gananciosa e desordenada; quando as verbas destinadas à educação e à saúde são irrisórias face às necessidades do País; quando não há incentivos para investimentos em tecnologia de ponta; quando uma nação de dimensões gigantescas teima em utilizar transporte sobre rodas, congestionante e poluidor; quando um País que é um continente de condições ambientais naturais fantásticas em termos de sol, clima, água, solo e subsolo, não possui projetos institucionais para criação de energias alternativas; quando ainda inúmeras cidades, não possuem infra-estrutura básica de água tratada, de esgoto e de energia; quando os direitos civis são restritos a poucos e, principalmente, “quando não houver um compromisso de todos no sentido de transformar as cidades em espaços dignos para a vida,” frase que empresto do arquiteto José Wellington Costa (ZANETTINI, 2007. Pg. 01).

O arquiteto prossegue sua abordagem relatando que começamos a explicitar as exigências crescentes e cada vez mais instrumentalizadas traduzidas em proteções, garantias, certificações, homologações, normas, que garantam qualidade, desempenho, durabilidade, economia e resguardem a integridade do produto, seja edificação ou objeto. A gradativa utilização de tecnologias limpas avançou no sentido de diminuir a poluição, sonora e atmosférica, com menos desperdício e menos agressão ao meio ambiente (ZANETTINI, 2007. Pg. 03).

Para Zanettini, o uso de novas tecnologias, visando a uma produção mais controlada por processos industrializados, deveria fazer do canteiro de obras o local de montagem. Isso implica numa abordagem sistêmica e planejada de todo o ciclo produtivo da obra, desde a elaboração de projetos detalhados e compatibilizados. Assim não haveria improvisos ou soluções de obra, como ocorre com frequência na obra tradicional. Daí, outro aspecto a destacar: a importância do projeto na explicitação da noção de qualidade na cadeia produtiva da construção civil. (...) Não devemos confundir a oportunidade do assunto que precisa ser aprofundado para que a construção atinja um elevado nível técnico e estético, com o oportunismo de utilizar a questão da sustentabilidade como objetivo de marketing e de promoção de vendas (ZANETTINI, 2007. Pg. 04 e 05).

É possível operar os edifícios projetados racionalmente do ponto de vista energético, consumindo menos da metade da energia despendida nos edifícios concebidos e construídos sob os paradigmas vigentes nos últimos 30 anos, preservando, ou até melhorando, as condições de conforto ambiental e economizando o equivalente a várias vezes o montante do seu valor patrimonial, durante sua vida útil. A preocupação atual para obtenção de energia nova oriunda de fontes limpas, renováveis e ambientalmente toleráveis, deverá caminhar paralelamente com uma outra preocupação ainda mais importante e prioritária, a obtenção de energia virtual a partir da eficiência e racionalização do modelo existente. Isso é sustentabilidade! (DANTAS, 2007. Pg. 25)

### **1.7 A energia solar e a sustentabilidade dos edifícios**

Inserindo o presente estudo no contexto da arquitetura sustentável com ênfase aos aspectos tecnológicos e da utilização de fontes renováveis de energia, com a geração da mesma através da própria construção, o presente estudo busca a energia solar como fonte limpa de energia para o edifício estudo de caso.

Segundo Edwards (2004), a radiação solar é a base da fotossíntese e a principal fonte de energia renovável. A energia solar da vida a vegetação, que pode utilizar-se

como combustível diretamente ou extraindo-o de cultivos. Em geral, a energia solar se utiliza de forma passiva nos edifícios para aquecer, ventilar e iluminar espaços, também de forma ativa para aquecer água e coletores dispostos sobre a cobertura do edifício e para gerar eletricidade mediante células fotovoltaicas.

Finalmente Edwards (2004) aproxima-se do enfoque central do presente trabalho, expondo que a energia solar também está cada vez mais sendo explorada mediante painéis fotovoltaicos. Sua utilização em edifícios se faz mais freqüente à medida que baixam os custos da tecnologia fotovoltaica e aumenta a confiança em sua eficiência. O uso desta tecnologia aumenta 10% cada ano em todo o mundo, enquanto os custos se reduzem inicialmente em 12% agora aproximadamente 4% cada ano. Tem-se levado a cabo numerosos projetos modelo como a aldeia dos atletas dos Jogos Olímpicos de Sydney, que contava com 665 casas aquecidas, iluminadas e ventiladas quase totalmente mediante eletricidade gerada por painéis fotovoltaicos situados na cobertura. A Oficina de Energia Solar de Doxford, próxima de Sunderland, projetada por Studio E Architects, constitui outro projeto exemplar. Neste edifício, os painéis fotovoltaicos, capazes de gerar 70 kW, estão integrados em uma grande fachada de vidro orientada para o sul, que também utiliza técnicas de energia solar passiva. Os programas de simulação de consumo de energia do edifício prevêem um consumo médio de 85 kW/h/m<sup>2</sup> por ano, o que significa um ganho de um terço comparado ao consumo médio das oficinas da região.

Existem diversas fontes limpas e renováveis de energia comprovadamente viáveis para o Brasil. Entendemos que entre as demais, a energia solar, mais que relacionada à questão da eficiência energética, esteja conceitualmente inserida no contexto da Sustentabilidade na Arquitetura. Assim, buscando um referencial preciso para o presente trabalho, daremos seqüência abordando a questão da Energia.

Outro exemplo importante de integração de fontes renováveis de energia é o edifício Solar XXI, um edifício energeticamente eficiente em Portugal, com funções de serviços (salas e gabinetes de trabalho) e laboratórios, com uma área total de 1500,00m<sup>2</sup> dividida por três pisos, um dos quais semi-enterrado. (...) A idéia inicial e objetivo central do projeto é que o edifício possa responder positivamente às solicitações do clima de Lisboa, e que as condições de conforto térmico no seu interior sejam satisfeitas durante todo o ano. (...) Potenciar os ganhos solares no inverno e reduzi-los no verão foi a estratégia dominante no projeto, que determinou a sua implantação e o dimensionamento e orientação das áreas de vãos do edifício. Na fachada Sul, foi projetada a integração de um sistema solar fotovoltaico com painéis modulares, cobrindo uma superfície total de cerca de 100,00m<sup>2</sup> em harmonia com os vãos envidraçados (GONÇALVES, 2007. Pg. 42 e 43).

Segundo o coordenador do projeto de investigação acerca do Solar XXI, o propósito de integrar no Edifício um sistema fotovoltaico foi uma intenção de primeira hora, quando do arranque do projeto do edifício. Sendo um edifício demonstrativo e de estudo na área das Energias Renováveis, desejou-se que o "solar fotovoltaico", a par do "solar térmico" (ativo e passivo), constituísse parte integrante e fundamental neste projeto. Vários desafios envolveram esta opção, motivada pelo desejo de integrar na arquitetura do edifício um novo elemento, eventualmente "estranho" à concepção arquitetônica, mas que pudesse constituir um exemplo positivo de integração. Neste processo, uma das questões fundamentais teve a ver com a sua localização no edifício, fachada versus cobertura, ou a sua inclinação de modo a potenciar a captação solar e assim aumentar a produção de energia elétrica. A maturação destas questões conduziu à idéia de um

aproveitamento suplementar deste “sistema”, o de recuperar o calor produzido pelos painéis fotovoltaicos e utilizá-lo para aquecimento do edifício. Projetou-se, assim, um sistema fotovoltaico integrado na fachada Sul do edifício, agrupando módulos de painéis fotovoltaicos (silício multicristalino) em posição vertical, numa superfície total de 100,00m<sup>2</sup>. Estes painéis permitem o fornecimento direto de energia elétrica ao edifício, cerca de 12 kWp, capazes de produzir 12000 kWh/ano para as condições específicas de integração vertical na fachada e para o clima de Lisboa. A integração destes painéis foi feita de modo a permitir o aproveitamento térmico do calor produzido no período de inverno. Este calor aquece a faixa de ar existente entre os painéis fotovoltaicos e a parede exterior do edifício, potenciando correntes de convecção natural. (GONÇALVES, 2007. Pg. 45 e 46).

Instalações solares fotovoltaicas, integradas a prédios comerciais de escritórios e interligados à rede elétrica pública, são um exemplo de aplicação ideal destes sistemas, onde picos de consumo e geração são muitas vezes coincidentes, aliviando assim o sistema de distribuição da concessionária elétrica. (RUTHER, 2004).

Neste sentido, a importância do estudo aplicado a um edifício público conectado à rede elétrica urbana, busca entre outros objetivos, demonstrar a viabilidade da aplicação da tecnologia proposta e popularizar a utilização da mesma, desmistificando a integração à produção arquitetônica.

A utilização de uma fonte limpa e renovável de energia em edifícios públicos, consumidores de grandes quantidades de energia destinadas principalmente à climatização artificial, representaria uma grande contribuição ao meio ambiente. Talvez aos cofres públicos não fosse interessante inicialmente, mas em longo prazo, com certeza sim.

## **Conclusões**

A arquitetura sustentável, mais que focada ao tripé social, ambiental e econômico, volta-se fundamentalmente aos aspectos tecnológicos. A sustentabilidade em edifícios vai além da busca pelo conforto térmico e a eficiência energética, busca respeitar o meio ambiente com a utilização de fontes de energias limpas e renováveis e é o principal argumento para a produção arquitetônica no século XXI. Há de se considerar o complexo sistema urbano do qual fazem parte os edifícios no ato de projetá-los a fim de que sejam ambientalmente sustentáveis. A sustentabilidade também traduz edifícios que geram sua própria energia e que dispõem, por exemplo, de jardins internos e/ou árvores ao redor, que geram um microclima mais ameno. A produção de edifícios sustentáveis é uma etapa da reconciliação do habitat humano com a natureza e o arquiteto é o mediador deste processo. A preocupação com a questão do consumo de energia como indicador que proporciona dados para melhorar o rendimento do edifício e a utilização de fontes alternativas de energia são características fundamentais da nova concepção arquitetônica as quais vêm a conceituar a Arquitetura Sustentável.

Entre as fontes limpas de energia a integrarem-se em edificações destaca-se a energia solar fotovoltaica, que pode ser utilizada de maneira passiva e ativa e mais que relacionada à eficiência energética, caracteriza-se por um sistema tecnológico conceitualmente inserido no contexto da sustentabilidade na arquitetura. A tecnologia de sistemas fotovoltaicos (FV) trata da conversão da energia solar em elétrica e segundo estudos, a integração desta tecnologia à arquitetura tem maior aplicabilidade em edifícios públicos, onde o pico de consumo de energia coincide com o pico de geração do sistema, aliviando a rede elétrica pública.

# CAPÍTULO 2



**O CONTEXTO DA ENERGIA**

## 2.0 O CONTEXTO DA ENERGIA

### 2.1 Aspectos Gerais

O desenvolvimento da questão energética confunde-se com a própria história da humanidade. Os períodos de crise energética, os ataques terroristas decorrentes de conflitos bélicos pelo poderio do petróleo, o tão discutido aquecimento global, a busca por soluções alternativas e as barreiras enfrentadas para a disseminação de novas tecnologias, enfim, a incerteza quanto à existência de recursos naturais para as próximas gerações, todos estes fatores envolvem-se na polêmica da energia.

Para abordar a questão da Energia três autores fundamentam o estudo: Ivo Marcos Theis (1990), que faz um histórico da questão energética com enfoque multidisciplinar; J. W. Bautista Vidal (2004), que aborda a questão energética com enfoque multidisciplinar e maior ênfase aos aspectos políticos; e Daniel Hémerly (1993), autor francês que faz um apanhado histórico da questão energética, com uma visão multidisciplinar e dentro de um contexto internacional.

Os aspectos enfocados em comum entre os autores são basicamente: a História; Aspectos Multidisciplinares; O cenário nacional; O cenário internacional; Conflitos Bélicos / Poderio do Petróleo; Crise de 1973 – do Petróleo; Petrobrás; O dólar; A dívida externa; A industrialização; A evolução dos transportes; O consumo de energia elétrica; Oferta x Demanda; A crise atual – ecológica; Mudanças Climáticas; Fontes Alternativas de Energia; Riquezas Naturais no Brasil; Alienação Energética; Aspectos Tecnológicos;



Figura 06 - Gráfico da energia. Fonte: Hémerly (1993). Pg. 435.

Energia Solar; Biomassa; e Energia Solar Fotovoltaica.

**Conceitos:**

“A energia pode apresentar-se sob formas muito diferentes, transformando-se uma nas outras. Excetua-se o caso da energia luminosa que, assim se transmite, existe sem qualquer apoio material; todas as outras formas dependem de um apoio material, que é o núcleo de átomos quando se trata de energia nuclear; são as estruturas moleculares quando se trata de energia química; são grandes 'sistemas' (nuvens, reservatórios de água) quando se trata de energia potencial mecânica.

No nível dos núcleos ou das moléculas, trata-se de um estoque à escala microscópica; no caso de uma barragem, de um estoque à escala macroscópica. O diagrama de Thiring (figura 06) representa algumas das relações entre diferentes formas de energia que acabamos de evocar, assim como alguns transformadores ou aparelhos que permitem passar de uma forma à outra.” (HÉMERY, 1993. Pg. 435)

*“A questão energética é multidisciplinar pela sua abrangência política, social e econômica. É holística por associar o homem com um fenômeno que a modernidade definiu como prioritário para a articulação social. É essencial ao homem, pois está associado à sobrevivência da espécie. É, pois, necessário que engenheiros, físicos, economistas, administradores, antropólogos, biólogos, cientistas políticos e sociais sejam estimulados a tornarem a questão energética focal no elenco de suas preocupações.” (SALM, 1990, pg. 11).*

“O uso da energia se confunde com a história. A energia é parâmetro essencial da conceituação e do entendimento do processo civilizatório do homem sobre a Terra. É, portanto, algo do qual dependem todas as suas atividades, além da própria vida. O entendimento da sua natureza é essencial para a montagem de adequadas estruturas jurídico-institucionais que definem as nações. Evidentemente, a questão energética, por sua íntima vinculação ao território, está na origem da existência contemporânea do Estado nacional.” (BAUTISTA VIDAL, 2004, pg.259).

A abrangência da discussão sobre energia é multidisciplinar e transcende a questão da produção, distribuição e uso final. A questão da globalização, também enfocada por Bautista Vidal, expõe a internacionalização do comércio de energia, a qual segundo Geller (2003), mesmo não sendo a globalização benéfica aos países pobres, o comércio mundial vem crescendo. A energia vai além das usinas, da produção de combustíveis, dos sistemas de distribuição e das tecnologias de uso final. A energia tem dimensões sociais e econômicas, incluindo as instituições que produzem, comercializam e mantêm as tecnológicas energéticas. A energia também se encaixa em um contexto social maior. É importante reconhecer as principais tendências econômicas e sociais do mundo atual, como a crescente globalização, a reestruturação do setor energético e sua privatização, a rápida inovação tecnológica e a urbanização. Todas essas tendências irão influenciar as estratégias e sistemas energéticos do século XXI e tudo deve ser levado em conta, uma vez que as políticas para uma revolução energética já estão delineadas e implementadas.

## **2.2 A história da energia**

Sob a premissa de que a história da energia se confunde com a história das civilizações, consideramos de fundamental importância tal revisão.

Assim, segundo Hémerly (1993), a rede elétrica, tal como concebida por Edison, era um complexo onde se integravam de forma muito estreita as tecnologias e as instâncias

financeiras, comerciais e políticas: o que ele inventou, desde o início, não foram técnicas e processos, foi um sistema completo. O sistema de Edison tinha tanto uma natureza política e financeira, quanto tecnológica. Ao se associar a um conselheiro econômico como Grosvenor Lowrey, estreitamente ligado ao mundo dos políticos e dos banqueiros, o faz no mesmo espírito com que reuniu em Menlo Park uma equipe de pesquisadores destinados a descobrir os processos mais adaptados a seu sistema. Para ele, uma boa concessão e um financiamento vantajoso eram, como sublinha Hughes, “tão necessários ao sucesso comercial do empreendimento quanto um bom dínamo.” Assim, Lowrey, que mantinha boas relações com o grupo de banqueiro novaiorquino J. Pierpont Morgan, obteve deste, em 1881, os capitais necessários à realização do primeiro sistema de iluminação elétrica que serviu à área de Wall Street, em New York. A rede elétrica, tal como concebeu Edison, era limitada ao quadro urbano; na mesma escala, no final das contas, que as redes de gás.

Quanto ao avanço histórico da energia elétrica Hémerly (1993) relata fato significativo em Paris, de que o número de consumidores registrados de eletricidade, em 1896, não ultrapassava 9250, contra 350 mil consumidores de gás. A dinâmica das grandes redes elétricas que pôs fim a esta diversidade foi posta em ação, ao mesmo tempo, pelos europeus e pelos americanos. A oferta, com efeito, passou a crescer mais depressa que a demanda, graças à exploração de fontes e de formas de energia que necessitavam cada vez menos de investimentos em trabalho humano e cujo transporte era realizado com uma eficácia crescente. A diversificação dos usos respondeu a este crescimento da oferta de energia, e a demanda multiplicou-se: de 1880 a 1914, o ritmo de crescimento do consumo de eletricidade dos principais países industriais manteve-se quase sempre acima de 10% ao ano, em média.

Os industriais do final do século XIX sonhavam com as possibilidades que o uso da eletricidade trazia. Como relata Hémerly (1993), para os meios de transporte a eletricidade foi um marco: em 1878, na exposição de Berlim, Werner Siemens apresentou a primeira ferrovia eletrificada, abrindo assim o caminho para as aplicações motrizes da eletricidade. Seguiram-se outras aplicações na química pesada e na metalurgia e enfim, em 1894, após a invenção, por Tesla, dos alternadores polifásicos de corrente alternada, o desenvolvimento, por ele mesmo, de um conversor de importância capital para a evolução posterior do sistema energético: o motor de corrente alternada. Multiplicavam-se os usos industriais de energia elétrica ao mesmo tempo que baixavam seus custos; para a produção de eletricidade, a turbina hidráulica tornou-se uma opção em relação à máquina a vapor, diversificando assim as fontes de energia primária e permitindo o transporte da energia hidráulica, que até então ficara confinada aos locais de exploração.

Theis (1990) destaca o pioneirismo do Brasil em relação à energia elétrica. No ano em que Thomas Alva Edison (1879) constrói a primeira usina elétrica para distribuição de energia para a cidade de Nova York, D. Pedro II inaugura a iluminação elétrica da antiga Estação da Corte, iniciando o emprego de energia elétrica gerada por meios mecânicos no país. Quatro anos após, a 24 de junho de 1883, a cidade de Campos (RJ) é a primeira no Brasil e na América do Sul a receber iluminação pública elétrica. Já “quanto às hidrelétricas, se bem que pequenas tentativas tenham sido feitas em data anterior a 1889, não há dúvida de que, para Serviços de Utilidade Pública, a usina do rio Paraíba, destinada a suprir Juiz de Fora, foi a primeira usina hidrelétrica do Brasil”.

Segundo Theis (1990), a partir do ano de 1883 cresce a participação do setor elétrico na geração de energia. A inexistência de pesquisa na época talvez explique a

falta de dados acerca do consumo de energia no Brasil antes de 1930. Contudo, é certo que terá havido considerável consumo de energia que corresponde às necessidades daqueles setores da atividade mais dinâmicos antes do advento da Revolução Industrial Brasileira. Seis são as fontes energéticas mais importantes que atendiam à demanda no Brasil no período anterior ao término da 2ª Guerra Mundial: petróleo, carvão, hidreletricidade, lenha, carvão vegetal e bagaço de cana.

Hémery (1993) destaca que é preciso relembrar a experiência do advento da energia elétrica, quando à medida que a tecnologia avançava, com o aperfeiçoamento dos equipamentos e popularização da energia elétrica, os preços iam caindo. A expansão da eletricidade teve duplo efeito sobre a estrutura do sistema energético. Como meio de transporte da energia, revelou-se mais rápida e mais econômica que o transporte de combustíveis por ferrovia; como fonte de energia motriz, implicou a substituição dos conversores de carvão.

Quanto aos equipamentos, Hémery (1993) relata que a melhoria do rendimento dos conversores aparece igualmente na relação dos preços do carvão e da eletricidade; na França, em 1913, uma tonelada de carvão custava ainda, em média, tão caro quanto 41 kwh de eletricidade; em 1938, o preço relativo da energia elétrica tinha diminuído sensivelmente, pois o preço da tonelada de carvão equivalia então ao de 152 kwh. A mesma evolução pode ser observada no que se refere ao consumo residencial: o preço de uma tonelada de carvão equivale a 91 kwh em 1913 e a 240 kwh em 1938. Para a Europa o rendimento econômico dos sistemas energéticos aumenta até a crise dos anos 1930; a crise dos anos 30, no entanto, veio a desacelerar este processo de mutação energética. Na Europa, observando-se a continuidade do uso dos antigos conversores, como moinhos hidráulicos e de vento. A mutação desacelera-se, mas continuava a processar-se de forma irreversível com os adventos da hidroeletricidade e das refinarias de petróleo durante estes anos de crise. Testemunha desta transformação: a modernização das estruturas de produção de energia. De um lado, a hidroeletricidade, um dos principais indutores da modernização, passa de 40% da produção total da eletricidade em 1929 a 60% em 1938; de outro lado desenvolve-se na França uma verdadeira indústria de refinação do petróleo, mesmo durante os anos mais duros da crise da década de 1930. Na década de 30 ocorre ainda o abandono das formas antigas de energia, dos séculos anteriores, como: a navegação à vela, a lenha, a tração animal e até a máquina à vapor. Mas o advento da energia elétrica também mostrou-se lento enquanto processo de mutação energética. E as dificuldades quanto à transição e distribuição já eram mencionadas. Após uma lenta regressão iniciada ao fim da Primeira Guerra Mundial, a potência instalada em máquinas a vapor diminui em ritmo acelerado a partir de 1935. A eletricidade e o petróleo triunfam tibiamente, sobre o pano de fundo de uma conjuntura econômica em desaceleração.

Hémery (1993) coloca que na virada do século XIX para XX, a questão energética confunde-se com o sistema econômico vigente entre os países dominantes, assim fica perceptível que a história da energia manifesta-se na trajetória da humanidade. Os países hegemônicos, dominantes (Alemanha e EUA), são também os países que detêm a tecnologia e as indústrias fabricantes dos conversores e responsáveis pela geração de eletricidade.

Nos Estados Unidos, a unificação financeira foi o ponto de partida da unificação técnica, após a fusão, em 1892, da Edison General Electric e da Thompson Houston, para constituir a General Electric. Segue-se a construção de redes regionais resultantes do reagrupamento de redes locais, com a de Chicago, organizada por Samuel Insull (um

dos colaboradores de Edison e principal artesão da incorporação da General Electric), que tinha compreendido que a rentabilidade de uma rede estava ligada ao seu porte e à repartição de sua carga. Segundo Hémerly (1993), o processo de unificação dos sistemas foi lento: em 1937, os autores do relatório “Orientações tecnológicas e políticas nacional”, encomendado pelos responsáveis pelo New Deal, insistiam ainda sobre os progressos a realizar em matéria de transmissão e distribuição eficazes da energia elétrica, que consideravam como o principal problema da indústria, na época, e o primeiro objetivo a realizar. Mas o que caracteriza a situação da “linha elétrica” nos Estados Unidos, na época, é que o sistema da General Electric cobre um complexo conjunto de atividades que vai da fabricação dos motores à distribuição de eletricidade. Graças aos recursos humanos, aos conhecimentos e aos capitais reunidos, constitui-se um inédito conjunto de atividades cujas relações internas levam a uma situação de monopólio e onde, de fato, o sistema confunde-se com a rede elétrica a que serve. Para Lênin, é esta “indústria elétrica que caracteriza melhor que qualquer outra o capitalismo do fim do século XIX e início do XX. O setor se caracteriza também por seu alto grau de internacionalização, um número restrito de sociedades lideradas por duas sociedades-gigantescas, uma americana a General Electric, a outra alemã, a Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft - AEG.

E a história da energia elétrica está também atrelada à história do automóvel. No contexto geral dos anos 1930, a eletricidade revela-se como a forma de energia própria do novo regime de regulação do sistema capitalista. Neste sentido, os resultados de sua implantação não aparecem de imediato, mas após 1945 ela se firma como um dos componentes essenciais da alternativa à crise do regime de acumulação anterior: de certa forma, a eletricidade é uma das energias do 'fordismo'.

Neste período no Brasil, a Petrobrás desempenha papel fundamental no desenvolvimento energético do país. Mais expressiva é a participação do petróleo e de seus derivados no consumo de energia no período entre 1945 e 1964. A produção nacional, para tanto, salta de aproximadamente 67 mil barris/ano, em 1946, para mais de 35 milhões e 700 mil barris/ano, em 1963. Não há lugar a dúvida de que a razão fundamental para um crescimento como o mencionado está na criação da Petrobrás (THEIS, 1990).

Outros marcos também são citados por Theis (1990), como a política de expansão da produção de petróleo, que encontraria respaldo no Plano de Metas. Ou seja: o Governo Kubitschek privilegiaria o aumento da produção petrolífera em vista dos objetivos de consolidar o processo de industrialização e de lograr os índices de crescimento que permitissem reduzir o grau de subdesenvolvimento do país.

Theis (1990) destaca a questão da dívida externa devido ao comércio exterior de energia, com predominância das importações de petróleo. A chamada “conta petróleo” implicou, a partir de 1973, em maiores necessidades para o financiamento das importações crescentes. Parte dos recursos necessários teve origem no aumento da Dívida Externa, no ingresso de capital novo, mas também, como se constata, na elevação das exportações. Infere-se que o comércio externo de energia, ao longo do período em análise (1930 a 1980), consistiu de uma avenida de mão única, isto é, predominaram, em virtude da considerável dependência do país, as importações de energia, particularmente do petróleo.

E a partir da década de 70 a vida cotidiana segue o modelo da eletrificação de tudo que se utiliza, da disseminação de eletrodomésticos e de equipamentos que facilitem tarefas rotineiras e/ou promovam entretenimento. O modelo de consumo que se impõe

desde então em todo o mundo industrializado é o american way of life, definitivamente baseado na eletrificação da vida cotidiana (HÉMERY, 1993).

Na década de 70 a demanda por soluções já era urgente. Visualizavam-se duas saídas para a crise: a contenção da demanda e a ampliação da oferta. Observou-se, então, a ênfase pela oferta. É possível enfrentar o “problema” empregando um dos dois tipos de ação possíveis: elevar a oferta ou conter a demanda. No caso brasileiro, o principal esforço se concentra sobre fortes alternativas para produzir mais energia, a fim de substituir o petróleo importado. A ação é assim dirigida para a oferta de energia e não para a sua utilização.

“Nos últimos tempos, o mundo inteiro vem-se preocupando com a crise de energia. Enquanto a demanda cresce a 5% ao ano e as fontes clássicas de energia caminham para a exaustão, ganha urgência dia-a-dia a necessidade de se encontrar soluções para o problema, que atinge tanto os países desenvolvidos como os em desenvolvimento. No ano de 2000 a população mundial atingirá o dobro da de hoje, e sem falar num aumento do padrão de vida, ela exigirá uma produção energética três vezes maior que a atual, pois é da energia que dependerá o aumento da produção alimentar e industrial” (HARRY LUSTIG, 1974 apud THEIS, 1990, pg. 140).

Segundo Theis (1990) a ênfase na ampliação da oferta de energia teria sido reafirmada até mesmo diante das crises de petróleo de 1973 e 1979. Embora na época (1979) a criação da Comissão Nacional de Energia e a elaboração de um documento intitulado Modelo Energético Brasileiro – MEB -indicassem que o Governo Federal começava a encarar a questão energética em termos globais e a implementar uma política energética integrada, o que tais instrumento e estratégia de ação do governo federal buscavam era somente a estabilização até 1985, da importação de petróleo aos níveis vigentes em 1979, ou seja, 1 milhão de barris diários consoante a hierarquização dos projetos economicamente viáveis de acordo com a relação custo-benefício, estabelecendo metas compatíveis para as fontes já testadas no país.

Em resumo, são duas as proposições básicas contidas no MEB:

a. Dentro do ramo combustível, substituir o petróleo importado pelo petróleo nacional e por combustíveis alternativos a derivados específicos, como o álcool etílico em relação à gasolina e o carvão mineral em relação ao óleo combustível; conservar o consumo de petróleo, de modo a obter uma economia líquida de 200 barris por dia ao consumo nacional de petróleo previsto para 1985.

b. Aumentar a participação da energia sob forma elétrica na estrutura do consumo de energia primária em detrimento do setor combustível líquido e sólido, ou seja, elevar o grau de eletrificação do setor energético nacional.

Estudos têm sido levados a efeito no sentido de propiciar o aproveitamento de alternativas ainda não bem conhecidas, o que viria a ampliar a possibilidade de se alcançar a meta da redução da dependência consubstanciada nas proposições contidas na MEB.

No caso da Energia Elétrica, entre as alternativas sugeridas estão:

- ? Usinas reversíveis;
- ? Geração de hidrogênio por Eletrólise;
- ? Minipotenciais Hidrelétricos;
- ? Energia do Mar (Usinas Maré-Motrizes, Potencial Térmico de Profundidade, Energia das Ondas);

- ¿ Energia Eólica;
- ¿ Energia Solar Direta;
- ¿ Gasogênios a Lenha.

Para Theis (1990) “a substituição do Petróleo no Brasil é necessária, sob o ponto de vista da segurança; conveniente sob o enfoque macro-econômico; e viável sob os pontos de vista técnico e econômico.” O autor reafirma que o problema das perspectivas de suprimento das necessidades brasileiras de energia tem sido preferencialmente atacado pelo lado da oferta. Isto é, a política energética governamental e mesmo parte considerável da produção científica que se dedica à questão energética têm priorizado a ampliação da disponibilidade de recursos energéticos. Fundamentalmente, “o suprimento energético é, primeiro, uma necessidade estratégica de sobrevivência para uma civilização moderna; e subsidiariamente é que há de se pensar o preço da energia”.

“O desafio consiste em reduzir a demanda energética para o mesmo nível de satisfação das necessidades da população e satisfação simultaneamente dos critérios de viabilidade econômica, utilidade social e harmonia com o meio-ambiente.” (THEIS, 1990, pg. 143)

O autor faz uma análise pertinente quanto à relação do consumo de energia com a situação econômica dos consumidores quando diz que “é inequívoca a correlação existente entre a evolução no consumo de energia e a evolução do PIB, variando apenas com o grau de especialização dos vários setores econômicos, a extensão territorial, bem como a configuração e localização espacial das atividades econômicas e mercados”.

“O processo de desenvolvimento econômico é o processo da utilização de mais energia para aumentar a produtividade e a eficiência do trabalho humano. De fato, um dos melhores indícios da riqueza de uma população humana é a quantidade de energia que ela consome por pessoa” (THEIS, 1990, pg. 152).

Theis (1990) faz uma retrospectiva histórica, informando sobre dados relativos aos anos de 1961 e 1968 demonstram que, realmente, havia uma correlação bem definida entre consumo de energia e o PNB per capita. Contudo, tem se verificado uma completa reversão das tendências mencionadas, de forma que:

“Principalmente a partir de 1973 a energia passou a ser o fator mais escasso do processo de desenvolvimento e isso tem condicionado a evolução relativa do PNB per capita e do consumo de energia per capita a ponto de já não se poder mais afirmar que o crescimento de um pressupõe o crescimento exponencial do outro” (THEIS, 1990, pg. 153).

Theis (1990) faz uma suposição, explicando que a despeito de no ano passado ter havido uma associação estreita entre consumo de energia e crescimento econômico, não se pode inferir – pelas evidências do presente – que no futuro se vão manter as tendências apontadas.

Já no Brasil Theis (1990), explica que a demanda aumenta em decorrência da industrialização. O incremento da atividade industrial impôs que se elevasse a oferta interna de energia a partir da terceira década do presente século. A industrialização se inicia com o prolongamento do capital cafeeiro, intensificando-se a partir da década de trinta, quando assume o caráter de processo substitutivo de importações.

Theis (1990) dá continuidade à sua análise histórica fazendo um paralelo dos acontecimentos políticos, como o advento do regime militar e a questão energética, caracterizando o momento. No período seguinte, que, para os efeitos desejados, vai do fim do Segundo Conflito Mundial até o advento dos Governos Militares, o país assistirá a

um impulso ainda mais pronunciado no setor industrial, que levará a um crescimento significativo do produto total. Entre 1952 e 1964 é a crescente participação dos derivados de petróleo na demanda total. Por esta razão, em virtude de um crescimento modesto da participação da lenha, esta passa a ser a segunda fonte ao final do período. Na medida em que se aprofunda o processo de industrialização, cresce, em termos absolutos e relativos, o consumo de derivados do petróleo. Finalmente no período compreendido pela vigência do regime militar, isto é, de 1964 a 1980, pode-se observar uma mudança nada desprezível na estrutura da economia brasileira. Da onda depressiva que se instalara a partir de 1961 – e que se estendeu até 1967 - emergiu uma indústria “nova”, por assim dizer, que se assentava no setor de bens de consumo duráveis. Como resultado, a expansão subsequente serial tal que os que a engendraram falavam de “milagre”. Mesmo após o choque do petróleo, em 1973, a atividade manteve elevadas taxas de crescimento, indubitavelmente atribuíveis ao desempenho do setor industrial. Neste ínterim a demanda energética amplia-se e diversifica-se, despontando a energia elétrica em paralelo ao Petróleo. Tal desempenho só pode ser logrado às custas de um incremento considerável no consumo de energia. Com efeito, em menos de uma quinzena – de 1966 a 1979 – a demanda mais que duplicou. A lenha, outrora principal fonte energética do país, já deixara de sê-lo por força da crescente importância dos derivados de petróleo. A partir de 1974, em função das mudanças estruturais supra referidas, a hidreletricidade, que já vinha respondendo por crescente parcela da demanda energética total, torna-se a segunda fonte de maior consumo. Talvez entre 1967 e 1973 (vigência do regime militar) tenha se verificado a principal onda de industrialização do país – requereu uma expansão significativa da oferta de energia. Contudo, na medida em que o aparelho industrial se torna mais complexo, a estrutura de consumo de energia se vai adequando de modo a satisfazer as exigências de mais energia elétrica (hidreletricidade, principalmente) e derivados de petróleo, em substituição à lenha.

Theis (1990) também fala sobre a evolução no setor de transportes, que elevou a demanda energética e por consequência a valorização do petróleo. Já em 1975 apresentávamos um nível de energia primária per capita francamente exagerada, em relação ao produto interno bruto per capita, quando comparado com o de outros países em desenvolvimento e mesmo desenvolvidos. O processo de crescimento conduziu a um incremento significativo do consumo de energia em razão do fortalecimento de setores como a indústria, a agricultura mecanizada e o setor de transportes.

A retrospectiva histórica de Theis (1990) diz que em alguma medida os fatores inerentes ao processo de crescimento econômico têm que ser considerados na abordagem da questão da demanda energética. No caso brasileiro, têm sido destacados os processos de industrialização e urbanização e o papel desempenhado pela indústria automobilística como os fatores preponderantes. Caso se considere o período a partir do qual se identifica a Revolução Industrial brasileira, ou seja, 1930, pode-se aceitar que: “o consumo nacional de energia está intimamente relacionado às duas grandes ondas de industrialização ocorridas no Brasil, respectivamente entre 1955 e 1962 e entre 1967 e 1973.

“A enorme importância assumida pelo petróleo está principalmente associada à evolução ocorrida no setor de transportes. Basta lembrar que até meados dos anos 70 o petróleo movia a quase totalidade do transporte motorizado do Brasil... E a recíproca também é, em grande medida, verdadeira, pois o setor de transportes é o grande consumidor de petróleo no país...” (THEIS, 1990, pg. 162).

Para Theis (1990) é imprescindível que se busque a independência energética para o Brasil:

“Cumpra que se investigue as causas que levaram ao incremento da demanda de energia e se examine as possibilidades de reduzir a dependência do país para com fontes externas e alcançar a autosuficiência energética. A atitude correta para se enfrentar o problema energético do Brasil é exatamente esta: admitir que o país esteja em guerra e tratar de urgentemente substituir fontes energéticas externas, por outras de suprimento interno” (THEIS, 1990, pg. 160).

Neste ínterim, o autor francês Hémery (1993) cita o trabalho de Bautista Vidal (2004) com o PROALCOOL, o que legitima e destaca o papel do Brasil enquanto ator no cenário e contexto energético. Desde o início da crise, no entanto, especialistas brasileiros tinham mostrado que a utilização racional da biomassa, energia renovável, poderia representar uma resposta eficaz, em um país de clima tropical úmido, às insuficiências do modelo internacional dominante. A maior e mais ambiciosa destas proposições foi o Programa Tecnológico de Alternativas Energéticas de Origem Vegetal, lançado no início de 1974 pela Secretaria de Tecnologia Industrial, STI, do Ministério da Indústria e do Comércio, cujo objetivo a curto prazo era a substituição dos derivados de petróleo (nos transportes, nas indústrias, nas residências), mas que fora, na realidade, concebido como uma alavanca que permitiria, a médio prazo, uma modificação profunda do sistema energético e do modelo de desenvolvimento do país.

A significativa substituição da gasolina pelo álcool combustível com o advento do PROALCOOL também veio autenticar o programa, que por sua vez também enfrentou dificuldades de implantação.

Ao falar sobre a PETROBRAS, Hémery (1993) vem acrescentar os pontos de vista de Ivo Theis (1990), Bautista Vidal (2004) e de Geller (2003). O autor diz que a distribuição do álcool foi concentrada nas mãos da Petrobrás. Os imensos problemas logísticos causados por esta centralização afetam gravemente os resultados operacionais desta empresa do Estado. Ele tem a visão clara do futuro incerto do PROALCOOL. E vai além identificando-o como a base para uma revolução tecnológica. O autor conclui que do ponto de vista técnico, os rendimentos energéticos associados a esta linha tecnológica continuam muito baixos. Mas todas estas distorções não anulam a importância estratégica do plano do álcool, sem dúvida o mais bem sucedido programa de alternativas energéticas renováveis concebido, no mundo, como uma resposta à crise do petróleo. Este plano demonstrou, com efeito, de modo espetacular, a possibilidade técnica e econômica de empregar, em larga escala, conversores vegetais para a produção de energia comercial em uma economia industrial. Contribuiu para o desenvolvimento técnico e industrial do país e para a criação de empregos – 428 mil empregos diretos em 1984, e talvez 1,8 milhão indiretos. Permitiu, e permitirá, sem dúvida, resolver, pelo menos parcialmente, problemas de curto prazo como o da conta da importação de petróleo e o da dependência energética, mesmo se isto se faz em favor de setores limitados da população.

Para Hémery (1993), definitivamente, parece pouco provável que o programa do álcool possa perpetuar-se. Seu futuro, no novo regime democrático que se reconstrói no Brasil, depende de uma opção política da sociedade sobre as vias preferenciais de seu desenvolvimento: a manutenção do modelo de crescimento centralizado, desigual e tecnologicamente dependente do exterior, ou a construção de um modelo completamente novo, descentralizado, integrador, fundado na análise profunda da realidade nacional e na valorização dos recursos disponíveis internamente. No primeiro

caso, o programa do álcool morrerá naturalmente; no segundo, poderá ser a base de uma revolução tecnológica que poderá reverter a atual situação do mundo tropical e modificar, a seu favor, o equilíbrio de forças internacionais.

Segundo Hémerly (1993) a crise de 1970 evidenciou a dependência dos países pobres aos países ricos. Os países do Terceiro Mundo importadores de petróleo foram os grandes sacrificados na reorganização do sistema econômico internacional após 1970. Presos na armadilha da dependência tecnológica e do mimetismo colonial devem apelar aos países ricos para obter os recursos financeiros e tecnológicos que lhes permitiriam desenvolver seus próprios sistemas energéticos seguindo o modelo do sistema internacional, baseado no petróleo, no carvão, na hidroeletricidade, na energia nuclear, ou seja, nas linhas energéticas intensivas em capital e em tecnologia. Fecha-se o círculo: a independência energética acentua a dependência tecnológica e econômica.

Hémerly (1993) recorda que a geração de energia baseada na biomassa na verdade foi amplamente utilizada nos séculos anteriores à industrialização. A tecnologia de utilização dos conversores vegetais para a produção de energia mecânica tinha sido bastante desenvolvida na Europa durante o período da proto-industrialização medieval e as primeiras fases da industrialização, entre os séculos XV e XVIII.

“Momentos de crise geralmente instigam a busca de novas soluções, que muitas vezes surpreendem e superam expectativas, a crise do petróleo da década de 70, no entanto, não foi tão relevante, mas teve o Brasil como um dos agentes na busca de alternativas com o PROALCOOL. A cultura colonialista, contudo, conteve os avanços esperados.” (HÉMERLY, 1993, pg. 368)

Hémerly (1993) faz uma breve e consistente reflexão sobre o momento, constatando que pode-se constatar, que os resultados obtidos, após a crise do petróleo, em uma direção tão promissora, são surpreendentemente modestos. Após uma década, podem-se citar o programa brasileiro do álcool, o biogás na China e na Índia, a siderurgia a carvão vegetal e os gasogênios no Brasil e nas Filipinas... Mas nenhum país tentou realmente modificar em profundidade sua rede energética. As causas deste relativo fracasso não são nem técnicas nem econômicas, mas principalmente políticas. (...) Uma rede energética baseada na biomassa esboça uma nova distribuição das riquezas e do poder – trata-se, portanto, de uma revolução. Nada de surpreendente se as classes privilegiadas pelo status quo reagem violentamente contra esta idéia, tomando como pretexto raciocínios técnico-econômicos nebulosos, solidamente ancorados nos antigos (mas ainda vigorosos) complexos coloniais de povos que foram levados a renegar sua própria história e o valor do meio físico e ecológico no qual vivem. O autor elogia a participação brasileira na tentativa de superação da crise, bem como as suas características naturais dizendo que dentre todos os países da zona intertropical, o Brasil reúne, talvez, as melhores condições para liderar esta revolução – e a iniciou parcialmente. A experiência brasileira merece, portanto, uma análise mais detalhada, visando à compreensão das perspectivas reais deste tipo de proposições e dos obstáculos contra os quais colidem.

Hémerly (1993) destaca que a primeira condição favorável, no caso do Brasil, é sua extensão territorial e seu nível de industrialização relativamente avançado. O Brasil possui um terço das florestas tropicais do planeta e a maior extensão contínua de terras aptas à agricultura energética. O segundo ponto diz respeito à evolução do consumo de energia, caracterizado por uma crescente penetração da hidroeletricidade (cujo enorme potencial pode satisfazer à demanda durante o próximo meio século) e dos combustíveis líquidos derivados do petróleo (embora o Brasil não produzisse, em 1973, mais que 20%

de seu consumo de bruto). Assim, não se pode falar, no Brasil, de uma crise energética, mas sim de uma crise de combustíveis líquidos para o transporte e de carvão para a siderurgia. Finalmente, o terceiro fator positivo: o Brasil já tinha, no início da crise, acumulado uma significativa experiência industrial na produção de combustíveis de substituição derivados da biomassa vegetal. O Brasil é, tradicionalmente, um dos maiores produtores mundiais de açúcar e de óleos vegetais empregados quer na alimentação quer na indústria (a partir da mamona, do dendê, da soja, etc.).

A hidroeletricidade faz com que o Brasil coloque-se fora da crise, contudo, entendemos que a construção de usinas hidrelétricas vai contra os valores de sustentabilidade ambiental apontados neste trabalho.

Na sequência histórica, Hémerly (1993) relata que o avanço das redes de energia elétrica durante a crise do petróleo e a retração da utilização da biomassa. O Brasil covardemente abandona a possibilidade de soberania nacional. As redes de distribuição de GLP e de eletricidade expandem-se radialmente, a partir dos grandes centros de produção e consumo, até as mais afastadas regiões de fronteira agrícola, o que envolve custos elevados, suportados pelas grandes organizações estatais (Petrobrás, Eletrobrás), enquanto os preços de venda são largamente subvencionados: entre 1973 e 1985, quando os custos reais do petróleo importado foram multiplicados por cinco, o preço de venda (em moeda constante) do GLP diminuiu 28% e o da eletricidade 59%. Após a crise do petróleo, a utilização da biomassa energética na indústria chegou a conhecer uma certa expansão em números absolutos, mas sua participação no balanço energético do conjunto da indústria, já minoritária, continua a diminuir. Conseqüentemente, a participação da lenha no consumo final de energia, globalmente, caiu de 31,1% em 1970 para 12,4% em 1985. Assim, o Brasil oferece, contra toda a experiência histórica mundial, o exemplo de um país que abandona sua fonte de energia mais estratégica, mais abundante e mais acessível, a mais integrada a seu quadro físico e social, a que exige menores investimentos e cujos custos de produção são os mais baixos, para trilhar o caminho da dependência e da energia cara – em nome da necessidade de manter um modelo de crescimento artificial e socialmente perverso e de copiar as nações mais desenvolvidas. Criou-se uma tríplice dependência, financeira, tecnológica e energética (pois o carvão coqueificável é importado).

Hémerly (1993) fala sobre o avanço tecnológico que a biomassa poderia ter hoje não fosse a falta de incentivos políticos. O estoque de conhecimentos tecnológicos acumulados constitui uma base suficientemente sólida para a fase inicial dos programas. As linhas energéticas da biomassa estão, com efeito, muito longe de terem atingido a etapa de pleno desenvolvimento e de relativa estagnação tecnológica que caracteriza hoje, por exemplo, a linha carvão mineral. Um obstáculo mais importante surge na área da planificação e gestão dos programas. As linhas da biomassa têm características muito diferentes do conjunto das linhas de combustíveis fósseis, envolvendo o governo e o setor privado, nas áreas da produção, da distribuição e da utilização. Em um país com as dimensões do Brasil, o espaço e a população não representam restrições reais: muito pelo contrário, a biomassa permite valorizar recursos em terra e em mão-de-obra normalmente subempregados. Os obstáculos reais são outros, e situam-se principalmente na área política e macroeconômica.

É preciso tomar cuidado para que não se repita a história com o desenvolvimento da exploração das demais fontes alternativas de energia no Brasil a partir de hoje, como é o caso da energia eólica e energia solar fotovoltaica, por exemplo.

A solução é obviamente apontada por Hémerly (1993), que propõe uma alteração

radical do contexto social, econômico e político, do que corresponde à exploração energética. O resultado desta implantação é, portanto, uma melhor ocupação do território, a democratização das oportunidades, uma distribuição espacial e social das rendas mais uniforme e mais justa: em poucas palavras, uma alteração radical das estruturas econômicas, sociais, políticas e culturais desenvolvidas sob o império dos combustíveis fósseis. É, portanto, evidente que os grupos sociais minoritários – mas todopoderosos – que controlam estas estruturas nos países do Terceiro Mundo, e que se beneficiam disto, reagem a esta tentativa de modificação da ordem estabelecida e tentam bloquear por todos os meios o desenvolvimento das novas linhas.

### **2.3 Fontes Renováveis de Energia**

As soluções propostas por Theis (1990) são simples. Explica que um estágio de efetiva auto-suficiência, que em última análise deve resultar da persistente busca da redução da dependência energética, só será alcançado na medida em que dois objetivos fundamentais vierem a ser perseguidos: de um lado, uma contenção na demanda e, de outro, uma política de uso de fontes alternativas. As fontes renováveis, como as de energia eólica, solar e hídrica, são dispersas por toda a parte. Um mundo movido pela energia solar traz a promessa de menor interdependência econômica e política. Uma economia internacional que dependesse mais de fontes renováveis de energia solar também seria menos vulnerável do que esta, sedenta de petróleo. O recurso ao uso de fontes alternativas (renováveis) por si só não tem sentido – as evidências indicam que a utilização de novas fontes energéticas não tem conduzido às soluções mais adequadas – sem uma ênfase na demanda global de energia.

Theis (1990) faz um breve resumo da questão energética no Brasil que é ainda atual. “A avaliação das medidas de políticas energética anunciadas pelo governo federal permite constatar o aprofundamento de uma tendência que vinha marcando o planejamento energético no Brasil desde 1974, quando as perturbações no mercado internacional de petróleo trouxeram à tona a crise energética com que se deparavam as sociedades industriais. Essa tendência do planejamento energético vigente no Brasil caracteriza-se por uma ênfase quase exclusiva no problema de oferta de energia (produção de substitutos para derivados específicos do petróleo e ampliação da capacidade de geração elétrica, inclusive a partir de fissão nuclear) em detrimento de uma problematização do perfil de demanda de energia pelos setores consumidores (sistema de transporte de cargas e de passageiros, processos industriais, setor rural, serviços urbanos e setor doméstico).” (THEIS, 1990, pg. 171) Percebe-se a importância de uma “estratégia” em relação à demanda que, combinada com uma política que privilegie a utilização de fontes energéticas alternativas, propicie uma efetiva redução da dependência e uma aproximação maior do ideal da auto-suficiência.

Theis (1990) finaliza sua abordagem caracterizando a urgência: “não só o Brasil, mas o mundo inteiro, começando pelos países desenvolvidos, vai tendo que encarar o fato de que dispõe de um prazo, ainda não bem determinado, mas com certeza não muito longo, para encontrar alternativas de crescimento econômico menos dependentes da queima de petróleo e outros combustíveis. Se não por uma preocupação com o equilíbrio ecológico global do planeta, tônica das pesquisas sobre a ameaça do efeito estufa, ao menos por um imperativo elementar de economia de recursos naturais – a perspectiva de esgotamento dos não-renováveis, incluindo os minerais energéticos” (THEIS, 1990, pg. 171).

Para Bautista Vidal (2004), no decorrer do tempo à medida que a civilização avança,

que a escravidão ostensiva desapareceu e que o uso de animais como “fontes” de energia – ao produzirem trabalho para o homem – somente ainda existe em locais onde a máquina não chegou, o ente físico crucial energia cresce em importância. Isso, associado a um aumento desenfreado de sua utilização nas chamadas sociedades de consumo, provocou demandas que superam, de modo assustador, as disponibilidades próprias da quase totalidade dos países das regiões temperadas e frias do planeta. Esses países, até hoje supridos por fontes fósseis não-renováveis, além de serem muito pobres em energia renovável, concentram a totalidade das atuais nações hegemônicas, que consomem mais de 80% da energia gerada em todo o planeta.

Geller (2003) afirma que antes de considerar políticas e cenários energéticos futuros, é recomendável rever o uso global de energia durante os dois últimos séculos. Expõe que o uso mundial de energia aumentou 20 vezes desde 1850, 10 vezes desde 1900, e mais de quatro vezes desde 1950. Este aumento dramático do uso de energia proporcionou um padrão de vida bem melhor a uma considerável parcela – mas não toda – da crescente população mundial. Esse crescimento no uso de energia, nos últimos 100 anos, ocorreu principalmente no mundo industrializado, que abriga cerca de 20% da população mundial.

A maior parte da energia consumida no século XIX era em forma de biomassa. A produção e uso do carvão se expandiu rapidamente no final do século XIX, fazendo do carvão a principal fonte de energia mundial durante cerca de 70 anos, iniciando-se por volta de 1890. Em meados do século XX, a produção e uso do petróleo rapidamente se aceleraram, tornando-o a fonte de energia dominante durante os últimos 40 anos. Além disso, tanto o uso do gás natural quanto o da energia nuclear cresceram rapidamente nos últimos 25 anos. Assim, o conjunto de fontes de energia se mostra bastante dinâmico. O mundo já passou por outras revoluções energéticas (GRUBLER, 1998 apud GELLER, 2003. Pg. 16).

Tanto Theis (1990), quanto Bautista Vidal (2004) e quanto Geller (2003) têm um ponto de vista bastante radical e crítico em relação à questão energética no Brasil, a ponto de provocar uma profunda reflexão sobre os valores sócio-econômicos e culturais de cada um dos cidadãos.

Este paralelo é interessante uma vez que há nos dias atuais uma resistência no Brasil quanto à utilização de Energia Solar Fotovoltaica, o que de certa forma é explicado com algumas ponderações de Bautista Vidal (2004), quando diz que poderíamos construir uma civilização socialmente solidária e paradisíaca, porém somos vítimas, povo e nação, transformados em alienados energéticos. “Não sabem que vivem mal (...) num pedaço de terra mui rico e formoso, como é o caso do privilegiado território físico brasileiro, abençoado todos os dias, de norte a sul, de leste a oeste, por imensa fonte de energia primária, permanente e limpa, o nosso astro-rei: o Sol” (BAUTISTA VIDAL, 2004, pg. 11).

Para a utilização de Energia Solar Fotovoltaica as mesmas barreiras políticas, econômicas, sociais são encontradas, já que estudos tecnológicos provam a viabilidade da utilização da fonte de energia alternativa em questão.

## **2.4 Energia Solar**

“Finalmente, as demandas energéticas devem buscar nas fontes alternativas de energia os suprimentos e possibilidades de repetições cíclicas dos processos base do fundamento ecológico. É possível agora identificar os eixos prioritários de uma nova política energética, deixando bem entendido que a definição dos programas específicos

só pode ser uma obra coletiva. O objetivo primordial deve ser a valorização dos recursos renováveis, a começar pela energia solar direta. Com relação a esta última, convém distinguir dois casos extremos: de um lado, o das energias que figuram (ou podem figurar, em prazo muito curto), de modo significativo, nos balanços energéticos, como o aquecimento da água a baixa temperatura e, principalmente, a biomassa vegetal; de outro lado, o caso dos conversores físicos de concepção recente (tais como as células fotovoltaicas ou os conversores eólicos de alto rendimento), que só podem produzir quantidades modestas de energia, mas sob suas formas mais nobres, o que os torna susceptíveis de desempenhar um papel verdadeiramente civilizador” (HÉMERY, 1993, pg. 395).

A energia solar, foco do presente estudo, surge como aliada do homem tropical e completamente inserida do ponto de vista natural e tecnológico no contexto energético planetário.

Hémery (1993), explica que estas reflexões sobre o futuro energético do Sul (países do Sul) valem também para o Norte (países do Norte), onde o sol, a água, o vento e a biomassa devem também ser mobilizados, sempre que possível. Mas admite-se hoje que, nestes países, o recurso energético mais importante a ser mobilizado é constituído pelas economias de energia; nestes países, a afirmação de que o aumento do consumo individual é necessário à melhoria das condições de vida é, hoje, largamente contestada. Mesmo certas empresas elétricas americanas, e não das menores, admitiram este fato e se fizeram os mecenas – interessados – de uma política de conservação de energia, mais rentável que os elevados investimentos em novas centrais nucleares ou a carvão. A Suécia e a Suíça desenvolveram um nível de conforto material comparável ao dos Estados Unidos, com um consumo relativo de energia duas vezes menor. A diferença se explica principalmente pelo melhor rendimento dos conversores, pela utilização de uma arquitetura melhor adaptada ao clima e pela maior utilização dos transportes coletivos.

A utilização de energia solar fotovoltaica integrada a edificações em alguns países da Europa ou nos EUA, por exemplo, é uma realidade ainda desconhecida para maioria dos projetistas brasileiros. Assim, é preciso evoluir não só quanto ao melhor aproveitamento dos aspectos naturais dos locais em que vivemos, mas também quanto ao acompanhamento dos avanços tecnológicos mundiais.

## **2.5 Clima, arquitetura e o consumo de energia em edifícios públicos**

“Enquanto a organização do espaço era indiferente ao problema da energia, a solução era determinada em função da distribuição interna do edifício, da tecnologia e do contexto urbano. Agora a solução do projeto também deverá ser dada em função dos problemas energéticos. Isto acontecerá através de um processo de aprendizado gradativo desse conjunto de solicitações, através do estudo e da pesquisa” (MASCARÓ, 1992. pg. 113).

Sobre o clima (umidade e temperatura) é correto afirmar que a energia solar tem rendimentos maiores não em elevadas temperaturas, mas em níveis de incidência solar elevados. Assim, no clima quente e úmido do Tocantins o que favorece não é a temperatura, mas os longos períodos de sol e a sua alta incidência nas edificações, para o caso da integração da energia fotovoltaica.

Para Mascaró (1992), o objetivo da arquitetura bioclimática consiste em aumentar a complexidade organizativa do sistema, mantendo elevada a sua confiabilidade e com um consumo de energia reduzido.

A carga térmica absorvida pelas edificações, resultante da incidência solar em fachadas e coberturas também vêm a relacionar-se com a integração de energia solar fotovoltaica dentro do conceito da sustentabilidade em arquitetura. Em uma proposta mais ampla, os sistemas solares fotovoltaicos são estruturas que podem funcionar não só como geradores de energia, mas também como brises e/ou coberturas, que além de captar a radiação solar, também absorvem parte da carga térmica.

Segundo Mascaró (1992), o conhecimento do desempenho térmico do conjunto é indispensável para a estimativa precisa quantitativa da necessidade energética do edifício e, conseqüentemente, de suas instalações, sendo preciso levar em consideração as interações com o ambiente externo e com os usuários.

A carga térmica recebida por um edifício varia segundo a latitude local, isto é, as necessidades energéticas para o seu acondicionamento ambiental serão sinalizadas pela latitude. Assim, para as pequenas latitudes (Palmas está a 10º Sul) como Fortaleza e Belém, Mascaró (1992), indica que os edifícios ideais devem ter forma 2x1 em planta, com as fachadas maiores orientadas norte-sul (pois recebem menor radiação); quanto à altura, o número de pavimentos ótimo é de 6 a 7 pavimentos; a orientação situa-se entre norte-sul e a de 22º30' nordeste (medida a partir do norte); quanto a relação entre o isolamento térmico de fachadas e coberturas, nas pequenas latitudes, a cobertura é mais importante; quanto à relação entre o isolamento da envolvente e a altura dos edifícios, um edifício projetado com fachadas abertas (envidraçadas, por exemplo) deveria ser de baixa altura, e os prédios de grande altura deveriam ter suas fachadas mais protegidas termicamente.

Os consumos de energia em edifícios públicos devem-se, fundamentalmente a: elevadores, instalações de ar condicionado, iluminação artificial e utilização de equipamentos. Este consumo pode variar de acordo com o tipo de edifício e a época do ano. O consumo de energia nos edifícios de serviço público devido aos condicionadores de ar é maior que em qualquer outro tipo de edifício (Mascaró, 1992). O consumo de energia ocorre de duas maneiras: ativa e passiva. A este consumo destinado às atividades humanas, denominaremos consumo ativo, que por sua vez é gerado, ou implementado, via consumo passivo, isto é, edifícios com carga térmica elevada em função da má orientação, ou forma e/ou altura inadequadas, terão maior consumo de ar condicionado e iluminação artificial.

A energia consumida em edifícios públicos é quase o dobro se comparado aos bancos (61,8% contra 32,9%). A implantação dos prédios públicos estudados, geralmente livres de toda obstrução, favorece esse maior consumo porque o expõe a todas as solicitações climáticas, enquanto que os bancos, localizados no centro da cidade, estão protegidos pelo próprio entorno construído. (MASCARÓ, 1992)

### **2.5.1 Recomendações**

Os principais objetivos dos projetistas devem ser melhorar a qualidade dos edifícios e reduzir o seu consumo energético. Todos os governos dos países desenvolvidos e de alguns em desenvolvimento adotam diversas medidas para limitar o consumo de energia, tanto na edificação já existente como na nova. O grande potencial para a conservação da energia nos edifícios pode ser materializado através de políticas e programas adequados em nível nacional, regional e local. (MASCARÓ, 1992)

Existe uma grande diferença entre poupar energia e implementar programas de conservação para edifícios novos e para os já existentes. Como estão surgindo permanentemente novos conhecimentos e tecnologias para melhorar a eficiência

energética dos novos edifícios, se faz necessário estabelecer os regulamentos de tal maneira que encorajem o uso dessas novas tecnologias. (MASCARÓ, 1992)

Segundo Mascaró (1992), através de medidas de racionalização, o consumo de energia nos edifícios novos e em suas instalações pode ser reduzido de 20 a 50%.

## Conclusões

A evolução das formas de uso e do consumo de energia está em paralelo à história da humanidade. As questões energéticas fazem parte cada dia mais das preocupações na hora de projetar em arquitetura. Assim, o caráter multidisciplinar das questões energéticas deve ser familiar do dia a dia do arquiteto. No cenário internacional, principalmente na Europa, o avanço tecnológico demonstra o estágio da preocupação ambiental, mesmo diante de condições naturais nem tão favoráveis quanto às do Brasil. De acordo com o decorrer da história percebemos o quanto os conflitos bélicos, como a disputa pelo o poderio do Petróleo, por exemplo, tem origem nas questões energéticas. O Brasil, embora produtor de petróleo emaranhou-se na dívida externa em função do mesmo e até hoje é vítima da lastimável alienação energética, desconhecendo os seus potenciais naturais e até mesmo a força da Petrobrás. Quanto ao fato de importarmos determinadas tecnologias, ficamos dependentes da moeda internacional, o dólar. O processo de industrialização no Brasil segue lento em comparação à China, Europa e Japão. A indústria dos transportes, no Brasil, contudo, tem crescido e a emissão de CO<sup>2</sup> nas grandes cidades tem levado a altos índices de poluição. O alto consumo de energia elétrica vem comprometendo não apenas as fontes hídricas do país, mas o meio ambiente como um todo. Nosso país está incluso na atual crise mundial, a ecológica. Somos vítimas, já nos dias atuais, das mudanças climáticas, conseqüências do aquecimento global. Uma das saídas pode ser então, aprofundarmos a pesquisa quanto ao uso de fontes alternativas de energia e reconhecermos as riquezas naturais no Brasil, principalmente as formas de biomassa e a energia solar a fim de disseminarmos a tecnologia Fotovoltaica.

Em longo prazo, o projeto de novos edifícios pode influenciar grandemente o consumo total de energia na edificação. Paralelamente, o grau de vulnerabilidade dos edifícios e de suas instalações às mudanças no tipo de energia pode ser reduzido.

No presente estudo a propõe-se a integração de tecnologia fotovoltaica ao edifício estudo de caso, contudo, outros trabalhos podem desencadear-se a partir deste, assim como a proposta de um retrofit do edifício. Assim, a proposta de uma reformulação do edifício estudo de caso poderia utilizar-se das medidas sugeridas por Mascaró (1992).

Para tanto, seria necessário:

- Considerar a forma, tamanho, tipologia e capacidade de acumular ou dissipar o calor no consumo de energia dos edifícios;
- Considerar o custo total de um edifício durante sua vida útil, incluindo não só o investimento inicial, mas também o custo estimado de manutenção e de fornecimento de energia;
- Aplicar um adequado padrão de normalização do isolamento da envolvente (paredes e coberturas) para minimizar, fundamentalmente, os ganhos térmicos e otimizar, assim, o desenho das instalações de ar condicionado ambiental nos edifícios;
- Comparar e avaliar os diferentes projetos alternativos em relação a: localização apropriada, orientação do entorno que o rodeia; e relação entre a área da envolvente do edifício, o volume do espaço interior, a área da superfície envidraçada e a existência de fatores de sombra nas aberturas;

- Elaborar o projeto das instalações dos edifícios de maneira a permitir a regulação da energia necessária para diferentes situações no tempo e no espaço.

Quando forem adotadas medidas de racionalização de energia deve-se atentar não somente para a poupança energética. Será preciso tomar em conta também o efeito que ela pode ter no caráter da edificação e de seu entorno.

# CAPÍTULO 3



**ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**

### 3.0 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 3.1 Aspectos Gerais

Dentro da atualidade do assunto, alguns autores destacam-se, entre eles Steven Howard Geller (2003), que aborda a questão energética sob três aspectos:

1. O risco que corremos com o atual consumo energético;
2. Exemplos de países que implementaram a eficiência energética e o uso de fontes alternativas de energia;
3. Políticas para melhorar a eficiência energética e uso de fontes alternativas – estratégias para uma revolução energética. Um futuro de energias limpas.

Geller (2003) destaca que os padrões atuais de consumo que já têm culminado no aquecimento global, foca na questão das guerras de cunho fundamentalmente energético e fecha destacando uma possível saída com a utilização de fontes alternativas de energia, relatando, de maneira clara, as barreiras históricas pelas quais novas fontes de energia têm que transpor até se estabelecer, já que outras revoluções aconteceram no decorrer da história da humanidade. Tanto as fontes quanto as tendências atuais do uso de energia não são sustentáveis.

#### 1. O risco que corremos com o atual consumo energético:

Assim como os demais estudiosos da questão energética, Geller (2003) aponta as principais dificuldades que enfrentaremos dentro de um futuro próximo caso os atuais padrões de consumo permaneçam. Um futuro energético ineficiente e com uso intensivo de combustíveis fósseis apresentaria uma série de problemas para o mundo, incluindo:

- ? ● Aquecimento global acelerado,
- ? ● Altos níveis de investimento em fornecimento de energia,
- ? ● Alta poluição atmosférica regional e local,
- ? ● Maiores riscos para a segurança nacional e internacional,
- ? ● Rápida exaustão do petróleo, e
- ? ● Continuidade da desigualdade.

Juntos, esses fatores representam uma grave ameaça à integridade ambiental do nosso planeta, aos nossos padrões de vida e à possibilidade de que o mundo em desenvolvimento supere as condições de pobreza. Um futuro com os padrões atuais de produção e uso de energia não é nem sustentável, nem desejável. De maneira otimista, Geller (2003) demonstra como superar a crise, desmistificando o que parece quase impossível.

“Felizmente, um futuro energético ineficiente e intensivo em combustíveis fósseis não é inevitável. Se houver ênfase no aumento da eficiência energética, na utilização de fontes renováveis de energia e no uso de gás natural, durante algumas décadas, todos esses problemas podem ser amenizados. Ou seja, uma “revolução” no modo como o mundo produz e consome energia é possível e geraria diversos benefícios econômicos, ambientais e sociais. Enfatizando melhorias custo-efetivas na eficiência energética e a substituição das fontes convencionais por fontes renováveis de energia, os países do mundo não precisam sacrificar seu crescimento econômico para proteger o meio ambiente e fornecer fontes moderna de energia para os quase dois bilhões de pessoas que atualmente não as possuem” (GELLER, 2003, pg. 239).

De forma clara, Geller (2003) identifica as dificuldades de implementações de tecnologias alternativas em países em desenvolvimento. Nitidamente, o Brasil enquadra-se nas características citadas. Os obstáculos que restringem a introdução e a implementação de tecnologias de eficiência energética, energia renovável e gás natural – tanto em países em desenvolvimento quanto nos países industrializados – são grandes e reais. Esses obstáculos estão atrelados a fatores como: disponibilidade desempenho tecnológico, decisões tomadas por consumidores e empresas, organização do mercado, preços e impostos da energia, legislações e forças políticas.

Segundo Geller (2003), alguns avanços são perceptíveis, mas muito há o que fazer. O autor faz uma perspectiva do que acontecerá com a energia solar fotovoltaica em um futuro próximo. Quanto à energia solar fotovoltaica, estima-se que a capacidade instalada mundial pode se expandir em 30% ao ano, ao longo das próximas duas décadas, caso um número muito maior de países adote políticas rígidas para apoiar esta fonte (Cameron et al., 2001; Williams, 2002 apud Geller, 2003, pg. 250). Esse índice de crescimento levaria a cerca de 260 GW de capacidade solar até 2020. Essa quantidade de capacidade solar geraria aproximadamente 520 TWh de eletricidade por ano – o que equivale a 3% do fornecimento mundial total de eletricidade em 2020, assumindo em crescimento de 1% ao ano de demanda. Caso essa meta seja atingida, a energia solar representaria uma parte pequena, porém importante, do fornecimento global total de eletricidade, em 2020. Ela permitiria a eletrificação básica de uma grande parte dos cerca de 500 milhões de lares, em países em desenvolvimento, que não utilizam eletricidade atualmente. Mesmo assim, a maior parte da capacidade solar instalada em 2020 provavelmente será conectada à rede. E, novamente, a redução de custo advinda da combinação entre os avanços tecnológicos, a construção de maiores meios de produção e os efeitos de aprendizagem possibilitaria que a energia solar fotovoltaica continuasse a se expandir, no período após 2020 (Williams, 2002 apud Geller, 2003, pg. 250). Se a capacidade solar continuar a se expandir em 10-15% ao ano, após 2020, a energia solar poderia fornecer mais de 7000 TWh até 2040 (Cameron et al., 2001 apud Geller, 2003, pg. 250). Se esse nível de produção de eletricidade for alcançado, os sistemas solares poderiam contribuir para até um terço do fornecimento global de eletricidade, em 2040, novamente assumindo que o crescimento da demanda seja limitado a 1% ao ano.

Geller (2003) visualiza um cenário ecológico para o futuro, destacando que as duas formas globais predominantes de energia serão: solar e de biomassa. O que aconteceria se as políticas abrangentes fossem adotadas nas próximas décadas? O autor questiona-se e ele mesmo dá a resposta, explicando que o cenário energético ecologicamente driven apresentado é um exemplo do que é possível. Este cenário foi desenvolvido pelo Internacional Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) e pelo Conselho Energético Mundial (WEC). Ele assume que maiores esforços nacionais e internacionais apoiarão o desenvolvimento da energia limpa, ao longo do século XXI. Nesse cenário, o aumento da eficiência energética restringe o crescimento mundial do uso de energia a cerca de 0,8% ao ano, em média. As fontes de energia renovável representam 40% do fornecimento global total de energia até 2050 e 80% até 2100. A energia solar e as formas modernas de biomassa são as duas fontes de energia dominantes, na segunda metade do século. A utilização mundial de petróleo cai em cerca de um quarto e a utilização de carvão cai em um terço até 2050. Em 2100, o petróleo e o carvão, juntos, representam apenas 10% do fornecimento global total de energia. Além disso, há maior ênfase na melhoria dos padrões de vida nos países em

desenvolvimento nesse cenário, em comparação com um futuro energético que siga os padrões atuais de produção e uso de energia (Nakicenovic, Grubler e McDonald, 1998 apud Geller, 2003, pg. 250).

### **3.2 A experiência internacional com energia solar fotovoltaica (FV)**

O desempenho e o custo dessas tecnologias melhoraram sensivelmente nas últimas duas décadas (Interlaboratory Working Group, 1997; Turkenburg, 2000 apud Geller, 2003, pg. 34). A energia solar fotovoltaica e modernas formas de biomassa podem ser econômicas em áreas rurais de países em desenvolvimento onde a eletricidade de rede e combustíveis fósseis não estão disponíveis e são caros. Quanto às fontes alternativas em desenvolvimento, a produção mundial de energia eólica vem crescendo cerca de 30% ao ano. Pesquisadores e empresas privadas melhoraram consideravelmente o desempenho e reduziram o custo dos módulos solares fotovoltaicos nos últimos 20 anos. O custo de sistemas fotovoltaicos completos era da ordem de US\$5-10 por watt, em 2000, levando o custo da eletricidade gerada fotovoltaicamente de US\$0,25/kWh a US\$1,25/kWh (Rever, 2001 apud Geller, 2003, pg. 34). Esses custos, enquanto relativamente altos para os custos normais de eletricidade em países industrializados, torna a energia fotovoltaica econômica em certas aplicações específicas, como áreas rurais não conectadas à rede, onde o custo de levar linhas de transmissão e de distribuição é muito alto. As aplicações fotovoltaicas ligadas à rede também estão se expandindo rapidamente em vários países, como a Alemanha e o Japão. O mercado global de fotovoltaicos praticamente quadruplicou de 1995-2000 devido à combinação de avanços técnicos e políticos de apoio. (Maycock, 2001 apud Geller, 2003, pg. 34). Para manter o crescimento em alta, as empresas de fotovoltaicos estão desenvolvendo tipos mais avançados de células fotovoltaicas e novos produtos, como módulos de fotovoltaicos integrados à construção. Dadas as oportunidades para um maior avanço tecnológico e expansão do mercado, o custo de sistemas fotovoltaicos poderia cair para US\$2-5 por watt até 2005-2010, e até cerca de US\$1-3 por watt no período 2015-2020 (Turkenburg, 2000 apud Geller, 2003, pg. 34). Se essas metas de custo forem atingidas, a energia fotovoltaica seria econômica em um raio bem maior de aplicações.

Geller (2003) expõe o crescimento da Energia Solar Fotovoltaica nos últimos 15 anos e o que ocasionou ou favoreceu o advento, dizendo que a capacidade instalada acumulada aumentou cinco vezes, durante 1992-2001. A capacidade instalada aumentou em cerca de 25% ao ano, em 2000 e 2001, devido, em grande parte, aos programas de energia solar fotovoltaica conectado à rede, no Japão e na Alemanha. No entanto, a capacidade solar fotovoltaica acumulada era de apenas cerca de 1800 MW, em 2001, o que significa que os sistemas de energia solar forneceram cerca de 3,6 TWh, ou 0,025% da eletricidade produzida mundialmente, em 2001. Mas com a expansão dos programas de incentivo em muitos países, novos produtos solares em desenvolvimento e a queda nos custos de sistemas solares fotovoltaicos, só a capacidade solar fotovoltaica conectada à rede poderia expandir-se em 35% ao ano, durante 2001-05 (Rever, 2001 apud Geller, 2003, pg. 245).

Buscaremos neste capítulo a fundamentação para a utilização de fontes alternativas de energia, mais especificamente a Energia Solar Fotovoltaica, a partir da experiência multidisciplinar vivenciada em outros países, com destaque para as diversas barreiras enfrentadas pela revolução energética proposta. Conforme a segunda parte do trabalho de Geller (2003), também dedica-se os próximos itens aos exemplos internacionais.

2. Exemplos de países que implementaram a eficiência energética e o uso de fontes alternativas de energia:

Geller (2003) expõe o exemplo de sucesso de alguns países que utilizaram a estratégia da informação e treinamento. A China, em particular, estabeleceu redes locais eficientes de disseminação de informação e centros de treinamento como parte de sua estratégia para promover biodigestores, usinas eólicas pequenas, além de outras tecnologias de energia renovável (Martinot et al., 2002 apud GELLER, 2003, pg. 87). Da mesma forma, a Índia estabeleceu treinamento regional, centros de promoção e serviços como parte de seus programas biogás, energia solar fotovoltaica e outros programas de energia renovável. Não se deve esquecer que a disseminação de informação e o treinamento são parte de programas abrangentes de uso de energias renováveis, tanto na China quanto na Índia.

Geller (2003) aborda a possibilidade de participação do governo na expansão do mercado fotovoltaico nos EUA. A aquisição pelo governo pode expandir o mercado e reduzir o custo para células fotovoltaicas nos Estados Unidos. Se as instalações federais adquirissem apenas 1% de sua eletricidade de células fotovoltaicas, usariam cerca de 335 MW de capacidade fotovoltaica. Isto corresponde a três vezes a capacidade fotovoltaica instalada total nos EUA, entre 1994 - 2000 (Maycock, 2001 apud GELLER, 2003, pg. 90). Considerando-se o custo médio de um sistema solar fotovoltaico entre US\$5-7 por watt, acrescentar 335 MW de capacidade fotovoltaica representaria cerca de US\$1,7-2,3 bilhões de investimento em sistemas fotovoltaicos. O investimento poderia se expandir por muitos anos.

“A questão ambiental tem gerado reações diversas entre as nações desenvolvidas e em desenvolvimento. Muitos países e regiões têm desenvolvido projetos para aumentar a eficiência energética e o uso de energias renováveis, proporcionando serviços de energia de forma eficaz em custo e reduzindo os impactos ambientais adversos decorrentes da produção e do uso de energia. Em anos recentes, muitos desses projetos pretendem reduzir as emissões de dióxido de carbono. Para obter sucesso, os projetos energéticos deveriam conter metas executáveis, medidas e ações para atingir as metas, além de procedimentos para monitoramento e avaliação” (GELLER, 2003, pg. 100).

### **3.2.1 A experiência do Japão**

O exemplo de sucesso alcançado com a implantação de sistemas solares fotovoltaicos no Japão é exposto por Geller (2003): no Japão, o governo federal oferece subsídios de capital consideráveis para sistemas solares fotovoltaicos para telhados. O orçamento para esse programa foi aumentado paulatinamente, durante a década de 1990, e quase chegou a 18 bilhões de ienes (US\$ 150 milhões) a partir de 2000. As concessionárias também devem pagar entre 15-19 centavos de dólar por kWh energia solar fotovoltaica fornecida à rede, bem como cerca de 10 centavos de dólar por kWh de energia eólica (Shoda, 1999 apud GELLER, 2003, pg. 73). Como consequência dessas políticas, o Japão é o líder mundial, com mais de 50 mil residências providas de energia solar ligadas à rede elétrica, agregando mais de 350 MW de capacidade solar fotovoltaica desde 2001 (Rever, 2001; Sawin, 2002 GELLER, 2003, pg. 73). Formar um mercado para sistemas residenciais de energia solar fotovoltaica, desta maneira, reduziu consideravelmente o custo de sistemas fotovoltaicos no Japão. O custo instalado total caiu de cerca de US\$ 30 por watt quando o programa começou, em 1993, para cerca de US\$ 8 por watt, em 1998 (IEA, 2000e apud GELLER, 2003, pg. 73). Isto permitiu que o governo japonês reduzisse seu subsídio de 900 ienes por watt, em 1994, para

apenas 150 ienes por watt, ao final de 2000 (New Energy Plaza, 2001 apud GELLER, 2003, pg. 74). O Japão teve, portanto, muito sucesso no uso de “demanda por parte do mercado” para baixar o custo de uma emergente tecnologia de energias renováveis. Em 1997, o Japão adotou metas ambiciosas de instalar 400 MW de capacidade de energia solar fotovoltaica até 2000 e 4600 até 2010, incluindo instalações fora do programa de incentivos para instalações residenciais (Oliver e Jackson, 1999 apud GELLER, 2003, pg. 74). Kyocera, Sharp, Sanyo e outros fabricantes japoneses de equipamentos de energia solar fotovoltaica aumentaram sua produção para atender a demanda crescente. Essas empresas agora lideram a produção mundial de painéis fotovoltaicos (Maycock, 2001 apud GELLER, 2003, pg. 74).

### **3.2.2 A experiência da Alemanha**

A Alemanha lançou um programa, em 1999, para instalar 100 mil sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica em seis anos. O programa inclui empréstimos de 10 anos, empréstimos a juros baixos e taxas de recompra da energia eólica gerada, atraentes para estimular a instalação de sistemas fotovoltaicos (Moore e Ihle, 1999 apud GELLER, 2003, pg. 74). A Alemanha também revisou seus pagamentos sob EFL para atingir uma meta de 10% de energias renováveis em seu mix de geração de eletricidade até 2010. A nova política inclui pagamentos diferenciados para várias fontes de energia renovável e também permite que concessionárias, bem como produtores independentes, recebam pagamentos. Os proprietários de sistemas solares fotovoltaicos recebem DM 0,99/kWh (45 centavos de dólar/kWh) pela eletricidade fornecida à rede. Com esses incentivos, a adoção de sistemas fotovoltaicos integrados às instalações físicas expandiu-se rapidamente, com mais de 30 mil sistemas instalados ou em desenvolvimento desde 2001. A capacidade total de energia solar fotovoltaica, na Alemanha, aumentou de menos de 20 MW, em 1995, para quase 115 MW, a partir de 2000 (Weiss e Sprau, 2002 apud GELLER, 2003, pg. 74).

Geller (2003) conclui que programas como os japoneses e alemães de sistemas solares fotovoltaicos para telhados levaram a um crescimento muito rápido nesses sistemas ligados à rede, que responderam por cerca de 40% das instalações de sistemas fotovoltaicos em 2000, comparados a apenas 3% em 1993 (Maycock, 2001 apud GELLER, 2003, pg. 74). Somente no Japão, o mercado de fotovoltaicos ligados à rede foi 15 vezes maior do que o dos Estados Unidos desde 2000 (Maycock, 2001 apud GELLER, 2003, pg. 74).

### **3.3 A experiência do Brasil**

Em termos de ações governamentais, o Brasil tem o exemplo do PRODEEM, como incentivo ao uso de fontes alternativas de energia, contudo, em sistemas não conectados à rede. Um programa conhecido como PRODEEM instalou cerca de 5700 sistemas solares fotovoltaicos em áreas primariamente não conectadas à rede, no Norte e Nordeste do Brasil. O PRODEEM adquire sistemas fotovoltaicos no atacado e os oferece com custo zero a usuários finais por intermédio de agências estaduais e locais. Vários desses sistemas foram instalados em escolas, centros médicos e outros centros comunitários. No entanto, muitos desses sistemas não têm boa manutenção e não estão operando adequadamente, devido a problemas técnicos e ao fato de serem distribuídos gratuitamente (Lima, 2002 apud GELLER, 2003, pg. 205).

Geller (2003) exprime sua opinião quanto à atitude do governo que seria correta:

“Faria muito mais sentido desenvolver uma infra-estrutura de suprimento de energia

solar fotovoltaica pelo setor privado no Brasil, por meio de apoio aos investidores em energia solar, além do oferecimento de microfinanciamentos atraentes e subsídios para imóveis residenciais que ainda não estivessem conectados à rede. Nos últimos anos, o governo brasileiro eliminou algumas taxas sobre componentes e sistemas de energia solar, o que pode contribuir para tornar essa tecnologia mais acessível. Essa política também poderia incluir empréstimos a juros baixos e suporte técnico para aqueles que comercializassem, instalassem e fizessem a manutenção de sistemas de energia solar fotovoltaica rural. Os subsídios poderiam ser reduzidos com o tempo, à medida que evoluíssem as tecnologias de energia solar fotovoltaica e que se reduzissem seus preços. Esse tipo de estratégia integrada, que aborda tanto a oferta quanto a demanda, mostrou-se bem sucedido em programas de energia solar fotovoltaica em outros países, como a Índia e o Japão” (GELLER, 2003, pg. 205).

### 3. Políticas para melhorar a eficiência energética e uso de fontes alternativas – estratégias para uma revolução energética. Um futuro de energias limpas:

Geller (2003) estabelece uma seqüência de 12 categorias de políticas necessárias para aumentar a oferta e difundir as tecnologias de eficiência energética e de energias renováveis, são elas:

- ? ● Pesquisa, desenvolvimento e demonstração;
- ? ● Financiamento;
- ? ● Incentivos financeiros;
- ? ● Tarifação;
- ? ● Acordos voluntários;
- ? ● Regulamentações;
- ? ● Disseminação de informação e treinamentos;
- ? ● Aquisição de equipamentos;
- ? ● Reformas de mercado;
- ? ● Obrigações de mercado;
- ? ● Capacitação;
- ? ● Técnicas de planejamento.

Cada uma com suas especificidades, as políticas são diferenciadas por Geller (2003). Certas políticas, como pesquisa e desenvolvimento, incentivos financeiros e iniciativas de aquisição, são mais adequadas para estimular a comercialização e os mercados iniciais para novas tecnologias. Outras políticas, como financiamento, acordos voluntários e disseminação da informação, são utilizadas para acelerar a adoção, uma vez que a tecnologia se estabeleça no mercado. Políticas como regulamentações e obrigações de mercado, frequentemente, são utilizadas para maximizar a participação de mercado e/ou competir no seu processo de transformação. Mas pode haver muitas exceções para essas regras gerais; por exemplo, as obrigações de mercado podem ser utilizadas para estimular a comercialização ou incentivos podem ser úteis durante o processo. Sugerindo a solução, o autor indica que a transformação do mercado ocorreria mediante a interação entre algumas políticas fundamentais, o que por sua vez levaria ao sistema de inovação.

### 3.4 O contexto da utilização de fontes renováveis de energia

Alguns termos e situações referentes à utilização de fontes renováveis de energia são ainda desconhecidos dos profissionais da área da construção civil, principalmente dos projetistas. Tal fato motivou a inserção neste trabalho dos subitens a seguir:

#### 3.4.1 A eficiência da Informação

Geller (2003) propõe a combinação das diversas políticas para que a disseminação da informação seja mais eficiente. A disseminação de informação pode ser mais eficaz quando combinada com outras políticas como: financiamento, incentivos, acordos voluntários ou regulamentações. A disseminação de informação e o treinamento sempre são componentes chaves de esforços para disseminar o aquecimento solar para água, energia fotovoltaica e outros equipamentos de energia renovável, em países em desenvolvimento (Kammen, 1999 apud Geller, 2003, pg. 97).

Conforme Geller (2003), simultaneamente à disseminação da informação é interessante que ocorra a capacitação. A capacitação é essencial para o caso da eficiência energética, tecnologias de energia renovável e de combustíveis fósseis limpos poderem contribuir para as necessidades energéticas futuras. Todas as nações exigem um profundo conhecimento em uma ampla gama de áreas técnicas, comerciais, gerenciais e de políticas públicas, incluindo:

- ? desenvolvimento, adaptação, análise e teste de tecnologias,
- ? fabricação e comercialização,
- ? desenvolvimento de empreendimentos de energia sustentável,
- ? questões de implementação e de comportamento,
- ? monitoramento e avaliação,
- ? treinamento de gerenciadores de energia e usuários finais,
- ? desenvolvimento e implementação de políticas.

A capacitação é necessária tanto em nível individual quanto organizacional. Particularmente, é necessário formar e fornecer pessoal qualificado a entidades do setor público, institutos de pesquisa e centros de treinamento local, de atendimento e de serviços. Tanto os governos nacionais quanto as entidades de assistência internacional deveriam dar maior prioridade à capacitação pessoal e institucional. O Banco Mundial e doadores bilaterais às vezes são criticados por não construírem uma infra-estrutura capaz de comercializar e de fornecer energia solar e outros equipamentos de energia renovável no longo prazo quando um “projeto de desenvolvimento” específico se encerra (Mulgetta, Nheté e Jackson, 2000; Martinot et al., 2002 apud Geller, 2003, pg. 98).

#### 3.4.2 Planejamento Integrado de Recursos - PIR

É possível em nosso tempo contemplar e analisar algumas técnicas utilizadas em países como os EUA, por exemplo, que planeja com vistas ao lado da demanda. O Planejamento Integrado de Recursos (PIR) é um processo pelo qual uma entidade pública de planejamento identifica a combinação de oferta e recursos pelo lado da demanda que atendem as necessidades de serviços energéticos pelo menor custo (Swisher, Jannuzzi e Redlinger, 1997; NARUC, 1988 apud Geller, 2003, pg. 101). O objetivo é proporcionar serviços, como aquecimento, iluminação, refrigeração e força motriz – não energia em si -, com o máximo de custo-efetividade possível. Isto leva à consideração de

opções de eficiência energética com recursos no mesmo nível das opções pelo lado da demanda. O PIR foi aplicado com sucesso em alguns lugares nos Estados Unidos. Por exemplo, o PIR é praticado na região Noroeste, resultando em programas de eficiência energética em grande escala que conseguiram considerável economia de energia. Quando se executa o PIR, é possível contabilizar custos ambientais ainda não incluídos nos preços de mercado, assim selecionando recursos baseados em uma contabilidade de custo mais completa do que ocorre no mercado. Uma perspectiva de PIR pode ser valiosa para os países em desenvolvimento, onde tanto os modernos serviços de energia quanto os investimentos em capital são limitados. O PIR pode orientar as entidades públicas e as concessionárias a conseguir mais e maiores oportunidades custo-efetivas de economia de energia. O PIR também pode identificar tecnologias de energia renovável, como a abordagem de custo mínimo para a eletrificação rural. Estudos de PIR ajudaram a aumentar o suporte para esforços de eficiência energética de uso final no Brasil, Índia e Ceilão (Geller, 1991; Padmanabhan, 1999 apud Geller, 2003, pg. 102). O PIR também está tomando impulso em Gana e na África do Sul.

### **3.4.3 A curva de aprendizado**

A abordagem de transformação de mercado é consistente com o conceito de curvas de aprendizado e de experiência tecnológica. Esse conceito mostra que o custo de produção de uma tecnologia diminui à medida que aumenta a experiência do produtor (IEA, 2000e; Mc Donald e Schratzenholzer, 2001 apud Geller, 2003, pg. 111). Intervenções políticas ajudam a remover barreiras, desinibindo a adoção e, portanto, aumentando as vendas de novas tecnologias, que, por sua vez, resultam em redução de custo por unidade. Isto cria um circuito de retroalimentação positiva, que pode possibilitar um rápido crescimento de mercado. De suma importância ao presente trabalho, destacamos o índice de aprendizagem de 20% mencionado pelo autor para a tecnologia de painéis solares fotovoltaicos. Resta-nos calcular quanto do custo reduzirá no Brasil em função deste índice. Algumas atividades, como P&D, podem ajudar a incrementar o “índice de aprendizado”, ou seja, a percentagem de redução de custo para cada duplicação de produção cumulativa. Estes índices de aprendizado tendem a ser mais altos durante o “estágio de esvaziamento”, quando o número de produtores de baixo custo se expande e os preços caem rapidamente, ou quando acontece uma inovação tecnológica (IEA, 2002 apud Geller, 2003, pg. 111). Os índices de aprendizagem são de 20%, em média, para essas cinco tecnologias: painéis solares fotovoltaicos, energia eólica, etanol combustível, lâmpadas fluorescentes compactas, usinas de ciclo combinado de turbinas de gás.

### **3.4.4 Agência Internacional de Eficiência Energética e Energias Renováveis**

Dentro do contexto também da internacionalização da informação, Geller (2003) propõe a criação de uma Agência Internacional, ainda que esta não substitua as ações de âmbito nacional, estadual e local. Uma Agência Internacional de Eficiência Energética e Energias Renováveis (IEEERA) poderia ser criada para apoiar e fortalecer os esforços relacionados à eficiência energética e às energias renováveis, tanto em países industrializados quanto em países em desenvolvimento. É importante que uma IEEERA acelere a implementação mundial de eficiência energética e energias renováveis, para que a agência não seja apenas mais um veículo para que o Norte “pregue” ao Sul uma atitude sem, no entanto, praticá-la. Além do mais, trabalhar globalmente, de maneira

coordenada, poderia criar economias de grande escala e ajudar as tecnologias de energia limpa a atingir metas de custo e de promoção. A implementação de políticas e tecnologias de eficiência energética e energias renováveis é responsabilidade de países individuais e mercados privados. Uma IEEREA poderia apoiar e fortalecer iniciativas dos setores nacional e privado, mediante cooperação tecnológica e política, capacitação e afins. A IEEREA poderia ser usada também como um fórum para discussão e negociação de metas mundiais sobre eficiência energética e energia renovável de forma contínua e regular. Mas ela não substitui as ações nacional, estadual e local. A ameaça do aquecimento global aumentou a cooperação internacional no desenvolvimento e na implementação de energias limpas, durante a última década. Nenhuma agência internacional tem uma pauta clara ou recursos adequados para liderar uma revolução da energia limpa. Essa situação sugere a necessidade de uma nova Agência Internacional de Eficiência Energética e Energia Renovável. A nova agência poderia ser formada por meio da consolidação dos esforços de energia limpa de diversas outras agências, como a IEA, as agências da ONU, a GEF e os doadores bilaterais. A agência poderia apoiar esforços nacionais, regionais e do setor privado, facilitando PD&D colaborativos, iniciativas tributárias, de preços ou de aquisição, capacitação, comércio internacional e joint ventures, harmonização de procedimentos de teste e padrões de eficiência, definição de metas de implementação de eficiência energética e energia renovável etc.

### **3.5 As barreiras para a utilização de fontes renováveis de energia**

As mudanças de matrizes energéticas do passado trazem em seu histórico algumas dificuldades impostas por diversos fatores, como foi exposto no capítulo que revisa a história da energia. A utilização de fontes alternativas de energia, que vem sendo implantada em alguns países não foge à regra, apresentando também suas respectivas barreiras, são elas:

#### **3.5.1 As Políticas e suas Barreiras**

Dentre as políticas propostas por Geller (2003) para uma revolução energética, percebe-se que cada uma aborda um tipo de barreira. Pesquisa, desenvolvimento e demonstração - PD&D – por exemplo, financiados pelo governo podem ser uma importante política para impulsionar a eficiência energética e as tecnologias de energias renováveis. PD&D tendem a ser mais eficazes quando envolvem a colaboração entre institutos de pesquisa e o setor privado, quando são coordenados com outras políticas, como incentivos financeiros, reservas de mercado ou regulamentações, e quando se concentram em um amplo leque de projetos. PD&D sobre tecnologias de energias limpas merecem se expandir. Além disso, uma maior cooperação internacional em PD&D sobre tecnologias de energia limpa, incluindo a colaboração entre países industrializados e em desenvolvimento, poderia promover uma série de benefícios, incluindo o compartilhamento de custos e de riscos, maior rapidez de aprendizagem e disseminação mais rápida das tecnologias de energia limpa em todo o mundo.

A atualidade das informações de Geller (2003) explica como a questão da curva de aprendizado influencia na transformação do mercado. A abordagem de transformação de mercado foi desenvolvida, testada e avaliada, no decorrer dos últimos 10 anos, quanto à eficiência energética e às áreas de energias renováveis. A estratégia dessa transformação procura remover as barreiras para conseguir uma mudança permanente no mercado. Seus efeitos podem ser definidos como níveis de venda ou ações de

mercado para produtos eficientes, práticas de economia ou tecnologias de energias renováveis. Efeitos intermediários, tais como aumentar a disponibilidade das tecnologias desejadas ou alcançar um desempenho predeterminado ou metas de custos, também são importantes. O objetivo final é tornar prática normal a eficiência energética, a tecnologia ou práticas de energias renováveis, por meio de um conjunto de intervenções coordenadas no mercado (Geller e Nadel, 1994; Eto, Prahl e Schlegel, 1996 apud GELLER, 2003, pg. 111).

Percebe-se que estudiosos têm aprofundado a pesquisa sobre as vivências internacionais quanto à energia solar fotovoltaica, isto é, as determinadas barreiras e/ou facilidades e vão além, fazendo a correspondência do que isto representaria no cenário brasileiro. Entendemos que é preciso seguir o exemplo do que deu certo em outras nações em termos de políticas para a utilização de fontes alternativas de energia.

### 3.5.2 Barreiras de Tecnologia

Para Geller (2003), a mudança de paradigmas sobre a questão energética envolve diversos agentes e cenários. Assim, uma ampla gama de barreiras limita a introdução e implementação da eficiência energética e de tecnologias de energias renováveis no mundo inteiro. A importância das diferentes barreiras varia entre setores, instituições e regiões. Algumas dessas barreiras diminuirão à medida que a eficiência energética e as tecnologias de energia renovável progredam e conquistem sua fatia no mercado. Outras, porém, devem persistir, a menos que sejam diretamente confrontadas por meio de políticas de intervenção. No âmbito geral, essas barreiras estão inibindo a transição para um futuro energético sustentável.

Geller (2003) destaca que ao diferenciar-se eficiência energética de utilização de fontes alternativas de energia, compreendemos que algumas dessas barreiras específicas são comuns às duas áreas, mas muitas afetam um aspecto, mas não outro. É importante compreender a natureza e o alcance dessas barreiras antes de considerar as políticas e programas para removê-las ou superá-las.

O fato de que em alguns países não existe a produção de equipamentos de tecnologias eficientes, como é o caso dos sistemas solares fotovoltaicos, faz com que não haja demanda nestes locais por esta alternativa. A demanda por sua vez não surge em função da inexistência de produção, o “círculo vicioso” fecha-se assim.

Geller (2003) fala da dificuldade em dimensionarem-se sistemas eficientes energeticamente. Atribui esta dificuldade não só à falta de conhecimento dos consumidores em relação aos aparelhos utilizados, mas também à incapacidade de arquitetos e construtores ao dimensionar instalações de tecnologias mais atuais. A falta de exigência pela legislação em melhorias da eficiência energética é outro fator fundamentalmente responsável pela inadequação técnica. Resumidamente, até aqui três aspectos que prejudicam a eficiência energética identificados pelo autor:

- ? Consumidores desinformados;
- ? Arquitetos e construtores desatualizados e/ou até mesmo desqualificados;
- ? Legislação pouco eficaz.

Infelizmente, os valores relacionados ao aspecto ambiental ainda são relativamente insignificantes em meio aos consumidores, e devido a isto em meio a quem fabrica e vende equipamentos que deveriam ser eficientes energeticamente também. Assim, quem é diretamente prejudicado é o planeta como um todo. A eficiência energética é

altamente descentralizada e diluída. Pesquisas nos Estados Unidos, por exemplo, mostram que os consumidores dão mais atenção a preço, características e desempenho do produto, capacidade, confiabilidade e marca do que à eficiência energética quando escolhem um aparelho (Shorey e Eckman, 2000 apud Geller, 2003, pg. 51). Segundo Geller (2003), as empresas estão mais preocupadas em desenvolver novos produtos, em manter a produção e em aumentar as vendas; o consumo de energia é uma preocupação secundária ou terciária. Enquanto isso pode não representar problemas para uma ou outra empresa isoladamente, em termos globais, a ineficiência e o excessivo consumo de energia apresentam problemas para a sociedade como um todo.

### 3.5.3 Barreiras Econômicas

De acordo com Geller (2003), financeiramente as fontes convencionais de energia recebem mais investimentos que as fontes alternativas. No entanto, os custos ambientais para a sociedade da utilização da energia elétrica, por exemplo, não são contabilizados. Mesmo em países industrializados, pode não haver um financiamento com taxas de juros atraentes para medidas ou projetos de eficiência energética, mesmo que de escala modesta. Consumidores ou empresas que já estão endividados podem não estar aptos ou não desejar pagar o custo inicial extra de um produto mais eficiente. Produtores de combustíveis fósseis e de energia, por outro lado, têm acesso a financiamentos de longo prazo a baixas taxas de juros para novas usinas ou outros projetos de fornecimento de energia. Muitas nações, tanto ricas quanto pobres, subsidiam fontes convencionais de energia. O governo federal dos EUA distribuiu cerca de US\$145 bilhões (em valores de 1999) em subsídios à energia nuclear, durante o período 1947-99, comparados a cerca de US\$5,5 bilhões em subsídios para as tecnologias solar e eólica (Goldberg, 2000). O governo dos EUA também proporcionou incentivos fiscais de cerca de US\$140 bilhões (em dólares de 2000) a empresas petrolíferas, entre 1968-2000 (GAO, 2000).

Geller (2003) aponta a utilização de energia solar e aborda as dificuldades enfrentadas pela fonte: “tecnologias de energia renovável de pequena escala, como aquecimento solar e sistemas fotovoltaicos, podem não estar prontamente disponíveis, particularmente nas áreas rurais, onde podem ser bem mais economicamente viáveis. A demanda por tecnologias de energia renovável pode ser muito baixa ou muito difusa para justificar produção local, importação ou comercialização. Isto cria um círculo vicioso – as empresas privadas relutam em entrar no negócio de energia renovável em novas regiões onde a tecnologia ainda não foi estabelecida; além disso, o mercado jamais se estabelece sem a presença de fornecedores de equipamento.” (GILLER, 2003, pg. 55)

Apesar da produção de várias tecnologias de energias renováveis estarem aumentando, ainda não é suficientemente grande para obter significativas economias de escala e rapidamente diminuir os custos de produção, em alguns casos. Com produção e vendas limitadas, os custos de comercialização e transação podem ser altos. E, uma vez que os preços são altos, a demanda irá se manter limitada. Módulos solares fotovoltaicos, por exemplo, ainda apresentam custos de tal magnitude que a demanda é relativamente pouco flexível e limitada a um pequeno número de aplicações específicas, apesar de estarem se intensificando esforços para amplamente promover e instalar sistemas fotovoltaicos (Oliver e Jackson, 1999 apud Geller, 2003, pg. 55).

Como um dos principais problemas enfrentados no Brasil, Geller (2003) enfoca a ausência de produção local de módulos fotovoltaicos, que aumenta o custo e limita o mercado para sistemas fotovoltaicos em muitos países em desenvolvimento. Os

encargos de importação sobre tecnologias de energia renovável e seus componentes contribuem para acentuar o problema em muitos países.

### **3.5.4 Barreiras políticas e de informação**

O aprofundamento na questão energética global, já que o presente estudo volta-se para a aplicação da energia solar fotovoltaica em um edifício estudo de caso, deve-se ao intenso aspecto multidisciplinar demonstrado diante das barreiras políticas, sociais e econômicas enfrentadas pelo assunto. Talvez o necessário fosse tão somente a abordagem dos cálculos e dimensionamentos do sistema, mas o embasamento teórico tem nos provado o contrário. Que a falta de interesse por parte dos técnicos pelas questões que envolvem o uso de fontes alternativas de energia é que têm levado o mesmo a não progredir em nosso continente. Esta falta de interesse acarreta em desinformação, em despreparo e conseqüentes problemas também de instalação e manutenção de sistemas modernos de aproveitamento energético.

A informação é outro aspecto fundamental apontado por Geller (2003), quando explica que a falta de conhecimento por parte do consumidor também pode levar tempo e dinheiro. Como no caso das medidas de eficiência energética, os consumidores podem desconhecer as opções de energia renovável, de fornecedores locais de produto e de oportunidades de financiamento. Da mesma forma, os consumidores podem não dispor de informação abalizada sobre desempenho, confiabilidade ou mérito econômico de opções de energias renováveis. Obter esse tipo de informação pode custar tempo e/ou dinheiro. O autor coloca também a necessidade de dados precisos sobre os recursos energéticos naturais a serem utilizados, sejam eles, solares, eólicos ou bioenergéticos ou geotérmicos e que estes dados ainda não foram analisados em algumas regiões. Neste ponto, o presente estudo vai de encontro ao que se propõe em disseminar a informação quanto à possibilidade de utilização da energia solar no Norte do Brasil integrada a edificações. As empresas de energias renováveis podem não dispor de informação sobre consumidores potenciais e sobre seu desejo de adotar tecnologias renováveis. Essa falta de informação de mercado pode ser especialmente problemática para empresas que procuram vender tecnologias mais recentes, como a fotovoltaica solar ou sistemas de bioenergia distribuída. Além disso, as concessionárias normalmente desconhecem como a produção de tecnologias renováveis, tais como sistemas eólicos e solares, poderia afetar sua carga de energia e, particularmente, reduzir a carga na ponta.

“Quanto ao fornecimento, os investidores em projetos de energias renováveis necessitam de dados precisos sobre recursos eólicos, solar, bioenergéticos e geotérmico. Isto é fundamental para que se possa adequadamente localizar, dimensionar e instalar sistemas de energia renovável. Porém, faltam análises de recursos de energia renovável em algumas regiões.” (GELLER, 2003, pg. 55)

A falta de familiaridade com a utilização de fontes alternativas de energia também dificulta a obtenção de financiamentos em bancos, o que inviabiliza a implantação do sistema. Dado que as tecnologias de energia renovável demoram algum tempo para obter retorno, é fundamental oferecer financiamento de longo prazo, com baixa taxa de juros e longo prazo para empréstimo. Financiadores tradicionais, tais como bancos de desenvolvimento nacionais ou bancos privados, hesitam em conceder empréstimos para tecnologias de energia renovável por causa do pequeno tamanho do projeto, falta de familiaridade com as tecnologias e outras considerações. A disponibilidade de financiamento a juros baixos também pode significar uma grande diferença para a viabilidade de tecnologias de energia renovável em países industrializados. Nos Estados

Unidos, por exemplo, o financiamento de painéis fotovoltaicos solares por concessionárias públicas resulta em um custo de energia solar que é quase dois terços menor do que o custo de projetos financiados pela iniciativa privada (Jones e Eto, 1997 apud Geller, 2003, pg. 57).

Geller (2003) expõe outros fatores que inviabilizam a utilização de fontes alternativas de energia, como o real custo ambiental da energia elétrica que não é refletido no preço que chega ao consumidor:

Os preços de eletricidade quase nunca refletem o custo total do sistema elétrico em áreas rurais de países em desenvolvimento. Isto desencoraja a adoção de tecnologias de energia renovável descentralizadas, tais como os sistemas fotovoltaicos solares, que, na verdade, podem ser bem mais custo-efetivos do que a extensão da rede elétrica baseada em custos reais.

Os preços de energia raramente refletem os custos totais para a sociedade associados à produção e ao uso de energia convencional, incluindo os custos sociais e ambientais. Da mesma forma, as taxas de recompra oferecidas pelas concessionárias podem não refletir a totalidade dos benefícios das energias renováveis – por exemplo, o valor da diversificação do fornecimento, o aumento da confiabilidade no sistema, a redução da demanda de pico, e assim por diante. Essas distorções de preços fazem com que seja mais difícil para as fontes de energia renovável competir com fontes de energia convencional.

Alguns países sujeitam as tecnologias de energia renovável importadas ou de componentes, como células fotovoltaicas e turbinas eólicas, a altos impostos de importação, aumentando assim os custos.

Para Geller (2003) se não houver políticas que combatam a inter-relação das barreiras ao uso de energias renováveis por ele expostas, a contribuição das fontes alternativas pode ter seu caráter reduzido a muito pouco. As concessionárias podem impedir o desenvolvimento de energias renováveis ao adotar exigências onerosas de interconexão, recusando-se a pagar taxas razoáveis ou a assinar contratos de longo prazo para o excesso de energia fornecido à rede, ou estabelecendo complexos processos de negociação. Por sua vez, muitos governos dão preferência a fontes de combustíveis fósseis e a tecnologias de geração de eletricidade convencionais em vez de tecnologias de energia renovável devido à tradição, familiaridade e ao tamanho, força econômica e influência política das indústrias de energia convencional.

Falando da experiência de outros países, Geller (2003) destaca que nos Estados Unidos, a maioria das concessionárias de energia se opõe a reservas de mercado para energias renováveis e vem impedindo a adoção de tais reservas em nível nacional e em muitos (mas não todos os) estados. As empresas petrolíferas também se opõem e vêm impedindo a adoção de reservas de mercado para combustíveis renováveis. As indústrias de energia renovável ainda estão relativamente imaturas e possuem muito menos influência na arena política do que os fornecedores de energia convencional.

Para Geller (2003), esse conjunto inter-relacionado de barreiras pode ser especialmente problemático para tecnologias de energia renovável, uma vez que as fontes renováveis têm dificuldade para competir com fontes convencionais de energia no mercado atualmente. Algumas das barreiras inibem aplicações em sistemas isolados, outras se aplicam mais a fontes renováveis conectadas à rede. Mas sem iniciativas de políticas direcionadas para superar essas barreiras, as fontes de energias renováveis, com toda certeza, continuarão a ser um conjunto de tecnologias aplicadas apenas a usos específicos, contribuindo relativamente pouco para o suprimento mundial de energia

nas próximas décadas.

Geller (2003) expõe um resumo do que viria a influenciar uma revolução energética:

“A partir dessa discussão, fica claro que as barreiras para uma maior eficiência energética e para o uso de energias renováveis envolvem um grande número de questões e considerações. Algumas são de natureza técnica, como a oferta limitada de produtos ou problemas de qualidade. Algumas estão relacionadas ao comportamento humano, como a baixa prioridade dada a questões energéticas ou a tendência a comprar produtos com base no menor custo inicial. Outras barreiras se devem a falhas nos meios em que opera o mercado, como subsídios aos preços de energia, preços de energia que não incluem custos sociais e ambientais, ou ainda consumidores mal informados. Outras são relativas a políticas e instituições públicas, como falta de financiamento atraente para medidas de eficiência e para energias renováveis, regulamentação que desencoraja a eficiência energética e o uso de energias renováveis, e políticas fiscais que penalizam esse tipo de tecnologia.” (GELLER, 2003, pg. 58)

Segundo Geller (2003) é possível remover muitas das barreiras discutidas por intermédio de políticas públicas esclarecidas que eliminem os preços subsidiados, permitam que a eficiência energética e as tecnologias de energias renováveis estejam disponíveis, melhorem o desempenho dessas tecnologias, eduquem e treinem os consumidores, exijam certos níveis de eficiência e o uso de energias renováveis, e forneçam financiamento adequado, por exemplo.

### **3.6 A era da energia solar ativa e os exemplos mundiais**

Entre as diversas possibilidades oferecidas pelas novas tecnologias construtivas providas de conceitos sustentáveis, como: o reuso da água servida; o uso de águas pluviais; a energia eólica; destaca-se a captação de energia solar com efeito fotovoltaico integrado aos próprios edifícios, que vem criando uma nova concepção arquitetônica.

Entre os anos de 1994 e 1995 foi elaborado por Thomas Hezorg, arquiteto alemão integrante do projeto READ (Renewable Energies in Architecture and Design) patrocinado pela Comissão Europeia DG XII, um documento denominado Carta Europeia da Energia Solar em Arquitetura e Urbanismo. O documento estabelece diretrizes de projetos baseadas em conceitos sustentáveis, elas referem-se ao perfil do projetista, a construção de edificações novas, a reformas de edificações em uso, e finalmente a preocupação com a cidade. Destacamos a diretriz que mais se relaciona ao presente estudo, quando diz que: “no término do balanço energético, os edifícios devem considerar-se como sistemas globais que aproveitam otimamente energias renováveis para suas múltiplas necessidades. Há que desenvolver-los como sistemas longevos capazes de abrigar diferentes usos durante um longo período de tempo.” Em 1996 este documento foi assinado pelos demais arquitetos europeus de destaque integrantes do grupo, entre eles: Victor López Cotelo, da Espanha; Nikos Fintikakis, da Grécia; Norman Foster, de Londres; Nicolas Grimshaw, de Londres; Renzo Piano, da Itália; e Sir Richard Rogers, de Londres (Behling, 1996). A produção arquitetônica não só dos países europeus, mas também de outros países industrializados desde então passa a ter novas características.

Destacamos algumas obras que fazem uso de energia solar fotovoltaica, como: a Universidade de Sophia em Tóquio (Fig. 07), que se aquece há tempos com a ajuda de coletores solares, sendo que a instalação na cobertura tem resultado em uma fonte de energia rentável ao longo dos anos; o Pavilhão de Nicolas Grimshaw para a Exposição Universal de Sevilla (1992), que dispunha de coletores muito bem desenhados que não só proporcionavam sombra, mas com a ajuda das células fotovoltaicas, acionavam

bombas de água para resfriar a fachada (Fig. 08).



**Figura 07** - UNIVERSIDADE DE SOPHIA EM TÓKIO  
 Fonte: Behling, 2002, pg. 209

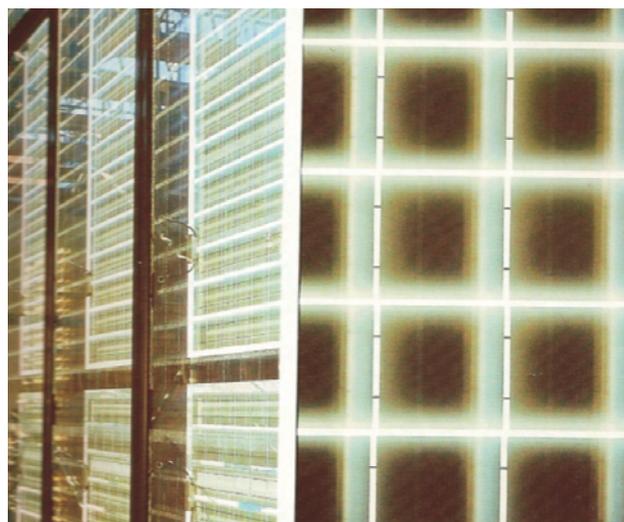


**Figura 08** - PAVILHÃO NICOLAS GRIMSHAW  
 Fonte: Behling, 2002, pg. 220.

Outros destaques: a fachada da Sede central da empresa Flachglas AG (Gelsenkirchen) na Suíça (1979), completamente integrada a painéis fotovoltaicos, sendo a primeira deste tipo em todo o mundo (Fig. 09); a Biblioteca Pompeu Fabra (Mataró, Barcelona, 1998) tem lâminas de células fotovoltaicas entre dois vidros, com um resultado que proporciona sombra e deixa passar a luz pelo espaço intersticial das células (Fig. 10); o Edifício da DEC (Digital Equipment Corporation, 1979) em Genebra (Fig. 12), o gerador elétrico a base de células fotovoltaicas, que além de sombrear o edifício, tem capacidade de 15 kW, que pode gerar até 16000 kWh ao ano (Behling, 2002).



**Figura 09** - FACHADA Flachglas AG  
 Fonte: Behling, 2002, pg. 220.

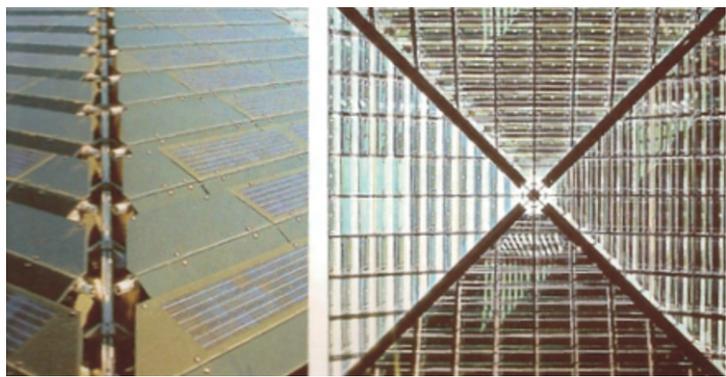


**Figura 10**- BIBLIOTECA POMPEU FABRA  
 Fonte: Behling, 2002, pg.221.

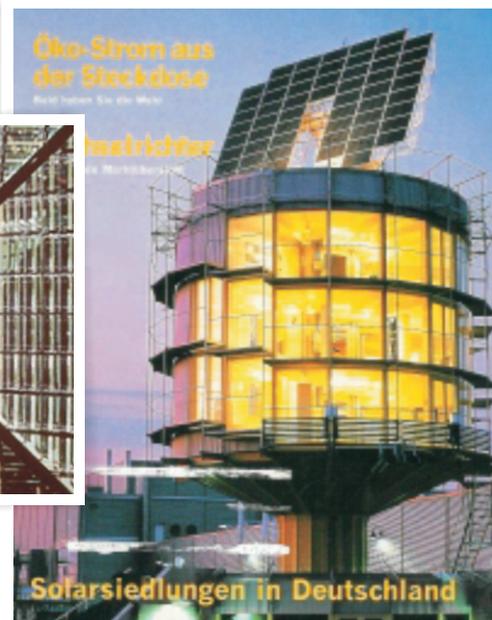
Outras obras, como o recentemente construído edifício SANYO SOLAR ARK (Fig. 11) – Museu da Energia Solar na China (aberto ao público desde 2002), cuja concepção de Norman Foster baseia-se no arranjo fotovoltaico; ou a uma residência executada na Alemanha (década de 90), cuja forma assemelha-se a um disco voador, com um eixo central vertical que gira conforme a incidência solar e cujo conjunto de módulos solares no alto da cobertura tem inclinação variável (Fig. 13).



**Figura 11** - Sanyo Solar Ark  
 obviousmag.org/archives/2007/12/sanyo\_solar\_ark.html

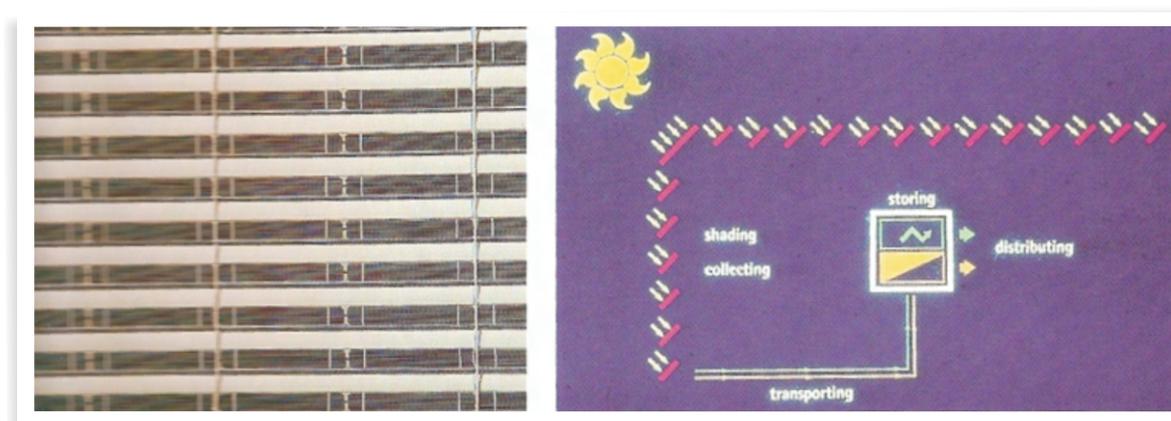


**Figura 12** - EDIFÍCIO DA DEC  
 Fonte: Behling, 2002, pg.221.



**Figura 13** - RESIDÊNCIA NA ALEMANHA  
 Fonte: Ruther, 2004, pg. 29.

Não poderíamos omitir as criações (na década de 90) de Norman Foster & Partners, que em colaboração com Norbert Kaiser, desenvolveram um protótipo (Fig. 14) de janela em rótula com células fotovoltaicas integradas, utilizáveis em edifícios existentes como persianas ou elementos móveis. Os dispositivos que dão sombra são suportes ideais para células fotovoltaicas ao se encontrarem expostos ao sol e ao poder-se orientar também segundo as condições lumínicas e a altura do sol. Com a ajuda de um sistema eletrônico bem estudado é possível priorizar de diferentes maneiras a entrada da luz, e o sombreamento necessário e a possível captação de energia solar dependendo da hora do dia ou época do ano (Behling, 2002).



**Figura 14** - PROTÓTIPO DE JANELA EM RÓTULA COM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS INTEGRADAS, DESENVOLVIDO POR NORMAN FOSTER & PARTNERS. Fonte: Behling, 2002, pg.221.

Os materiais de tecnologia fotovoltaica disponíveis no mercado europeu (ver tabela resumo dos catálogos nos anexos do final deste trabalho), como as películas de silício amorfo ou os módulos fotovoltaicos fabricados diretamente sobre telhas de vidro curvas, por exemplo, adaptam-se à forma arquitetônica, substituindo os elementos convencionais de revestimentos e coberturas, de maneira a evitar o impacto visual, plástico ou estético dos edifícios. Além da perfeita adequação a edificações comerciais, industriais e públicas, devido às grandes áreas planas. O requisito básico para a instalação do painel é a orientação solar (Tab. 05). Como condição ideal, no hemisfério sul volta-se para o Norte, com inclinação igual à latitude. Contudo, a especificidade de cada tecnologia fotovoltaica é variável e possibilita a aplicação em fachadas, como o silício amorfo, por exemplo, que embora tenha menor rendimento é significativamente interessante para a geração de energia. Embora o autor da tabela a seguir não tenha especificado qual a tecnologia utilizada para os referidos valores de produção de energia e nem os dados do Brasil, não é difícil fazer uma estimativa do que seria a produção de energia em nosso país.

**Tabela 05 – Estimativa de geração FV em diversas cidades do mundo**

Cidade	Orientação		Ângulo ótimo de inclinação	Produção de energia. kWh/m <sup>2</sup> ano
	Longitude	Latitude		
Berlin	13	52	35	121
Londres	0	52	35	111
Madrid	-4	40	35	201
Lisboa	-9	39	30	201
Roma	13	42	35	191
Amsterdã	5	62	40	129
Genebra	6	46	30	143
Cracóvia	20	50	35	124
Oslo	11	60	45	180
Atenas	23	38	30	183
Budapeste	19	47	35	143
Viena	16	48	35	132
Estambul	29	41	30	176
Abu Dhabi	55	25	25	223
Perth	116	-32	30	227
Melbourne	145	-38	30	182
Brisbane	153	-28	25	189
Cidade do México	-99	19	20	205
Miami	-80	26	35	220
Los Angeles	-117	33	30	233
Nova York	-74	41	35	169
Seattle	-122	47	35	147
Tucson	-111	32	30	253
Buenos Aires	-58	-34	30	201
Cidade do Cabo	18	-35	30	232
Nairobi	36	-1	5	203
Bangalore	77	13	15	217
Delhi	77	28	30	233
Tokio	140	35	30	149
Singapura	104	1	0	171
Hong Kong	114	22	20	156
Moscou	56	37	40	119

Fonte: Burgos et. al, 2002, pg. 57.

No Brasil, latitudes entre 0º e 27º SUL, a orientação ideal seria entre esta mesma angulação. Considerando-se a tecnologia de painéis monocristalinos, com Pcc = 120W ou 0,12 kWh em um painel de 0,85m<sup>2</sup>, estabelecemos a proporção de 0,14 kWpcc para um painel de 1,0m<sup>2</sup>. E considerando-se ainda o ganho por radiação solar em média mensal do total diário (kWh/m<sup>2</sup>/dia) - Gpoa - de Palmas – TO. Para estimar a geração de energia em uma área de 1 m<sup>2</sup>, aplicando-se a fórmula, temos:

$$E_g = P_{cc} \times G_{poa} \times \text{Rendimento} \times \text{dias do ano}$$

$$E_g = 0,14 \text{ kWpcc} \times 5,78 \text{ kWh/dia} \times 0,8 \times 360 \text{ dias}$$

$$E_g = 233,05 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$$

Onde:

- Pcc = Potência média necessária (kWpcc);
- E = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);
- G poa = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m<sup>2</sup>/dia);
- R = Rendimento do sistema (%).

Comparando-se os valores constatados para as cidades citadas na tabela anterior, percebe-se que o Brasil (Tab. 06) tem grande potencial de geração de energia FV. Este cálculo pode ser feito para as demais capitais do Brasil, desde que se especifique a tecnologia a ser utilizada e o Gpoa do local (obtido no RADIASOL – UFRGS). No capítulo 05 – Desenvolvimento do estudo de caso - deste trabalho estas informações continuarão a serem exploradas.

**Tabela 06 – Estimativa de geração FV em Palmas – TO, Brasil**

BRASIL	Orientação		Ângulo ótimo de inclinação	Produção de energia. kWh/m <sup>2</sup> ano
	Longitude	Latitude		
Palmas-TO	48	-10	10	233

A integração da tecnologia fotovoltaica a edificações pode ser dividida em três modalidades (BURGOS et al, 2002, pg. 62 a 64):

1. Sistema de captação independente;
2. Sistema de captação sobreposto;
3. Sistema de captação integrado. (Tab. 07)

**Tabela 07 – Classificação dos sistemas de captação fotovoltaicos**

Sistema de Captação FV	VANTAGENS	DESvantagens	CROQUIS	FOTOS
INDEPENDENTE	Fácil montagem em trechos planos e edifícios já construídos Estrutura independente da estrutura do edifício O grau de inclinação pode ser ótimo	Há de controlar-se o impacto visual Não representa uma poupança econômica no uso de elementos construtivos		
SOBREPOSTO	Fácil montagem. Diminui o impacto visual porque o sistema se situa em um plano paralelo a pele do edifício. A ventilação através do lado posterior do painel garante um bom funcionamento	O grau de inclinação do painel está condicionado pela inclinação da pele do edifício Não representa uma poupança econômica no uso de elementos construtivos		
INTEGRADO	<p>A poupança econômica que supõe a substituição dos materiais tradicionais de acabamento pelos elementos fotovoltaicos permite rentabilizar a instalação em um prazo mais curto.</p> <p>É um sistema muito versátil, posto que o elemento captador pode atuar como revestimento de fachada, como elemento de fechamento e como elemento de sombra.</p>	Os módulos FV têm que oferecer garantia de estanqueidade, durabilidade, etc. similares aos materiais convencionais de acabamento.		
	Elementos de Revestimento			
	Elementos de Fechamento			
Elementos de Sobra				

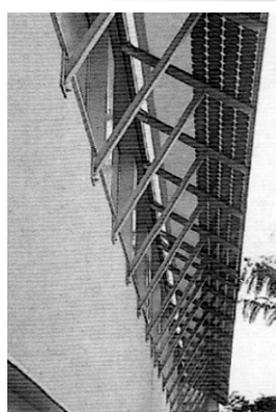
Adaptado de Burgos et. al, 2002, pg. 62 a 64.

Exemplos de utilização fotovoltaica:

- Fundación Terra, Barcelona;
- CEIP Falguera, Sant Feliu de Llobregat, Barcelona;
- Edifício nuevo del Ayuntamiento de Barcelona;
- Biblioteca Pompeu Fabra, Mataró, Barcelona;
- Museo Nac. de La Ciencia y La Téc. de Catalunã (mNACTEC), Terrasa, Barcelona;
- Estación de servicio BP, Tona, Barcelona;
- ? • 100 viviendas en el barrio de New Sloten, Ámsterdam, Holanda (Fig. 15, Tab. 08 e Tab. 09).



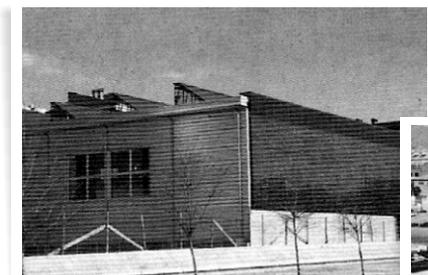
Fundación Terra, Barcelona



CEIP Falguera, Sant Feliu de Llobregat, Barcelona



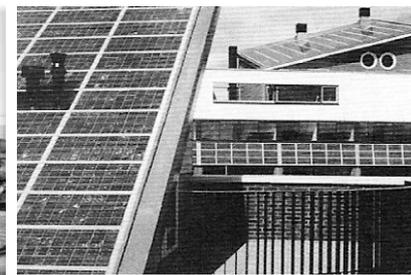
Edifício nuevo del Ayuntamiento de Barcelona



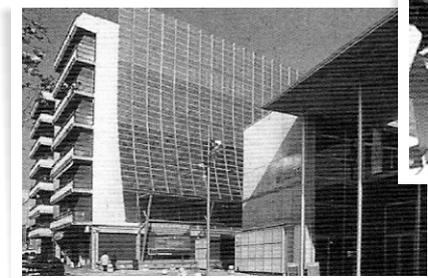
Biblioteca Pompeu Fabra, Mataró, Barcelona



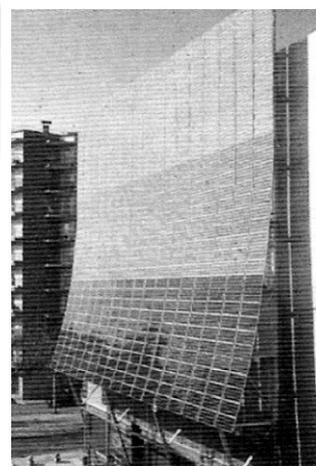
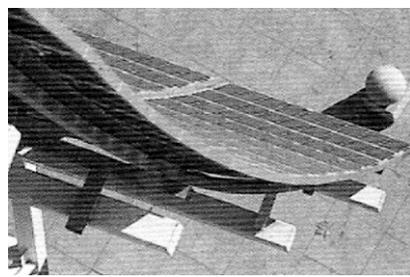
Biblioteca Pompeu Fabra, Mataró, Barcelona



100 viviendas en el barrio de New Sloten, Ámsterdam, Holanda



Museo Nacional de La Ciencia y La Técnica de Catalunã (mNACTEC), Terrasa, Barcelona



**Figura 15** - Exemplos europeus de Integração de energia solar FV. Adaptado de Burgos et. al, 2002, pg. 65 a 94.

**Tabela 08 – Exemplos europeus de integração de energia solar fotovoltaica**

Edifícios	Entrada em funcionamento	Superfície de Painel FV	Potência Instalada	Produção Anual Estimada	Poupança de Emissões de CO <sub>2</sub>	Preço m <sup>2</sup>	Percentual de Contribuição	Período de amortização
Fundación Terra, Barcelona	ano 1999	18m <sup>2</sup>	2,2 kWh	2.450 kWh	1.355,25 kg CO <sub>2</sub> /ano	1.100€./m <sup>2</sup>	20% do custo total	20 anos
CEIP Falguera, Sant Feliu de Llobregat, Barcelona	ano 1998	25m <sup>2</sup>	3,4 kWp	4.925 kWp	2.684 kg CO <sub>2</sub> /ano	-	-	-
Edificio nuevo del Ayuntamiento de Barcelona	ano 2000	293,55m <sup>2</sup>	35,8 kWp	45.600 kWp	25.852 kg CO <sub>2</sub> /ano	1.683€./m <sup>2</sup>	40% do custo total	40 anos
Biblioteca Pompeu Fabra, Mataró, Barcelona	ano 1998	603m <sup>2</sup>	53 kWp	44.800 kWp	22.416 kg CO <sub>2</sub> /ano	-	-	-
Museo Nacional de La Ciencia y La Técnica de Cataluña (mNACTEC), Terrasa, Barcelona	ano 2000	300m <sup>2</sup>	39,7 kWp	40.000 kWp	21.800 kg CO <sub>2</sub> /ano	1.202€./m <sup>2</sup>	custo total	-
Estación de servicio BP Tona, Barcelona	ano 2000	104m <sup>2</sup>	14,28 kWp	19.500 kWp	10.627,5 kg CO <sub>2</sub> /ano	1.100€./m <sup>2</sup>	-	27 anos
100 viviendas en el barrio de New Sloten, Ámsterdam, Holanda	ano 1997	2.354m <sup>2</sup>	250 kWp	173.397 kWp	94.500 kg CO <sub>2</sub> /ano	-	-	-

Adaptado de Burgos et. al, 2002, pg. 65 a 94.

**Tabela 09 – Exemplos europeus de Integração de energia solar fotovoltaica  
Produção de energia mensal nos anos de 1999 e 2000**

EDIFÍCIOS	PRODUÇÃO DE ENERGIA POR MÊS EM 1999 (kWh/mês)												PRODUÇÃO DE ENERGIA POR MÊS EM 1999 (kWh/mês)													
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	média
Fundación Terra, Barcelona	47	169	187	207	221	223	234	212	178	163	125	104	173	200	163	207	210	250	241	272	250	216	164	138	-	210
CEIP Felguera, Saint Felu de Llobregat, Barcelona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Edificio nuevo del Ayuntamiento de Barcelona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.735	5.014	4.400	3.394	2.344	1.744	1.298	2.842
Biblioteca Pomíeu Fabra, Mataró, Barcelona	2.974	3.508	3.660	3.754	3.249	3.154	4.837	4.837	4.132	3.557	3.356	2.787	3.530	3.885	3.689	4.384	4.118	4.087	3.894	4.250	4.521	4.161	3.101	3.158	2.493	3.812
Musco Nacional de La Ciencia y La Técnica de Catalunya (mNACTEC), Terrassa, Barcelona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estación de servicio BP, Isona, Barcelona	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.400	2.400	2.400	2.400	-	-	-	2.400
100 viviendas en el barrio de New Sloten, Amsterdam, Holanda	-	-	-	-	-	-	-	25.137	19.932	12.020	5.094	9.361	11.499	5.219	9.361	11.499	15.679	25.092	21.073	-	-	-	-	-	-	-

### 3.7 Aspectos Tecnológicos e Energético-Ambientais

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia da energia solar fotovoltaica (FV) apoiou-se na busca, por empresas de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a “corrida espacial”. A crise energética de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres. Em 1993 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 60 MWp, sendo o Silício quase absoluto no “ranking” dos materiais utilizados. O Silício, segundo elemento mais abundante na superfície do globo terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino, policristalino e amorfo. No entanto, a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de material do que as que apresentam estruturas cristalinas requerem uma menor quantidade de energia no seu processo de fabricação. Ou seja, possuem uma maior eficiência energética. (CRESESB, 1999).

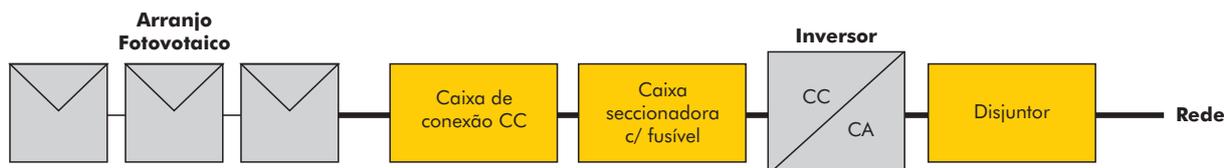
Painéis fotovoltaicos estão comercialmente disponíveis no mercado internacional desde meados dos anos 1970 e foram inicialmente usados para fornecer energia elétrica a algumas edificações demonstrativas, como aquelas que ainda funcionam no Centre for Alternative Technology no País de Gales. Entretanto, foi nos anos 1990 que houve a primeira grande explosão de FV no mundo. A Alemanha e o Japão abriram o caminho, com o Japão instalando 110MWp em 2001, a Alemanha instalando 77MWp e os EUA instalando 18MWp. Esses três programas representavam mais da metade da produção mundial de FV em 2001. A Holanda e a Espanha vinham a seguir na lista de instalações. Alguns países aparecem com a produção de energia solar FV bem menor. A Grã-Bretanha instalou cerca de 300KWp em 2001, mas, devido a um programa governamental, é possível que tenha alcançado 1MW em 2002. (ROAF, 2006).

A eletricidade produzida por cada metro quadrado de FV pode efetivamente evitar emissões de mais de duas toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera ao longo de sua vida útil. Poucas pessoas hoje acreditam que as emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera possam continuar a crescer sem conseqüências funestas, como o aquecimento global. O amplo uso de energia FV em edificações pode ajudar a reduzir tais impactos ambientais das edificações, as quais são responsáveis por gerar mais de 50% de todas as emissões globais de gases-estufa. (ROAF, 2006).

Estudos já realizados relatam que devido à excelente performance que os painéis de a-Si (Silício amorfo) têm demonstrado, estes são uma boa escolha de tecnologia para rede-conectada, integração com a edificação e utilização em climas quentes como no Brasil (RUTHER, 2004).

#### 3.7.1 Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edifícios e rede urbana

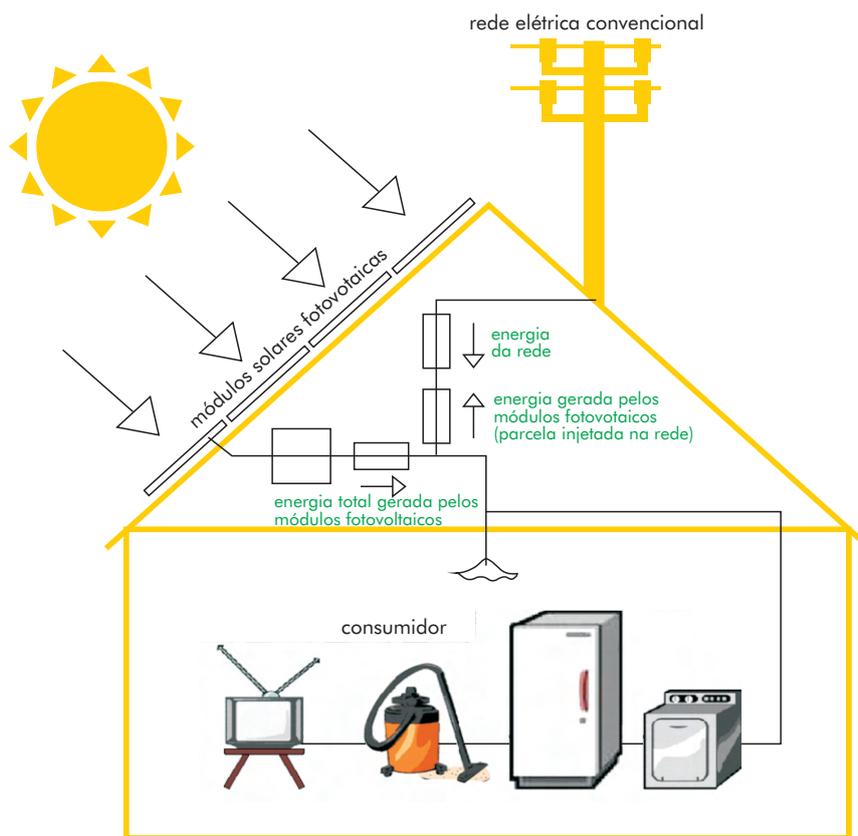
Estes sistemas utilizam grandes números de painéis fotovoltaicos, e não utilizam armazenamento de energia (Fig. 16), pois toda a geração é entregue diretamente na rede. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida estes são guiados diretamente na rede. Estes inversores devem satisfazer as exigências de qualidade e segurança para que a rede não seja afetada. (CRESESB, 2004).



**Figura 16** - Esquema de um Sistema Fotovoltaico interligado a rede elétrica  
Adaptado de Rütther, 2004, pg. 49.

A geração de energia elétrica convencional é centralizada e distante do ponto de consumo, isso faz com que o sistema gere perdas na distribuição, aumentando os custos da produção da energia e causando danos às concessionárias e ao meio ambiente. No entanto, a geração distribuída oferece inúmeras vantagens ao setor elétrico, uma vez que a disposição da unidade de geração é próxima da carga, além disso, permite uma maior diversificação das tecnologias empregadas para a produção de energia. (RODRIGUES apud SALAMONI, 2004b).

A possibilidade de integrar a geração ao ponto de consumo, utilizando a própria cobertura ou fachada (Fig. 17), sem a necessidade de área adicional, e sem prejudicar a plástica do edifício, permite eliminar as perdas de energia elétrica que ocorreriam na transmissão. Este conceito refere-se à Geração Distribuída, que ainda é pouco abordada no Brasil.



**Figura 17** - Sistemas solares fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e conectados à rede elétrica pública. Rütther, 2004, pg. 40.

No Brasil, as experiências mais comuns acontecem em sistemas fotovoltaicos isolados, isto é, instalados como alternativa para locais onde a energia convencional é de difícil acesso. São comunidades no interior de alguns Estados como: Ceará, Pará,

Bahia, Alagoas e Tocantins. Experiências iniciais, que caminham para o que é realidade em outros países. Por outro lado, no Brasil é possível observar sistemas conectados à rede elétrica pública em funcionamento. Trata-se, por exemplo, de instalações como as realizadas na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC - em Florianópolis, onde painéis fotovoltaicos adaptam-se as fachadas e coberturas de alguns edifícios e proporcionam o estudo da geração fotovoltaica a pesquisadores de diversas partes do país.

### 3.8 A pesquisa quanto a energia solar fotovoltaica no Brasil

No Brasil, embora as condições naturais de incidência do sol sejam favoráveis, a pesquisa a sistemas fotovoltaicos está em fase inicial e divide-se em basicamente três frentes:

- Células e Módulos fotovoltaicos: elementos de silício - base da conversão da energia solar em elétrica;
- Sistemas Fotovoltaicos Isolados: arranjo de painéis fotovoltaicos conectados a inversores de corrente contínua para corrente alternada, estes por sua vez ligados a baterias de armazenamento de energia (Fig. 18);
- E Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Rede: arranjo de painéis fotovoltaicos conectados a inversores de corrente contínua para corrente alternada, estes por sua vez ligados à rede pública de energia elétrica.



PAINÉIS EM FACHADA

COBERTURA FV

BATERIAS

Figura 18 - CENTRO DE CONVIVÊNCIA DA UFSC. Acervo Particular

No tocante à célula e módulos fotovoltaicos está razoavelmente desenvolvida, sendo que as instituições que têm se dedicado são: a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais) através da CETEC (Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais) em convênio com a CEMIG (Companhia de Energia de Minas Gerais); a UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto); a UEMG (Universidade Estadual de Minas Gerais); o Instituto Militar de Engenharia; a UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) no LAFAE (Laboratório de Fontes Alternativas de Energia); a UFPN (Universidade Federal do Paraná); a Universidade Tecnológica Federal do Paraná; a EPUSP (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo); a UFCE (Universidade Federal do Ceará); o Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará; a FAFIS (Faculdade de Física) da PUCRS (Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul) através do CB SOLAR (Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica), que se dedica à produção de módulos fotovoltaicos com tecnologia nacional em um espaço denominado Planta Piloto de Produção de Módulos Fotovoltaicos, o NT SOLAR - Núcleo Tecnológico em Energia Solar (Fig. 19); a UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul); a UNISINOS (Universidade do Vale do Rio dos Sinos); a UFPA (Universidade do

Pará) através do GEDAE (Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas); a UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) no Departamento de Energia Nuclear; e a UFPB (Universidade da Paraíba).



PLACA DE INAUGURAÇÃO



AMOSTRA DA PUC/RS - NT SOLAR



EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÕES DE ENERGIA

Figura 19 - IMAGENS INTERNAS DA CASA SOLAR EFICIENTE – LABEEE. Acervo Particular

Algumas destas instituições citadas realizam o estudo de Sistemas Fotovoltaicos Isolados, categoria na qual enquadraríamos a pesquisa realizada atualmente no Estado do Tocantins, citada anteriormente, e realizada através do convênio entre o MME (Ministério das Minas e Energia), o CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), a UFT (Universidade Federal do Tocantins), a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina - Fig. 20 e 21), a UnB (Universidade de Brasília) na pessoa do professor Marco Aurélio do Departamento de Engenharia Elétrica, e a ETF - TO (Escola Técnica Federal de Palmas - Tocantins) através do GEFRE (Grupo de Gestão Energética para o Desenvolvimento Sustentável).

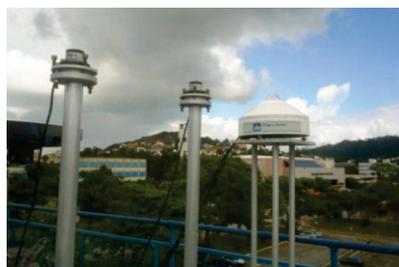


Figura 20 - EQUIPAMENTOS DE SOLARIMETRIA DISPOSTOS NA COBERTURA DO LABSOLAR. Acervo Particular



PELÍCULA DE SILÍCIO AMORFO

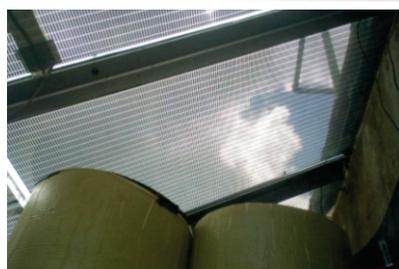


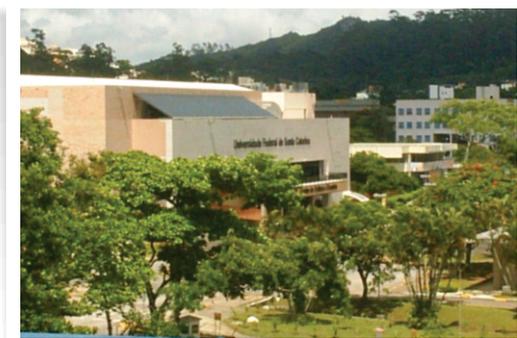
FOTO INTERNA DA COBERTURA FOTOVOLTAICA





**Figura 21** - EQUIPAMENTOS DISPOSTOS NA COBERTURA DO LABSOLAR. Acervo Particular

Já no quesito Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede existem poucos grupos, são eles: a UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) através do LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar), coordenado por Ricardo Ruther (Fig. 22 e 23); a USP (Universidade de São Paulo) no Instituto de Eletrotécnica e Energia, coordenado por Roberto Zilles; UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) no PROMEC (Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica) coordenado por Arno Krenzinger; e o CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio Salvo de Brito), na pessoa de Hamilton Moss de Souza, criado no Rio de Janeiro em 1994 por um convênio entre CEPEL (Grupo Eletrobrás) e MME (Ministério de Minas e Energia).



**Figura 22** - VISTA DOS PAINÉIS FV NA COBERTURA CENTRO DE CONVIVÊNCIA DA UFSC. Acervo Particular



**Figura 23** - CASA SOLAR EFICIENTE. Fonte: LABEEE

Como exemplos de estudos de casos solares fotovoltaicos integrados a arquitetura temos a Casa Eficiente na Universidade Federal de Santa Catarina (Fig. 24), a Casa Solar Eficiente do CRESESB no Rio de Janeiro, e as instalações dos painéis fotovoltaicos em fachadas de outros edifícios nestas mesmas localizações e em alguns edifícios da USP e da UFRGS.



**Figura 24** - CASA SOLAR EFICIENTE – LABEEE. Acervo Particular

A maioria dos Departamentos que se aplicam aos estudos Fotovoltaicos pertence às Faculdades de Física, Engenharia Elétrica ou Mecânica das Universidades, sendo que raros são os Engenheiros Cíveis ou Arquitetos a interessarem-se pelo assunto, o que torna a discussão em nosso meio bastante deficiente. Contudo, é importante citar aqui os trabalhos voltados para a arquitetura, especificamente, como os de Oscar Corbella (físico) no PROARQ da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) e do grupo GEDAE da UFPA (Universidade do Pará), que possui integrantes de formação em arquitetura e que foi citado anteriormente. O caráter multidisciplinar do tema é evidente, o que o torna especialmente peculiar.

### 3.9 Princípios e tecnologias fotovoltaicas disponíveis

Este estudo não se atém aos aspectos físicos da conversão, mas apenas à integração da tecnologia fotovoltaica às edificações. Assim limitaremos a abordagem na exposição do que há disponível no mercado internacional de sistemas fotovoltaicos.

O mercado fotovoltaico vem crescendo a cada dia, e cada vez mais os sistemas vêm sendo utilizado de forma integrada à edificação. Com isso, surge a necessidade de novos modelos, com diferentes materiais e colorações.

Uma profunda variedade de sistemas fotovoltaicos integrados à edificação encontra-se disponível hoje. Conforme Salamoni (2004a) a maioria delas pode ser agrupada em duas categorias principais: sistema de fachada e sistema de cobertura. Nos sistemas de fachada estão incluídos elementos de revestimentos de parede, painéis para vãos e vidros. Sistemas de coberturas incluem telhados e iluminações naturais nas coberturas. Portanto, é uma tecnologia de instalação de energia renovável que apresenta grande vantagem, principalmente em áreas urbanas onde não há área de terra disponível ou esta é bastante valorizada.

Atualmente, existem no mercado internacional, várias tecnologias fotovoltaicas, baseadas em diferentes elementos. Em termos de aplicações terrestres destacam-se as células solares de silício cristalino (c-Si), o silício amorfo hidrogenado (a-Si:H ou a-Si), o HIT, baseado em silício cristalino com uma camada de silício amorfo, o telureto de cádmio (CdTe) e outros compostos relacionado ao cobre e índio (CIS). Neste último grupo, segundo Ruther (2004), aparecem elementos altamente tóxicos e raros. Este fator fez com que surja um obstáculo considerável na utilização mais acentuada destas tecnologias em alguns países.

Dentre os modelos mencionados, os que possuem maior utilização são os painéis de

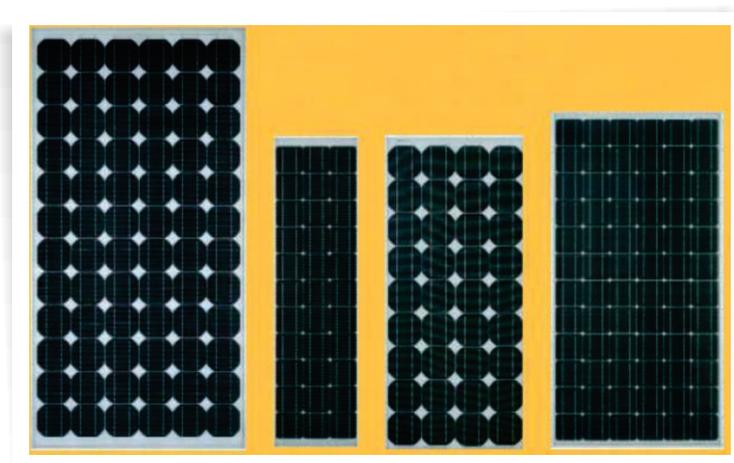
silício cristalino (poli ou mono cristalino) e os de silício amorfo.

Conforme Rüter (2004) o c-Si é a tecnologia mais tradicional e a única das mencionadas que faz o uso de lâminas cristalinas, relativamente espessas, o que aumenta os custos de produção. O restante das tecnologias é baseado em películas delgadas (filmes finos) de material semiconductor, aspecto que reduz os custos desta tecnologia. A tecnologia baseada em c-Si, dentre as utilizadas para aplicações terrestres é a que apresenta maior eficiência, em torno de 15% para módulos FV comercialmente disponíveis. As tecnologias de filmes finos, sendo inerentemente menos eficientes e também por estarem ainda na infância de seu desenvolvimento, têm um rendimento ao redor de 8% para painéis comerciais, o que significa que se necessita de aproximadamente o dobro da área em painéis solares de filmes finos para obter a mesma energia fornecida pelos painéis de c-Si.

### 3.9.1 Silício mono cristalino (m-Si) e silício poli cristalino (p-Si)

Rüter (2004) define a tecnologia c-Si (Fig. 25) como a mais tradicional e dominante no mercado FV. Além desta tecnologia apresentar uma maior limitação em termos de redução de custos de produção, não é considerada tão eficiente quando submetida a temperaturas altas, pois a eficiência está diretamente relacionada com a temperatura.

A perda de rendimento do sistema fotovoltaico com o aumento das temperaturas tem sido profundamente discutida. Cada vez mais, pesquisadores estudam o melhor design do sistema para evitar este super aquecimento. Segundo Rüter (2004), as células monocristalinas e policristalinas têm coeficientes de temperaturas, sobre a potência, negativos de aproximadamente  $-0.4\%/^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 25** - Silício monocristalino (c-Si)

Fonte: [www.habiecológica.com](http://www.habiecológica.com)

A tecnologia do c-Si ainda é a mais tradicional, apresentando maior escala de produção no meio comercial. Ela possui maior eficiência e se consolidou no mercado pela sua confiabilidade e robustez, mas segundo Rüter (2004), as possibilidades de redução do seu custo já foram praticamente esgotadas.

Rüter (2004) ainda complementa que as células fotovoltaicas de silício

monocristalino (m-Si), o monocristal é “crescido” a partir de um banho de silício fundido de alta pureza (Si=99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas (da ordem de cm/hora). Sendo que as temperaturas envolvidas são da ordem de 1400C. O silício policristalino - p-Si (Fig. 26) apresenta menor eficiência de conversão, tendo também mais baixo custo de produção, já que a perfeição cristalina é menor que no caso do c-Si e o processamento mais simples. O material de partida é o mesmo que para o m-Si, que é fundido e posteriormente solidificado direcionalmente, o que resulta num cristal com grande quantidade de grãos ou cristais, no contorno dos quais se concentram os defeitos que tornam este material menos eficiente do que o m-Si em termos de conversão fotovoltaica.



**Figura 26** - Silício policristalino (p-Si)

Fonte: [www.kyocerasolar.com.br](http://www.kyocerasolar.com.br)

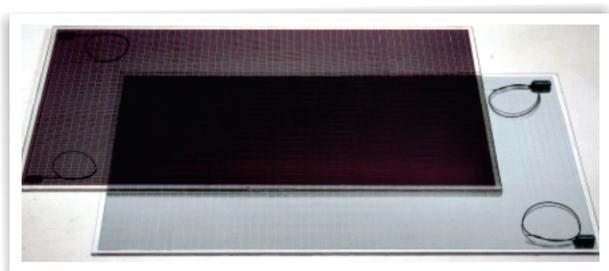
Salamoni (2004a) comenta que a possibilidade da tecnologia fotovoltaica atingir níveis de custos menores, antes do final desta década, pode ser relacionada à penetração do mercado dos módulos de filmes finos. Portanto é indicado que o mercado competitivo dos filmes finos seja realizado antes mesmo do que o usualmente previsto para os módulos de silício cristalino.

Pesquisas estão sendo feitas para aumentar a eficiência dos painéis baseados em filmes finos, a fim de que, no futuro, sejam competitivos, em termos de eficiência, com os modelos baseados em silício cristalino.

### 3.9.2 Silício Amorfo Hidrogenado (a-Si)

No início dos anos 80 a tecnologia de a-Si (Fig. 27) era vista como a única tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas) comercialmente viáveis.

A produção da tecnologia dos filmes finos difere significativamente da dos módulos de silício cristalino, além de ter uma eficiência consideravelmente menor.



**Figura 27** - Silício amorfo (a-Si) depositado sobre vidro.

Fonte: RWE Solar GmbH

Conforme Ruther (2004), os módulos são baseados no depósito de uma fina camada (0.5-10 $\mu$ m) de um material semiconductor em um substrato, usualmente uma lâmina de vidro. Compõe-se basicamente do mesmo produto que os painéis de vidro revestidos por películas (Fig. 28) comumente utilizadas pela construção civil. Dessa forma, esteticamente podem substituir o vidro comum na edificação e apresentar uma variabilidade e uma flexibilidade maior do que os módulos baseados em c-Si.



**Figura 28** - Silício amorfo (a-Si) depositado sobre material flexível.

Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 25.

Ruther (2004) ainda complementa que o recorde de eficiência em células de a-Si individuais em laboratório é inferior a 15% e os melhores módulos de a-Si disponíveis no mercado estão na faixa de 8-9%. Em algumas aplicações arquitetônicas, como material de revestimento é que o a-Si leva grande vantagem sobre o c-Si, pois o custo por m<sup>2</sup> (e não o custo por Wp) é a grandeza de interesse e neste aspecto já hoje o a-Si tem custo inferior à metade do custo do c-Si. O a-Si apresenta uma característica que a princípio se mostrou uma limitação para esta tecnologia. Painéis de a-Si sofrem um decréscimo intrínseco, mas reversível, em sua performance que se estabiliza após um declínio em eficiência de ~15 a 20%. Desta forma, logo que adquirido, um painel solar de a-Si apresenta uma performance superior à especificada para o produto. Após aproximadamente um ano em operação é que a performance estabiliza nos níveis da garantia do produto.

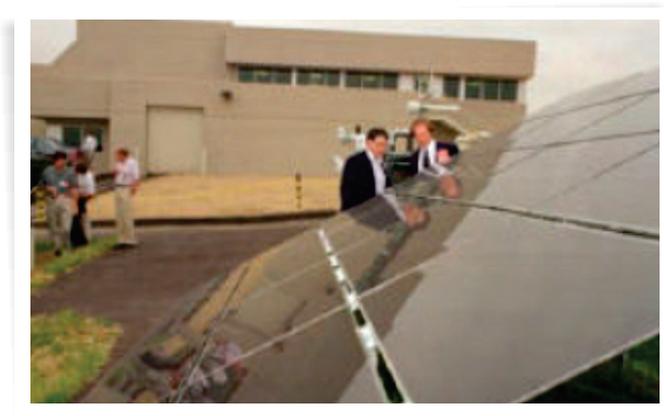
As células de silício amorfo têm coeficientes de temperatura nulos após a estabilização do material, ou seja, esta tecnologia é inerte à temperatura de operação, o que a torna atraente para aplicações integradas à edificação, onde a temperatura dos módulos FV pode chegar a 100°C (RÜTHER et al, 2004). Outro benefício é que este material pode ser depositado diretamente sobre grandes superfícies e com uma variedade de substratos.

A tecnologia de filmes finos vem sendo cada vez mais utilizada, principalmente na integração do entorno construído, por apresentar uma maior diversidade de modelos e por possuir baixos custos de produção. Hoje, estão disponíveis no mercado módulos flexíveis, inquebráveis, mais leves, semitransparentes, ou até mesmo com superfícies curvas, que podem substituir elementos de revestimento na edificação.

Estudos realizados por Rüter (2004), relatam que uma excelente performance tem demonstrado que os módulos de a-Si são uma boa escolha de tecnologia para sistemas interligados, integração com a edificação e utilização em climas quentes como no Brasil.

### 3.9.3 Telureto de Cádmio (CdTe)

Comercialmente disponível para produtos há quase uma década, para aplicações em calculadoras, a tecnologia CdTe (Fig. 29) é a recente competidora das tecnologias c-Si e a-Si. Estes módulos, também na forma de filmes finos, normalmente sob a forma de placas de vidro num tom marrom/azul escuro, apresentam um atrativo estético em comparação ao c-Si e as empresas envolvidas com esta tecnologia vêm buscando as aplicações arquitetônicas como um nicho de mercado enquanto desenvolvem seu produto, ampliam seus volumes de produção e reduzem custos.



**Figura 29** – Telureto de cádmio (CdTe) depositado sobre vidro.

Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 26.

Segundo Rütther (2004), assim como no caso do a-Si, os custos de produção do CdTe são atrativamente baixos para produção em grande escala e esta tecnologia tem ótimas chances de despontar como um sério competidor no mercado fotovoltaico para a geração de potência elétrica. A relativa raridade dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que têm de ser levados em conta, principalmente se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção. Com o recorde de eficiência de células individuais de pequenas áreas em laboratório ao redor de 16%, módulos solares encontrados no mercado internacional apresentam eficiência entre 7% e 9%.

Assim como a tecnologia baseada em c-Si, esta tecnologia possui coeficientes de temperatura, sobre a potência, negativos, que conforme Rütther (2004) são da ordem de  $-0,20\%/^{\circ}\text{C}$ , havendo desta forma, uma redução de eficiência do sistema fotovoltaico com o aumento das temperaturas.

### 3.9.4 Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS):

Outros competidores no mercado fotovoltaico no futuro próximo são os compostos baseados no disseleneto de cobre e índio -  $\text{CuInSe}_2$ , ou simplesmente CIS (Fig. 30), principalmente por seu potencial de atingir eficiências relativamente elevadas.

Conforme Ruther (2004), células de CIS de pequenas áreas produzidas em laboratório apresentam no momento eficiências em torno dos 18%, com eficiências ao redor de 9 - 10% para os módulos de grande área, comercialmente disponíveis.



**Figura 30** – Disseleneto de cobre, gálio e Índio (CIGS).

Fonte: RÜTHER, 2004, pg. 27.

Assim como as tecnologias baseadas em  $\alpha$ -Si e CdTe, apresentam uma excelente aparência estética, permitindo diversas aplicações arquitetônicas. Como no caso do CdTe, a raridade dos elementos envolvidos e sua toxicidade são aspectos que têm de ser considerados. Segundo estudos realizados por Ruther (2004) esta tecnologia apresenta coeficientes de temperatura, sobre a potência, negativos na ordem de  $-0,45\%/0C$ , havendo desta forma, uma redução na eficiência do sistema fotovoltaico com o aumento das temperaturas maior do que a para o a restante das tecnologias.

### 3.9.5 HIT

A mais nova tecnologia FV disponível no mercado, desenvolvida pela empresa japonesa Sanyo é a tecnologia HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin layer), que utiliza avançadas técnicas de produção. A tecnologia é baseada em células cristalinas com camadas ultrafinas de silício amorfo, que conforme Sanyo (2004) apresenta os maiores percentuais de eficiência de conversão e até o momento, seus custos são maiores, se comparados com as outras tecnologias.

Segundo pesquisas realizadas pela SANYO (2004), esta nova tecnologia, que combina a eficiência do silício cristalino com as características de temperatura do silício amorfo, pode prover uma potência 10% maior nas condições de altas temperaturas, além de oferecer um aumento de 36% na potência anual se comparado com os módulos de silício cristalino para a mesma área de cobertura.

Durante a produção, as células HIT requerem uma temperatura de 2000C para a formação do processo de junção, valor significativamente menor se comparado com as células convencionais, que requerem uma temperatura de 9000C. Em adição, as células HIT são 200 micrometros mais finas do que as outras tecnologias, utilizando menos silício do que as tecnologias convencionais (SANYO, 2004).

Conforme a SANYO (2004), a tecnologia apresenta coeficientes negativos na ordem de  $-0,33\%/0C$ , havendo desta forma, uma diminuição na eficiência do sistema em função do aumento das temperaturas.

Diante das tecnologias, que podem integrar-se a edificações, disponíveis no mercado internacional, percebe-se o quanto o ato de projetar os edifícios deverá adquirir uma linguagem mais voltada para as questões de consumo energético e de aplicações de tecnologias para redução do mesmo.

No capítulo 05 deste trabalho, dedicado ao desenvolvimento do estudo de caso,

apresenta-se a tabela 14, a qual expõe a comparação entre as características de potência, eficiência, área e peso dos painéis das tecnologias mais utilizadas no mercado internacional.

### **Conclusões:**

Tanto as fontes quanto as tendências atuais do uso de energia não são sustentáveis. Com o atual consumo energético corremos diversos riscos como: aquecimento global acelerado, altos níveis de investimento em fornecimento de energia, alta poluição atmosférica regional e local, maiores riscos para a segurança nacional e internacional, rápida exaustão do petróleo e continuidade da desigualdade.

Uma revolução no modo como o mundo produz e consome energia é possível e geraria diversos benefícios econômicos, ambientais e sociais. Os países não precisariam sacrificar seu crescimento econômico para proteger o meio ambiente e fornecer fontes modernas de energia para os quase dois bilhões de pessoas que atualmente não as possuem.

A eletricidade produzida por cada metro quadrado de FV pode efetivamente evitar emissões de mais de duas toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera ao longo de sua vida útil. O amplo uso de energia FV em edificações pode ajudar a reduzir tais impactos ambientais das edificações, as quais são responsáveis por gerar mais de 50% de todas as emissões globais de gases-estufa.

A redução de custo advinda da combinação entre os avanços tecnológicos e políticos de apoio, como a construção de maiores meios de produção e os efeitos de aprendizagem possibilitaria que a energia solar fotovoltaica continuasse a se expandir. Na perspectiva de que maiores esforços nacionais e internacionais apoiarão o desenvolvimento da energia limpa ao longo do século XXI, com a queda no uso de carvão e petróleo e caso um número muito maior de países adote políticas rígidas para apoiar esta fonte, o aumento das fontes de energias renováveis representaria 40% do fornecimento global total de energia até 2050 e 80% até 2100.

A estratégia da informação e treinamento para a disseminação da tecnologia de fontes renováveis obteve êxito em alguns países como a China e a Índia. No Japão, o governo federal oferece subsídios de capital consideráveis para sistemas solares fotovoltaicos para telhados. A Alemanha lançou um programa, que incluía empréstimos de 10 anos, empréstimos a juros baixos e taxas de recompra da energia eólica gerada, atraentes para estimular a instalação de sistemas fotovoltaicos. A nova política inclui pagamentos diferenciados para várias fontes de energia renovável e também permite que concessionárias, bem como produtores independentes, recebam pagamentos.

No Brasil seria muito mais interessante desenvolver uma infra-estrutura de suprimento de energia solar fotovoltaica pelo setor privado, por meio de apoio aos investidores em energia solar, além do oferecimento de microfinanciamentos atraentes e subsídios para imóveis residenciais que ainda não estivessem conectados à rede.

Os obstáculos que restringem a introdução e a implementação de tecnologias de energias renováveis, tanto em países em desenvolvimento quanto nos países industrializados – são grandes e reais. Esses obstáculos estão atrelados a fatores como: disponibilidade e desempenho tecnológico, decisões tomadas por consumidores e empresas, organização do mercado, preços e impostos da energia, legislações e forças políticas.

A interação entre algumas políticas fundamentais nos países em desenvolvimento levaria a busca pelo sistema de inovação. As políticas seriam: pesquisa,

desenvolvimento e demonstração – PD&D; financiamentos; incentivos financeiros; tarifação; acordos voluntários; regulamentações; disseminação de informação e treinamentos; aquisição de equipamentos; reformas de mercado; capacitação; e técnicas de planejamento. Além de outras políticas, como: o Programa Integrado de Recursos – PIR, a curva de aprendizado, e a criação de uma Agência Internacional de Eficiência Energética e Energias Renováveis.

Diversas barreiras limitam a introdução e implementação da eficiência energética e de tecnologias de energias renováveis no mundo inteiro. A importância das diferentes barreiras varia entre setores, instituições e regiões. O círculo vicioso da inexistência de produção e conseqüente inexistência de demanda e vice-versa, além da dificuldade em dimensionarem-se sistemas eficientes energeticamente; a falta de conhecimento não só dos consumidores, mas principalmente de projetistas, arquitetos e construtores em dimensionar os sistemas que envolvem tecnologias mais recentes, incluem-se neste íterim. Finalmente, a falta de exigência pela legislação em melhorias da eficiência energética fortalece a falta de qualificação técnica.

As próprias empresas estão mais preocupadas em desenvolver novos produtos, em manter a produção e em aumentar as vendas, o consumo de energia é uma preocupação secundária ou terciária. Conclui-se que os valores relacionados ao aspecto ambiental ainda são relativamente insignificantes em meio aos consumidores e quem é diretamente prejudicado é o planeta.

As fontes convencionais de energia recebem mais investimentos que as fontes limpas e renováveis, no entanto, os custos ambientais para a sociedade da utilização da energia elétrica, por exemplo, não são contabilizados. A disponibilidade de financiamento a juros baixos também pode significar uma grande diferença para a viabilidade de tecnologias de energia renovável em países industrializados. A inexistência de produção nacional de módulos fotovoltaicos aumenta o custo e limita o mercado para sistemas fotovoltaicos em muitos países em desenvolvimento, principalmente devido aos encargos de importação.

O conjunto inter-relacionado de barreiras pode ser especialmente problemático para tecnologias de energia renovável, uma vez que as fontes renováveis têm dificuldade para competir com fontes convencionais de energia no mercado atualmente. Sem iniciativas de políticas direcionadas para superar essas barreiras, as fontes de energias renováveis continuarão a ser um conjunto de tecnologias aplicadas apenas a usos específicos, contribuindo relativamente pouco para o suprimento mundial de energia nas próximas décadas.

Os materiais de tecnologia fotovoltaica disponíveis no mercado europeu adaptam-se à forma arquitetônica e adequam-se perfeitamente a edificações comerciais, industriais e públicas, devido às grandes áreas planas. A tecnologia mais comumente utilizada em edificações nos países em que já estão difundidas é o silício mono e/ou policristalino devido ao menor custo de produção.

Não é exagerado afirmar que a integração de tecnologia fotovoltaica em edifícios é uma realidade internacional. O Brasil trabalha em pesquisas, mas precisa avançar no processo de produção dos painéis fotovoltaicos para que haja a maior disseminação e, até mesmo, a popularização da tecnologia no país. Os sistemas solares FV conectados à rede pública de energia representam uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. No Brasil, embora as condições naturais de incidência do sol sejam favoráveis, a pesquisa a sistemas fotovoltaicos está em fase inicial. O exemplo da Casa Eficiente na Universidade Federal de Santa Catarina

caracteriza um marco da pesquisa quanto à energia solar em edificações conectadas à rede pública de energia em nosso país. Devido à peculiaridade e ao caráter multidisciplinar do tema, a discussão em nosso meio tornaria-se bem mais produtiva caso houvesse maior interesse por parte dos projetistas, arquitetos e/ou engenheiros voltados para área da construção civil.

# CAPÍTULO 4



**METODOLOGIA**

## 4.0 METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos o caminho percorrido foi:

BUSCA DO REFERENCIAL TEÓRICO ABORDANDO:

A SUSTENTABILIDADE;

A ENERGIA;

A ENERGIA SOLAR FV – EXEMPLOS MUNDIAIS DE INTEGRAÇÃO;

ASPECTOS OBSERVADOS NOS EXEMPLOS DE INTEGRAÇÃO FV EUROPEUS;

MODALIDADES DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INTEGRADOS À ARQUITETURA;

CLASSIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS FOTOVOLTAICOS;

O ESTADO DA ARTE NO BRASIL;

TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS NO MERCADO INTERNACIONAL;

ESTUDO DE CASO – EDIFÍCIO DO FÓRUM DE PALMAS – TO:

Para o estudo de caso fez-se uma analogia a dois estudos realizados por pesquisadores do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LABEEE - da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC - de integrações de tecnologia fotovoltaica em edifícios públicos. São eles: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura de Santa Catarina – CREA-SC. Assim, os seguintes aspectos foram observados:

- a) Características Geográficas de Palmas – TO, com destaque para o clima (umidade e temperatura);
- b) Levantamento dos componentes construtivos do edifício;
- c) Exposição das formas de utilização de cada pavimento;
- d) Características dos Cortes e Fachadas;
- e) Cálculo das áreas de cobertura e fachadas;
- f) Correção dos Azimutes para inserção de dados no RADIASOL;
- g) Levantamento do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO;
- h) Exposição das variáveis consideradas no edifício estudo de caso para os cálculos referentes à geração do sistema FV;
- i) Levantamento de dados de irradiação solar e dos painéis para o cálculo do sistema fotovoltaico;
- j) Exposição do RADIASOL – Interface do Usuário;
- k) Análise do ângulo de inclinação dos painéis FV;
- l) Cálculos referentes à geração do Sistema FV;
- m) Análise do potencial de geração FV no Ed. do Fórum de Palmas – TO considerando-se a Cobertura;
- n) Cálculo do Percentual de Contribuição do Sistema FV nas Fachadas;
- o) Análise da viabilidade econômica da instalação de sistemas FV em edifícios públicos;
- p) Análise dos resultados obtidos.

CONCLUSÕES

# CAPÍTULO 5



**DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO**

## 5.0 Desenvolvimento do Estudo de Caso

### 5.1 Coleta de dados e levantamentos

Os dados levantados dividem-se em três categorias: a primeira, características geográficas de Palmas – TO; a segunda, dados dos componentes construtivos do edifício; a terceira, dados do consumo de energia elétrica no edifício do Fórum de Palmas – TO; e a quarta, dados do sistema FV no Brasil.

#### 5.1.1 Características Geográficas de Palmas – TO

Capital do Estado do Tocantins

Data da Fundação: 20 de maio de 1989

Área: 2.218,90 Km<sup>2</sup>

População: 220.889 habitantes (IBGE /2006)

Densidade: 99,58 hab /Km<sup>2</sup>

Altitude: 230,00 metros

Clima: Tropical Quente-Úmido

Latitude: 10°12'46" SUL

Longitude: 48°21'37" OESTE

Distância à Brasília: 973,00 Km

A distribuição sazonal das precipitações pluviais está bem caracterizada acusando no ano, dois períodos bem definidos: a estação chuvosa de outubro a abril com temperatura média que varia entre 22 °C e 28 °C, com ventos fracos e moderados e a estação seca nos meses de maio a setembro com temperatura média que varia entre 27°C e 32°C e tem como temperatura máxima 41°C.

#### 5.1.2 Levantamento dos componentes construtivos do edifício

O local escolhido para implantação do sistema fotovoltaico é o Fórum de Palmas, capital do Estado do Tocantins. O edifício é composto de três pavimentos: térreo, 1º e 2º; e pátio interno descoberto. A estrutura é metálica, com divisórias internas em gesso acartonado. As paredes internas dotadas de instalações hidro-sanitárias são em alvenaria. Suas fachadas compõem-se em: pequena parte de alvenaria; elementos vazados, na área do estacionamento interno; e em extensos panos de vidro - laminado dourado – como elemento principal de composição, conforme o registro fotográfico (Fig. 31).



Figura 31 – Entrada do Fórum de Palmas – TO. Acervo particular.

O edifício situa-se na área destinada ao Paço Municipal de Palmas – TO, na Avenida Theotônio Segurado (eixo Norte – Sul da cidade), via de maior largura de Palmas, dotada de quatro pistas em cada sentido e canteiro central (20,00m de largura). O entorno ainda é pouco ocupado, contudo a distância dos outros edifícios do lado oposto da avenida não impede a visibilidade da reflexão do sol na fachada oeste. Embora o edifício tenha pátio interno, o que é positivo em termos de ventilação, a forma quadrada da planta faz com que ele receba altas cargas de incidência solar.

No pavimento térreo (Fig. 32) do Fórum de Palmas – TO, os ambientes destinam-se ao Hall principal de entrada, aos Cartórios de Distribuição, às agências bancárias, aos depósitos, aos banheiros de uso público, as circulações, a rampa, e a maior parte da área para o estacionamento dos juízes. Identificamos ainda a existência de uma pele dupla em parte das fachadas Norte e Oeste, que nos outros pavimentos funcionam como circulação de serviço. Esta segunda pele é em vidro laminado dourado, são esquadrias que abrem (em forma de meio basculante) para uma possível ventilação natural, mas que na prática permanecem fechadas o dia todo, uma vez que opta-se para a climatização artificial. A existência desta circulação faz também com que os ambientes fiquem sem contato direto com o exterior, sem ventilação natural direta.

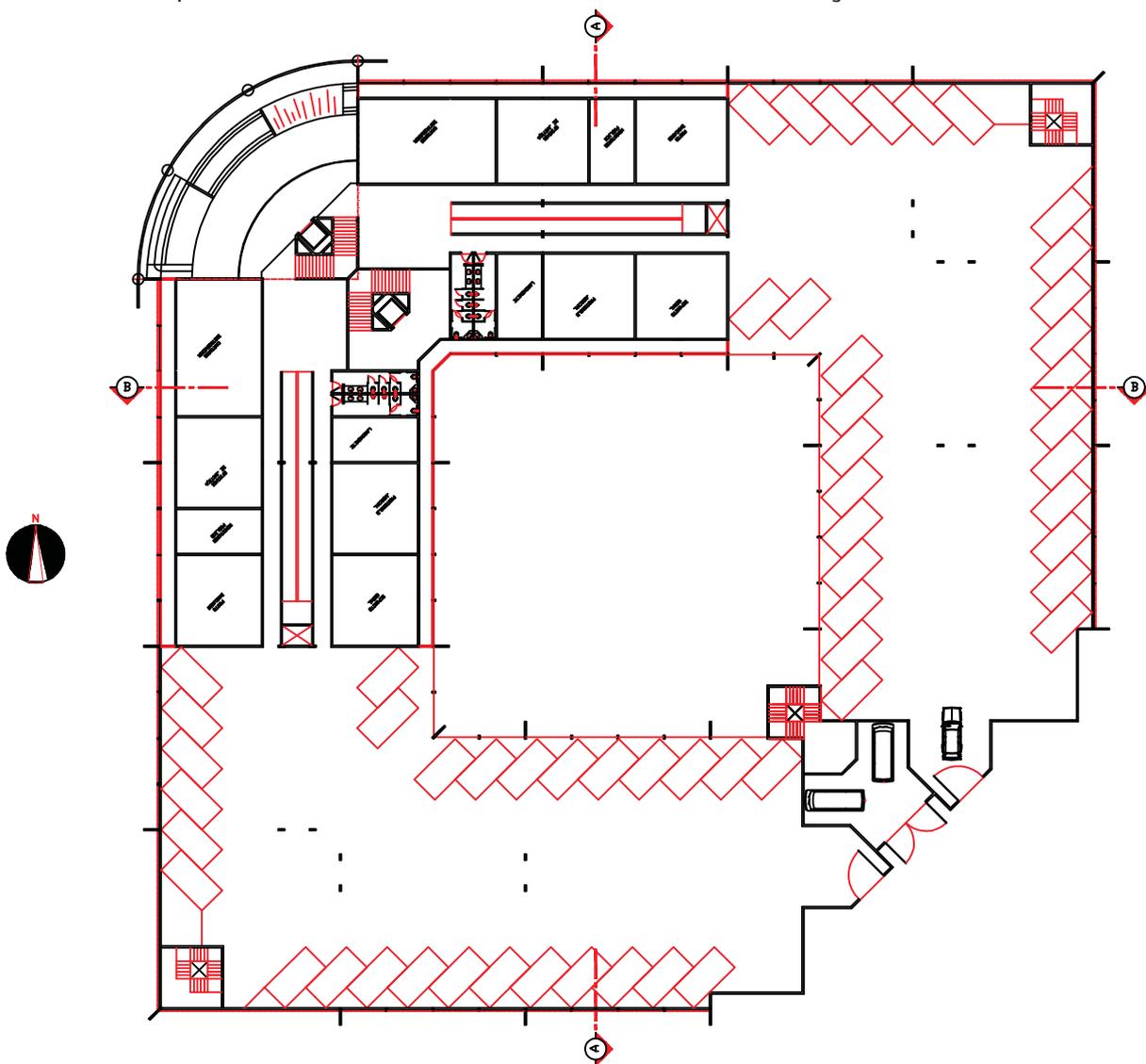
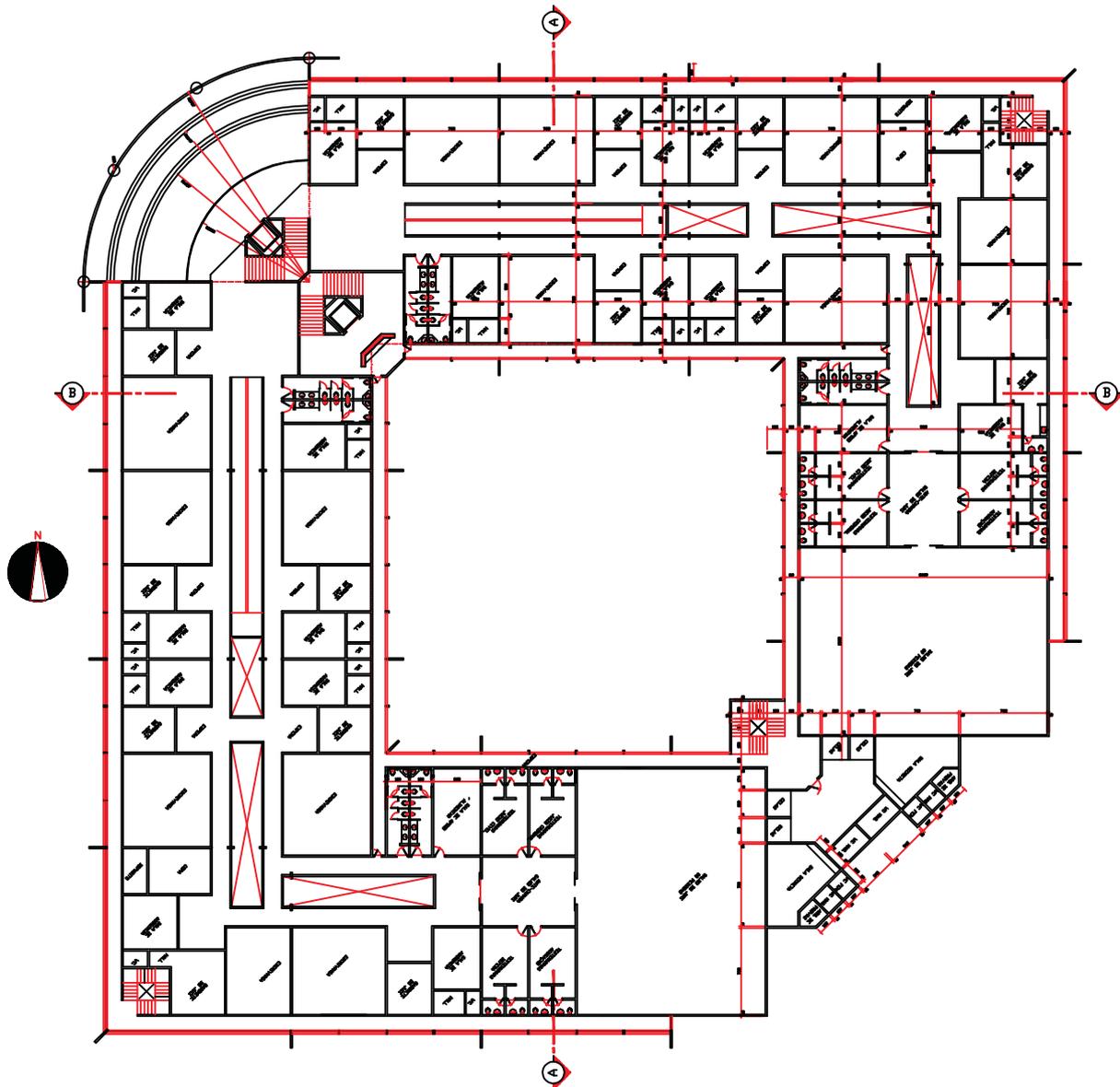


Figura 32 – Planta do Pavimento Térreo. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

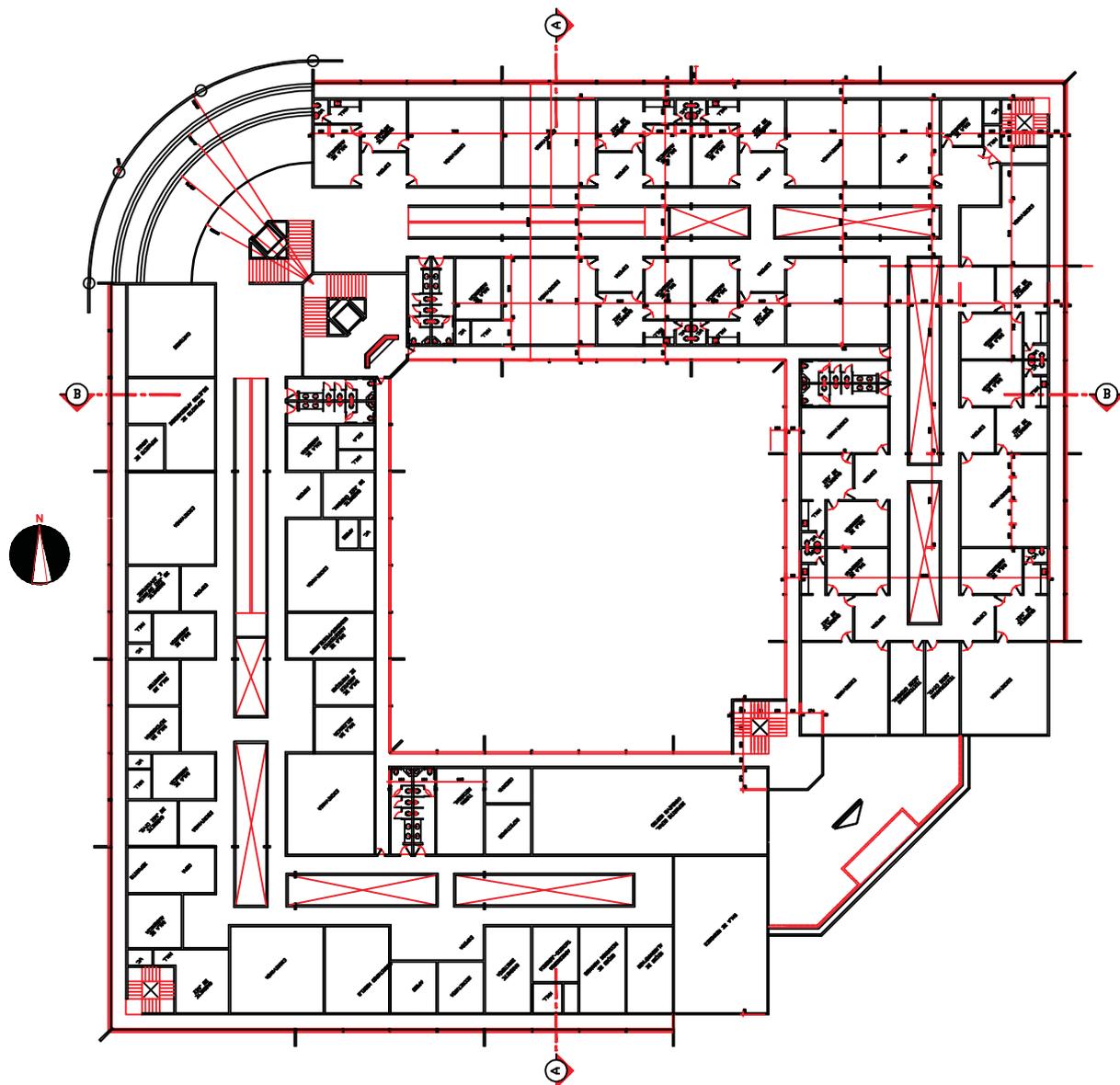
O primeiro pavimento (Fig. 33) destina-se: às Varas - dotadas, por sua vez de: gabinete do juiz com banheiro e copa, sala de audiência, cartório e espera; ao salão do júri - com capacidade para 80 pessoas - que dá acesso à sala de testemunhas, sala secreta, cela e sanitários; e aos banheiros públicos.



**Figura 33** – Planta do Primeiro Pavimento. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

No Segundo Pavimento (Fig. 34) temos também as demais Varas; as salas da diretoria do Fórum; algumas salas destinadas ao uso da informática; banheiros de uso público e circulação.

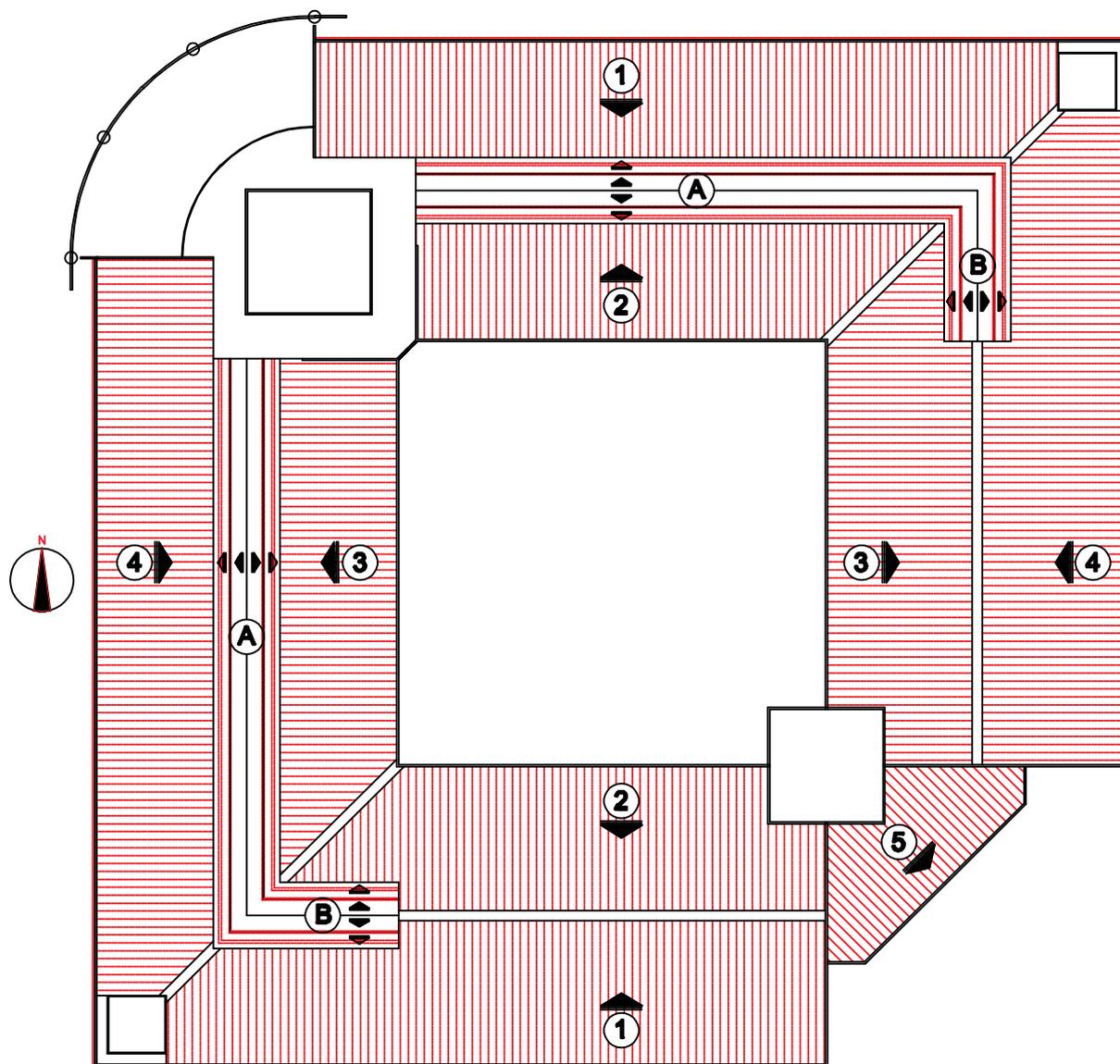


**Figura 34** - Planta do Segundo Pavimento. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

A figura 35 apresenta a planta de cobertura do edifício, dividida em 13 áreas (adaptação nossa). A cobertura do edifício totaliza uma área de 4275,96m<sup>2</sup>, composta por várias águas. O telhado divide-se em três tipos: a maior parte da área é do tipo aço galvanizado (áreas 1, 2, 3, 4 e 5 da Fig. 35), alguns volumes menores têm laje impermeabilizada (as caixas de escada) e o lanternim no eixo central dos blocos (acima da circulação) é coberto com telha translúcida de policarbonato (áreas A e B da Fig. 35). A inclinação das telhas em aço galvanizado é de 7%.

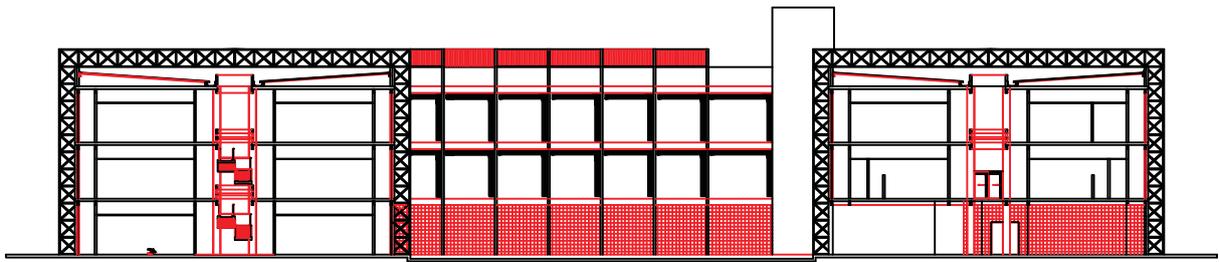
### 5.1.2.1 Área para instalação dos painéis fotovoltaicos



**Figura 35** – Planta de Cobertura do edifício. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

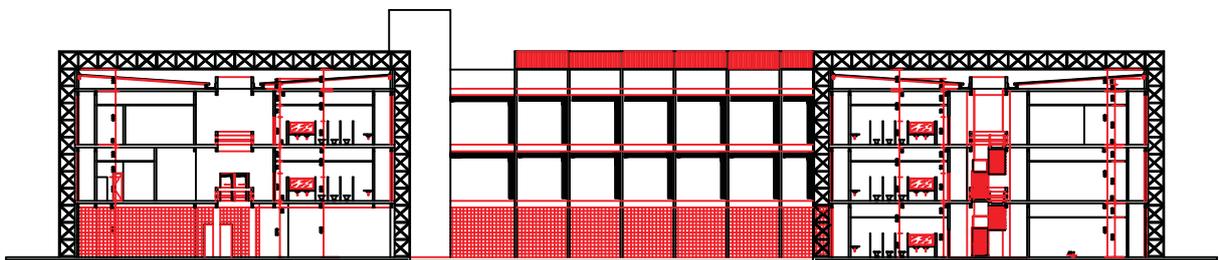
No corte AA (Fig. 36) identificam-se: o pátio central; o lanternim acima do eixo central dos blocos, coincidindo com as rampas de circulação interna; e as circulações de serviço, paralelas às fachadas externas e a caixa de escada de serviços. Uma observação importante é de que, embora a estrutura do edifício seja metálica, esta treliça metálica apresentada no corte do projeto não foi executada.



**Figura 36** – Corte AA. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

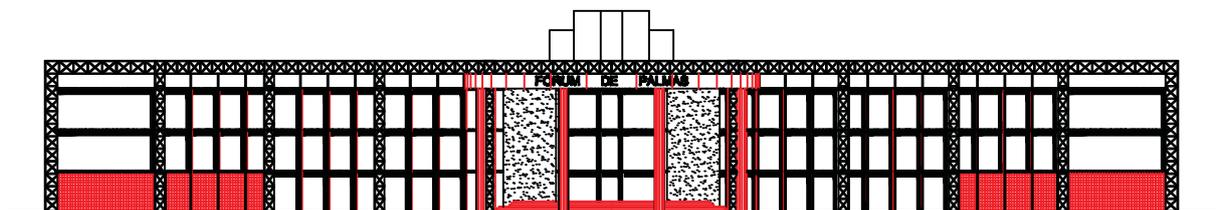
No corte BB (Fig. 37) basicamente as mesmas considerações do corte AA, uma vez que o edifício é simétrico.



**Figura 37** – Corte BB. Esc.: 1:500.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

A fachada frontal (Fig. 38) considerada em projeto na verdade é Noroeste (chanfro entre as fachadas Norte e Oeste), onde acontece a entrada principal do Fórum de Palmas – TO. Nos cantos inferiores: esquerdo e direito da fachada frontal, identificamos o elemento vazado como vedação do primeiro pavimento, os quais proporcionam a ventilação do estacionamento interno (para os juízes). Detalhe para os extensos panos de vidro laminado dourado e para as colunas metálicas treliçadas do projeto, que inexistem na prática.



**Figura 38** – Fachada Frontal. Esc.: 1:750.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

O Fórum não tem sombreamento de edifícios vizinhos (Fig. 39). Na cobertura, os volumes das caixas de escada causam certo sombreamento em determinados períodos do dia. Pela observação direta do local, nota-se que a área sombreada pelos volumes não é significativa, desta maneira o cálculo da geração fotovoltaica será priorizado.



**Figura 39** - Imagem aérea do edifício.

Fonte: [www.googleearth.com.br](http://www.googleearth.com.br). Acesso em 23 de abril de 2008 às 10:26 hs.

A área das fachadas em pele de vidro também será considerada para instalação da película desenvolvida como alternativa de tecnologia fotovoltaica. Dispõe-se de 3464,88 m<sup>2</sup> de área total em fachadas (Tab. 10).

Levantando as medidas pela planta de cobertura do projeto arquitetônico, considerou-se a área mais apropriada para a instalação dos painéis fotovoltaicos, conforme esquema da figura 2, totalizando 4275,96 m<sup>2</sup> (Tab. 11).

**Tabela 11 – Área de coberturas do Fórum de Palmas – TO**

**Tabela 10 – Estimativa de geração FV em versas cidades do mundo**

FACHADA	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Norte	911,62
Sul	820,82
Leste	820,82
Oeste	911,62
<b>Total</b>	<b>3.464,88</b>

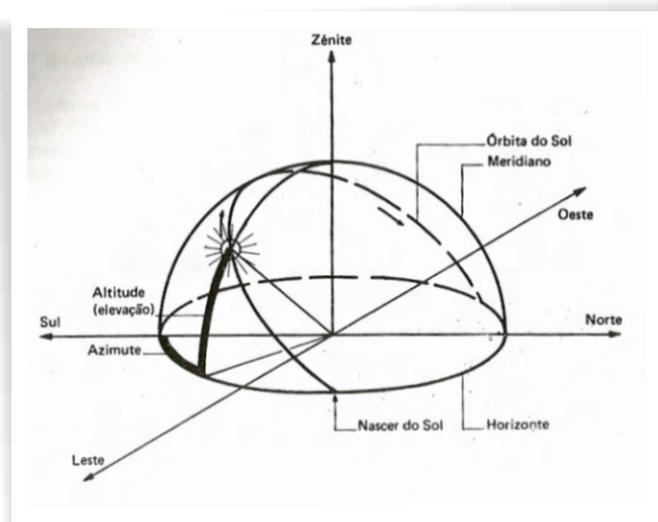
Código área	ÁREA (m <sup>2</sup> )
1	520,06
1	520,06
2	328,64
2	328,64
3	395,24
3	395,24
4	534,38
4	534,38
5	138,28
A	228,64
A	228,64
B	61,88
B	61,88
<b>Total</b>	<b>4.275,96</b>

O edifício situa-se paralelo ao Norte Geográfico, sendo que a correção dos azimutes das fachadas foi calculada considerando-se a declinação magnética padrão de 15° (Tab. 12).

**Tabela 12 – Correção dos Azimutes das Fachadas do edifício do Fórum de Palmas - TO.**

Fachada	Azimute		
	Norte Magnético	Declinação Magnético	Norte Geográfico
<b>Norte</b>	15	15	0
<b>Sul</b>	-165	15	-180
<b>Leste</b>	105	15	90
<b>Oeste</b>	<b>-75</b>	<b>15</b>	<b>-90</b>

O azimute (Fig. 40) é a distância em graus do eixo Norte-Sul ou Leste-Oeste, que pode ser identificada negativa ou positiva, conforme o sentido da rotação.

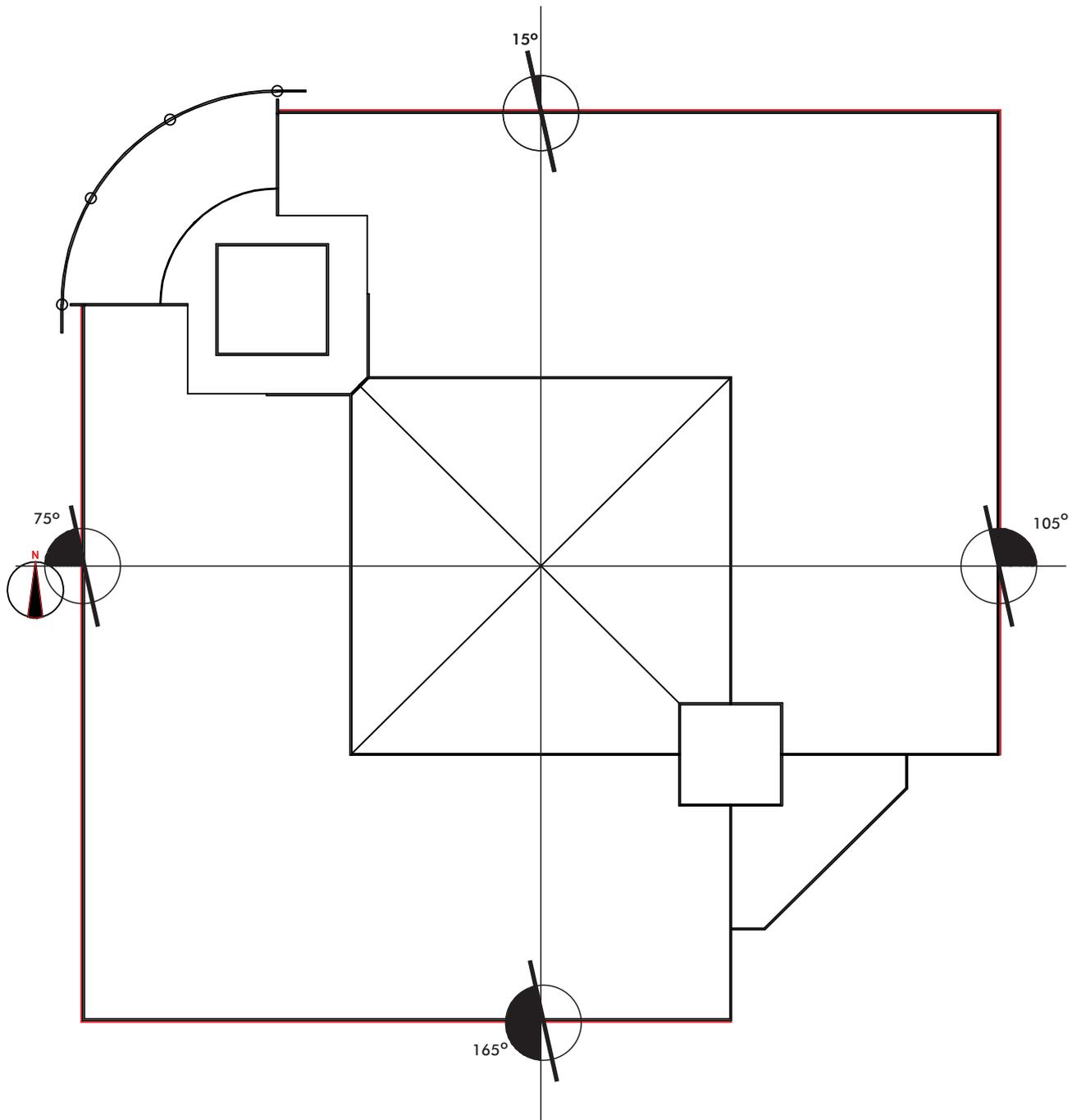


**Figura 40 - Azimutes**

Fonte: Wolfgang Palz, 1995. Pg. 178.

### 5.1.2.2 Orientação geográfica

A orientação das fachadas do Edifício do Fórum de Palmas – TO é exatamente Norte, Sul, Leste, Oeste, nas quais se torna necessário a correção dos azimutes em função da declinação magnética do Sol de  $15^\circ$  (Fig. 41).



**Figura 41** - Planta de Localização. Esc.: 1:500  
 Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

### 5.1.3 Levantamento do consumo de energia elétrica do edifício do Fórum de Palmas – TO

O estudo do consumo da energia elétrica no edifício foi possível mediante as informações obtidas junto à concessionária – REDE CELTINS – referente aos anos de 2006, 2007 e 2008 conforme a tabela 13. Para o presente estudo, serão considerados os chamados horários fora de ponta, ou seja, todos menos das 18 às 21:00 hs (horário de ponta). O consumo fora de ponta total em 2006 foi de 876.345 kWh, em 2007 foi de 956.221 kWh e em 2008 foi de 997.429 kWh.

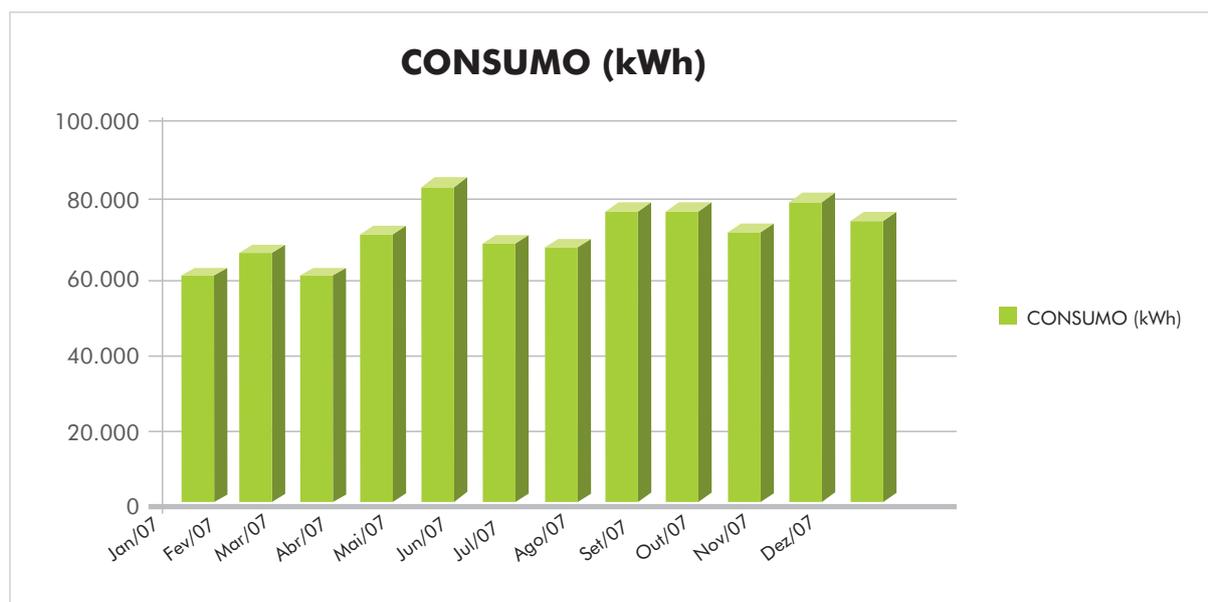
**Tabela 13 - Consumo médio mensal de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2006, 2007 e 2008 fora de ponta.**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
CONSUMO kWh 2006	62.034	68.421	63.675	74.333	82.496	70.731	69.485	78.234	77.768	73.555	79.670	75.943	73.029
CONSUMO kWh 2007	72.180	72.506	83.268	72.048	85.815	80.977	76.491	89.933	84.047	89.994	76.364	72.598	79.685
CONSUMO kWh 2008	77.586	77.572	75.145	83.894	70.819	91.353	77.875	88.934	100.080	98.755	80.928	79.488	83.119

Fonte: REDE CELTINS, 2009.

O maior consumo ocorre entre os meses de agosto a outubro, coincidindo com o período de maior calor e por sua vez de maior necessidade de utilização de climatização artificial (Gráficos 02, 03 e 04).

Em se tratando de um edifício público, o maior consumo de energia elétrica destina-se à climatização artificial, dividindo-se esta entre ar condicionado central e alguns individualizados como reforço; iluminação artificial; alguns refrigeradores (geladeiras e frigobar); e equipamentos de informática.



**Gráfico 02 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO FÓRUM DE PALMAS – TO EM 2007**  
Gráfico elaborado no Excel com os dados fornecidos pela REDE CELTINS.

### CONSUMO (kWh)

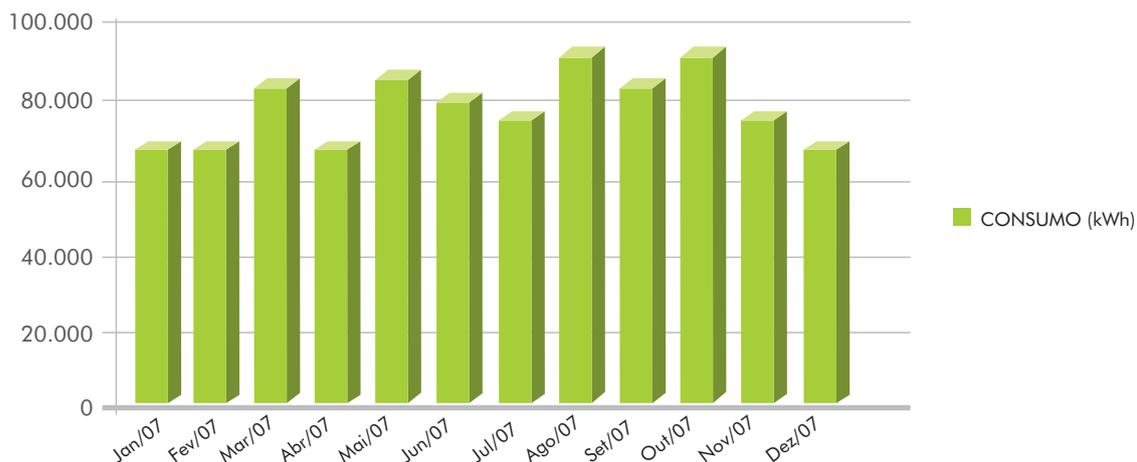


Gráfico 03 – Variação no consumo médio mensal ano 2007.

### CONSUMO (kWh)

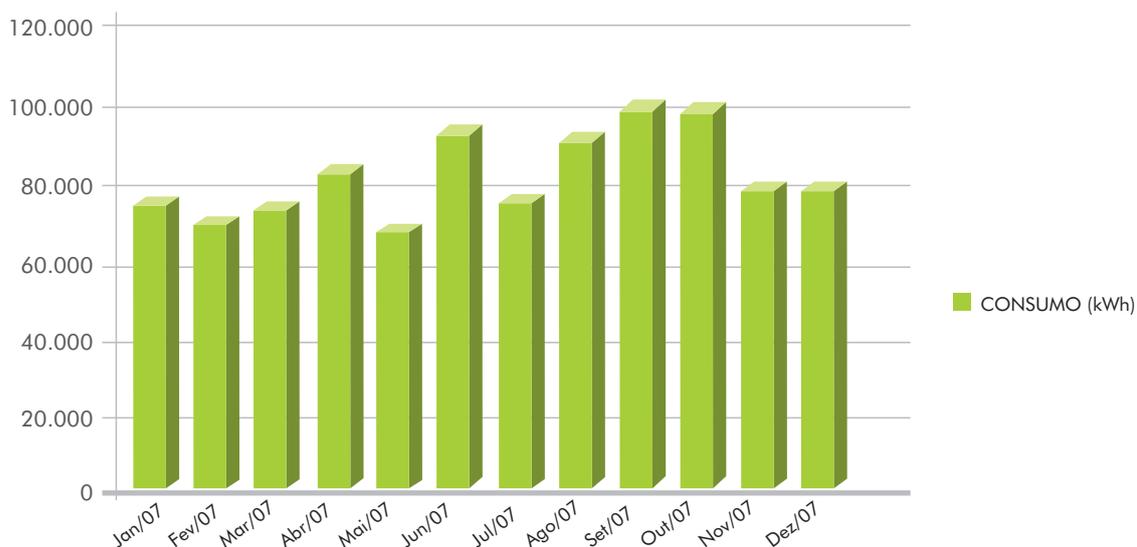


Gráfico 04 – Variação no consumo médio mensal ano 2008.

#### 5.1.4. Levantamento de dados de sistemas FV no Brasil

O Laboratório de Energia Solar - LABSOLAR – da Universidade Federal de Santa Catarina se dedica há mais de uma década ao levantamento do potencial de radiação solar incidente sobre o território nacional. A figura 42 a seguir mostra um dos mapas do Atlas Solarimétrico do Brasil. Este Atlas é o resultado de vários anos de consolidação de medições realizadas em estações de superfície que validam medições realizadas através de imagens de satélite fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE. O Atlas é refinado ano a ano, na medida em que mais dados medidos são agregados ao banco de dados e a série se torna mais representativa de um ano típico. A partir deste Atlas é possível estimar o potencial de geração de sistemas solares fotovoltaicos instalados em qualquer ponto do território Brasileiro (Ruther, 2004).

A figura 42 mostra a média anual do total diário de radiação global no plano horizontal.

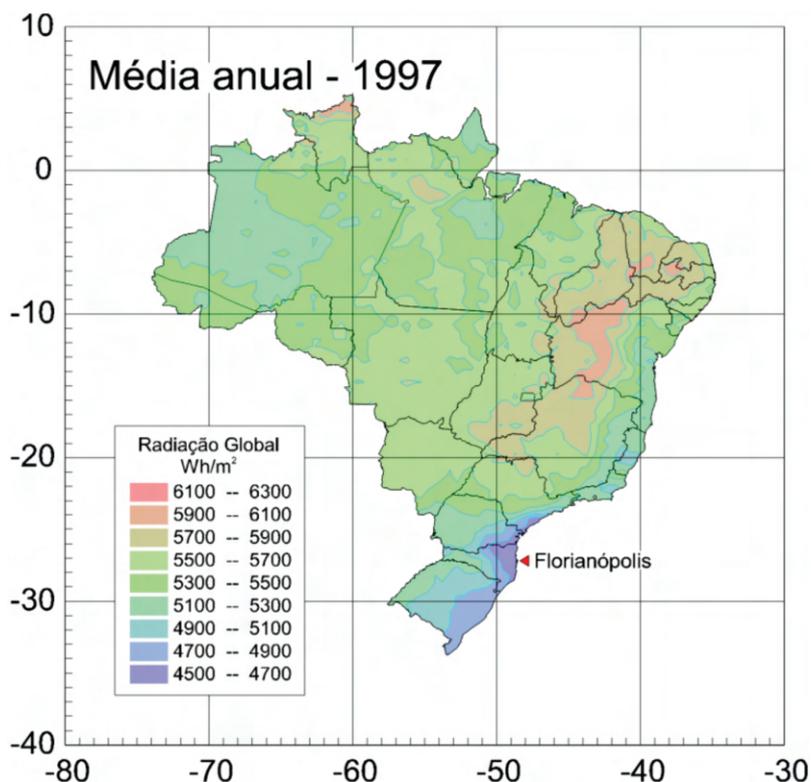


Figura 42 - Atlas de Radiação Solar do Brasil. Fonte: Pereira et. al, 2006, apud Ruther, 2004, pg. 68.

### 5.1.5 O potencial energético em Palmas para a geração fotovoltaica

Com o programa RADIASOL 2.1 (Fig. 43), desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande de Sul – UFRGS - gerou-se o gráfico com a distribuição média de radiação solar ao longo do ano sobre a cidade de Palmas, considerando-se uma superfície voltada para o norte e com a inclinação de 10°, correspondente à latitude local.



Figura 43 – Interface do usuário - 1. Fonte: UFRGS, 2007.

A radiação solar global horizontal diária média ao longo do ano em Palmas - TO é de 5780 Wh/m<sup>2</sup>, sendo que as menores radiações ocorrem no mês de junho (média de 5422 Wh/m<sup>2</sup>), e as maiores radiações ocorrem no mês de setembro (média de 6520 Wh/m<sup>2</sup>). O RADIASOL tem em seu banco de dados algumas capitais, sendo que possibilita a inserção dos dados que não existem e a edição dos mesmos (Fig. 44).



Figura 44 – Interface do usuário - 2. Fonte: UFRGS, 2007.

Os principais dados a serem inseridos no RADIASOL, são: o ângulo de inclinação do painel e a correção do desvio azimutal em relação ao Norte (Fig. 45). Em coberturas, por exemplo, utiliza-se geralmente o ângulo da latitude para a locação dos painéis e no caso de fachadas o ângulo de inclinação é preferencialmente 90°.

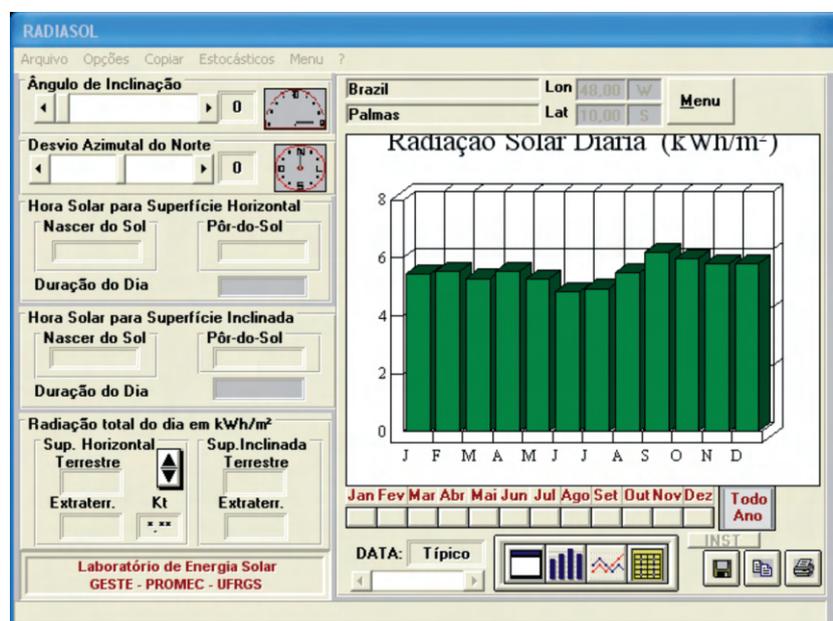


Figura 45 – Interface do usuário - 3. Fonte: UFRGS, 2007.

O RADIASOL fornece alguns gráficos e tabelas fundamentais para a análise da geração dos sistemas fotovoltaicos (Fig. 46). As tabelas indicam inclusive as médias mensais anuais e os horários de maior ou menor geração.

Tabela de Radiação Inclinada													
Imprimir		Sair											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
4:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6:30	95	85	68	55	38	27	31	47	71	86	97	104	67
7:30	245	241	221	220	199	177	184	212	254	257	259	262	228
8:30	408	411	390	405	380	346	356	398	456	443	434	433	405
9:30	560	570	551	581	555	509	522	575	648	620	598	593	574
10:30	678	695	676	719	692	637	653	714	799	757	726	717	705
11:30	743	763	744	795	767	708	725	791	881	833	796	785	778
12:30	743	763	744	795	767	708	725	791	881	833	796	785	778
13:30	678	695	676	719	692	637	653	714	799	757	726	717	705
14:30	560	570	551	581	555	509	522	575	648	620	598	593	574
15:30	408	411	390	405	380	346	356	398	456	443	434	433	405
16:30	245	241	221	220	199	177	184	212	254	257	259	262	228
17:30	95	85	68	55	38	27	31	47	71	86	97	104	67
18:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20:30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5458	5530	5300	5550	5262	4808	4942	5474	6218	5992	5820	5788	5512

Figura 46 – Interface do usuário - 4. Fonte: UFRGS, 2007.

## 5.2 Cálculo de Radiação e Geração Solar Fotovoltaica com a proposição das tecnologias fotovoltaicas.

O objetivo é contribuir na geração da energia consumida pelo Fórum de Palmas durante os momentos de insolação.

### 5.2.1 Características dos equipamentos do sistema fotovoltaico

O sistema Fotovoltaico proposto é interligado à rede elétrica urbana, o que dispensa a utilização de baterias e por sua vez requer baixíssima manutenção. Os acumuladores, conhecidos como baterias, são os maiores responsáveis pelas ações de manutenção em sistemas fotovoltaicos.

O sistema Fotovoltaico é composto pelos seguintes equipamentos: conjunto de painéis fotovoltaicos, inversor de Corrente Contínua para Corrente Alternada, caixa de conexão em corrente contínua e sistema de proteção e manobra (Fig. 47).

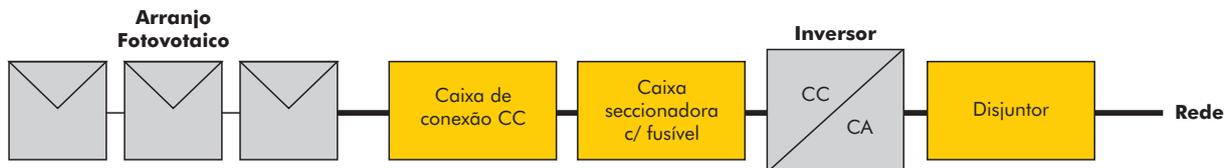


Figura 47 – Esquema de um Sistema Fotovoltaico interligado a rede elétrica Adaptado de Rütther, 2004, pg. 49.

### Simulações das melhores possibilidades

Para o modelo do painel utilizaremos a seleção feita por SALAMONI (2004b) retirada de uma base de dados internacional (PHOTON INTERNATIONAL, 2003). Trata-se de quatro modelos que englobam três tecnologias: silício monocristalino, policristalino e amorfo; sendo que os principais critérios adotados foram: eficiência, dimensões, potência nominal, tensão e sua finalidade de aplicação (Tab. 14). A metodologia a ser aplicada ao estudo de caso é proveniente do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LABEEE – da Universidade Federal de Santa Catarina –

UFSC. Optou-se pelas tecnologias a seguir por estarem entre as mais comuns no mercado internacional e por terem sido experimentadas em estudos realizados por pesquisadores do referido Laboratório.

**Tabela 14 – Modelos de painéis utilizados**

CARACTERÍSTICAS	PAINÉIS SELECIONADOS			
	A	B	C	D
Fabricante	Axitec	Solon	Alfasolar	Bekaert ECD Solar Systems
Modelo	AC-190P	SOLON P200 Q6	Alfasolar 120 M	Uni-Solar US-64
Tipo de Células	Policristalino	Policristalino	Monocristalino	Amorfo
Potência Nominal (W)	190	200	120	64
Comprimento (m)	1,335	1,600	1,293	1,366
Largura (m)	1,052	0,950	0,660	0,741
Espessura (m)	0,035	0,042	0,035	0,32
Eficiência (%)	13,5	13,2	14,1	6,3
Voltagem MPP (V)	20,4	29,4	17,9	16,5
Peso (kg)	15,9	17,0	11,8	9,17

Fonte: PHOTON INTERNATIONAL, 2003 apud SALAMONI, 2004b, pg. 09

A título de comparação, são propostos dois momentos distintos para o cálculo da contribuição: um para a cobertura e outro para as fachadas. No primeiro (cobertura) há de se considerar os quatro modelos de painéis propostos, direcionados para o Norte - azimute 0° e a inclinação de 10°; no segundo, apenas o silício amorfo aplicados sobre as fachadas de vidro, Norte, Sul, Leste e Oeste, com inclinação de 90°.

Para calcular a potência gerada pelos painéis foram necessários dados diários de radiação solar incidente. Os valores das médias mensais (Tab. 15 e Gráfico 05) do total diário da radiação solar (kWh/m<sup>2</sup>/dia), em todos os meses do ano, foram obtidos no LABSOLAR/UFSC e alimentaram o banco de dados do programa RADIASOL 2.1, da UFRGS, o qual gera as médias de produção de energia em função das diferentes orientações e inclinações dos painéis.

**Tabela 15 – Irradiação solar mensal em Palmas**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Global/hor</b>	5464,98	5533,86	5297,74	5297,74	5271,06	4820,26	4951,23	5484,97	6219,59	5988,07	5825,97	5788,74
Inclinado	5181,49	5391,42	5366,42	5366,42	5788,14	5374,09	5486,16	5902,79	6431,47	5934,64	5579,80	5422,39

Fonte: Labsolar / UFSC.

### PALMAS (inclinado)

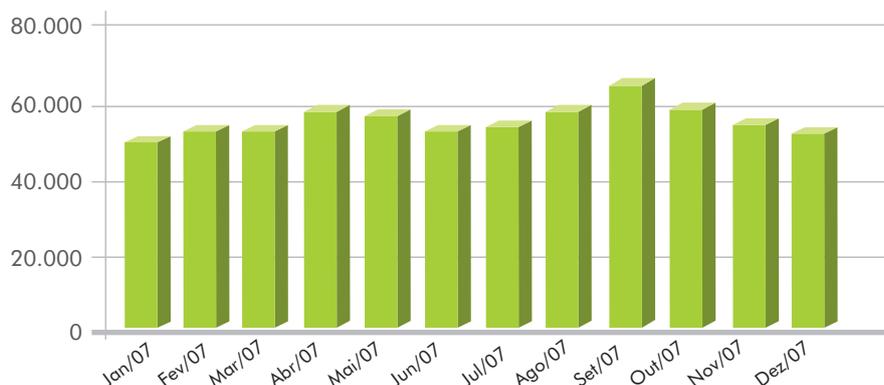


Gráfico 05 – Irradiação solar mensal em Palmas. Fonte: Labsolar / UFSC.

Na cobertura os ângulos analisados para instalação dos painéis foram de 0º e 12º, e embora a latitude local seja 10º SUL, após os cálculos com auxílio também do RADIASOL, concluiu-se que a segunda inclinação pode ser considerada a ideal (Tab. 16 e Gráfico 06). Os dados de radiação solar considerados na Tabela 12 foram os do mês de setembro, período do ano de maior incidência solar.

**Tabela 16 – Radiação x incidência solar**

ÂNGULO DE INCLINAÇÃO (grau)	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	45	60	75	90
RADIAÇÃO SOLAR (Wh/m <sup>2</sup> )	6220	6460	6496	6522	6532	6528	6506	6472	6424	6356	6278	5860	5278	4440	3498

Fonte: Labsolar / UFSC.

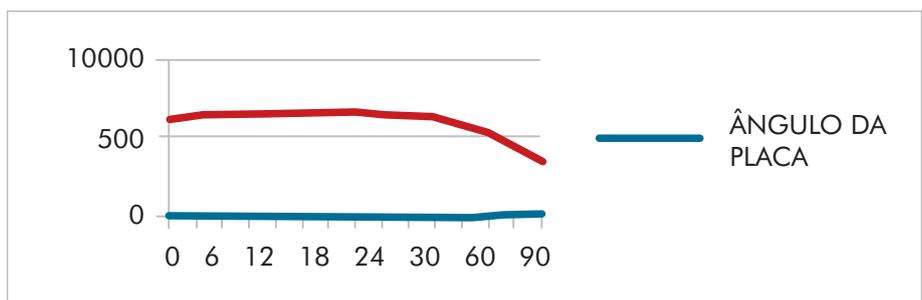


Gráfico 06 - Inclinação X Radiação Solar

### 5.2.3 Cálculos referentes à geração do sistema

Pelo cálculo da potência nominal gerada a partir da radiação solar necessária para atender ao consumo médio diário da edificação, é possível estimar a área necessária de painéis a ser instalada. Esta é a área que faria do edifício sustentável em termos de consumo e produção de energia elétrica, tornando-o independente da energia fornecida pela concessionária.

As seguintes variáveis consideradas para o edifício do Fórum de Palmas – TO: área - 4275,96 m<sup>2</sup>; forma da cobertura – quadrada com pátio interno descoberto; aberturas zenitais – cobertas com policarbonato; posicionamento geográfico - paralelo ao norte; azimute com declinação magnética de 15º NO; latitude – 10ºS; envoltório em pele de vidro; área das fachadas - 3464,88 m<sup>2</sup>; obstruções do entorno - nenhuma; consumo de energia elétrica da edificação fora dos horários de ponta – 73.029 kWh (média mensal em 2006), 79.685 kWh (média mensal em 2007), e 83.119 kWh (média mensal em 2008); ganho de radiação solar incidente no plano de arranjo fotovoltaico com média mensal anual de 5780 Wh/m<sup>2</sup>; rendimento do sistema – 80%; e eficiência do sistema – 12%.

As informações necessárias para o cálculo são: o consumo médio diário da edificação, que encontramos dividindo a média mensal anual (anos de 2006, 2007 e 2008) pelos dias do mês (30), sendo que este valor corresponde a 2.434,30 kWh por dia em 2006, a 2.656,17 kWh por dia em 2007, e 2.770,63 kWh por dia em 2008 (média geral de 2.620,37 kWh); o ganho diário de radiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico. Supondo a instalação dos painéis com um ângulo de inclinação igual a 10º e com um desvio azimutal em relação ao norte de 0º (acompanhando a direção do telhado), o ganho médio total de radiação durante o dia para a cidade de Palmas, fornecido pelo programa RADIASOL 2.1, corresponde a 5,780 kWh/m<sup>2</sup> por dia. O rendimento do Sistema de Inversores e fiação tem valor situado tipicamente entre 70 e

90%, sendo que o adotado será  $R=80\%$ . Para determinar a potência nominal instalada ( $P_{cc}$ ) necessária para atender a demanda da edificação utilizou-se a seguinte equação:

$$P_{cc} = \frac{(E/G_{poa})}{R} \quad P_{cc} = \frac{(2.620,37/5,780)}{0,8} \quad P_{cc} = 566,69 \text{ kW} \quad (1)$$

Onde:

$P_{cc}$  = Potência média necessária (kW $_{pcc}$ );

$E$  = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

$G_{poa}$  = Ganho por radiação solar: média mensal do total diário (kWh/m<sup>2</sup>/dia);

$R$  = Rendimento do sistema (%).

Com este valor calcula-se então a área total a ser ocupada pelos painéis. O grau de eficiência do Sistema depende da tecnologia do painel fotovoltaico adotado. Nesta etapa ainda não está definido o equipamento a ser utilizado, então adota-se uma eficiência considerada alta de 12% para efeito estimativo.

E para o cálculo da área:

$$A_{total} = \frac{P_{cc} \times 100}{Eff} \quad A_{total} = \frac{566,69 \times 100}{12} \quad A_{total} = 4.722,41 \text{ m}^2 \quad (2)$$

Onde:

$A_{total}$  = Área de painéis (m<sup>2</sup>);

$P_{cc}$  = Potência média necessária (kW $_{pcc}$ );

$Eff$  = Eficiência do painel (%).

Através dos cálculos percebe-se que a área disponível para aplicação dos painéis (4275,96 m<sup>2</sup>) não é suficiente para a geração da energia necessária ao suprimento de 100% do consumo energético do edifício. Sendo assim, o estudo que segue passa a verificar qual seria contribuição da energia gerada pelo sistema fotovoltaico a ser integrado na edificação em estudo.

### 5.3 Análise do potencial de geração FV no edifício do Fórum de Palmas – TO

#### 5.3.1 Contribuição de redução da energia da rede

Para determinação da energia gerada, utiliza-se a equação:

$$E_g = P_{cc} \times G_{poa} \times R \times 30 = P_{cc} \times G_{poa} \times 0,8 \times 30 \quad (3)$$

Nas tabelas 13, 14 e 15 e Gráficos 36, 37 e 38 apresenta-se um comparativo do consumo com a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, bem como o percentual de contribuição desta geração.

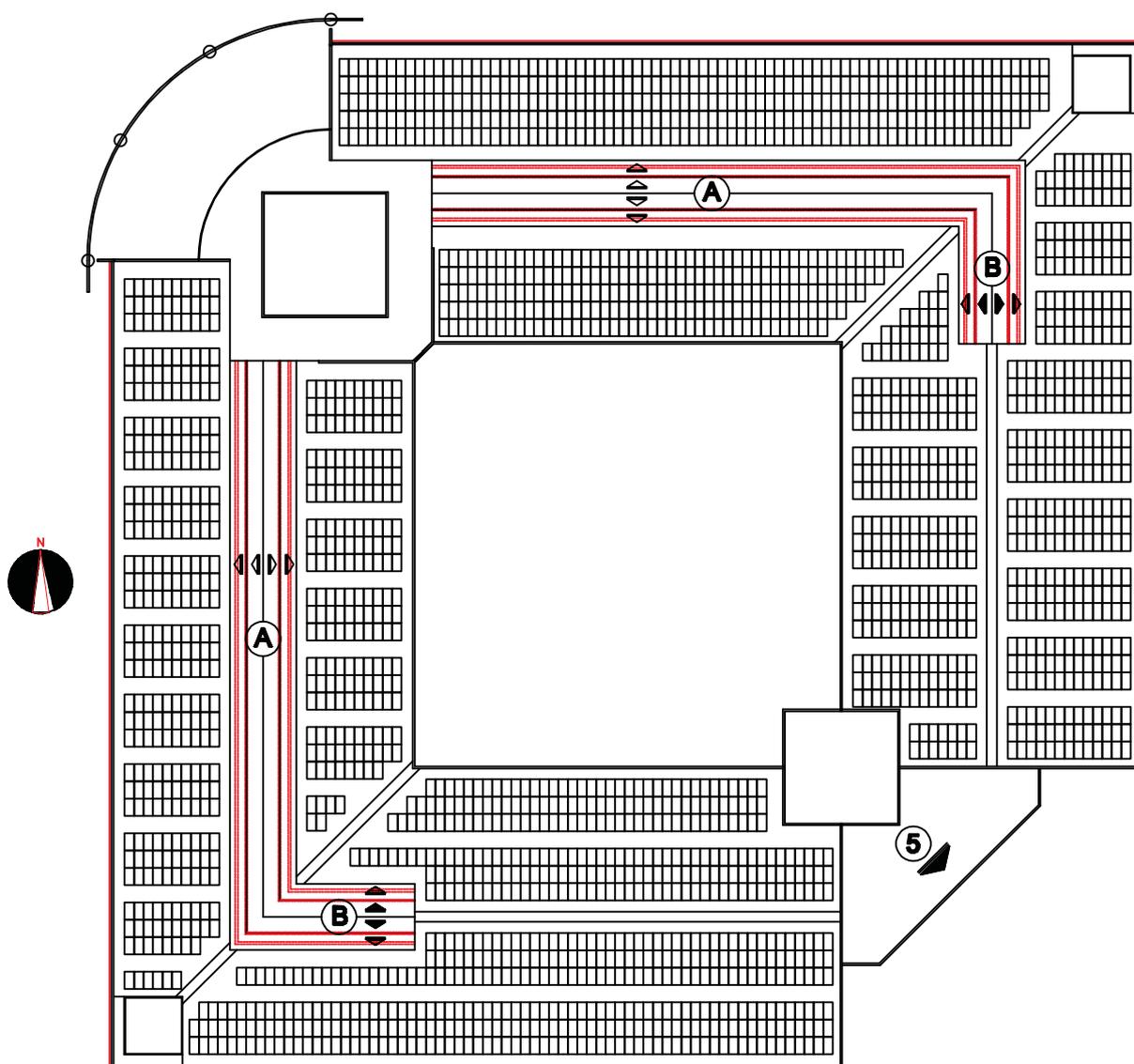
A instalação dos painéis deve prever circulação em volta dos arranjos para eventuais manutenções e espaço suficiente para evitar o sombreamento de um arranjo sobre o outro (Fig. 49). Desta maneira, no presente estudo considerou-se a ocupação de 49,68% da cobertura pelos painéis, um total de 2124,62 m<sup>2</sup>. A potência é diretamente proporcional a área dos painéis, então, com base nos valores de potência fornecidos

para cada tecnologia utilizada e suas respectivas áreas (Tab. 13), calcula-se a potência nominal instalada em 2.124,62 m<sup>2</sup> de cobertura disponíveis, exemplo:

A opção A tem Potência Nominal de 190 W em 1,335m de comprimento x 1,052m de largura = 1,40 m<sup>2</sup> de área, então, 2.124,62 m<sup>2</sup> da mesma tecnologia produziriam 287,43 kWpcc. Assim, produzimos os seguintes valores de Potência dos sistemas:

- Opção A – painéis modelo ACP-190P, policristalino, 287,43 kWpcc;
- Opção B – painéis modelo SOLON P200 Q6, policristalino, 265,58 kWpcc;
- Opção C – painéis modelo alfasolar 120M, monocristalino, 298,76 kWpcc;
- Opção D – painéis modelo Uni-solar US-64, amorfo, 134,33 kWpcc.

As áreas A e B (Fig. 48 e 49) da planta de cobertura não foram consideradas para efeito da geração fotovoltaica, uma vez que sua forma curva exigiria cálculos diferenciados. O silício amorfo seria perfeitamente adequado para a adaptação à forma e o efeito translúcido que o local exige.



**Figura 48** – Planta de Cobertura. Esc.: 1:500.

Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e considerando impermeabilização da laje e retirada do telhado. Ocupação de 49,68% da área. Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

O percentual médio de contribuição da geração fotovoltaica na cobertura ao longo do ano de 2006 (Gráfico 07) para a opção A – policristalino - é de 54,82%, para a opção B – policristalino – é de 50,65%, para a opção C – monocristalino - é de 56,98%, e para a opção D – silício amorfo – 25,62% da energia consumida no mesmo intervalo (Tab. 17).

**Tabela 17 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2006.**

DATA	CONSUMO (kWh/mês)	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	OPÇÃO A		OPÇÃO B		OPÇÃO C		OPÇÃO D	
			EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.						
jan-06	62.034	5,456	37.637	60,67	34.776	56,06	39,121	63,06	17.590	28,35
fev-06	68.421	5,588	38.548	56,34	35.617	52,06	40.067	58,56	18.015	26,33
mar-06	63.675	5,462	37.679	59,17	34.814	54,68	39.164	61,51	17.609	27,65
abr-06	74.333	5,932	40.291	55,05	37.810	50,87	42.534	57,22	19.124	25,73
mai-06	82.496	5,844	40.314	48,87	37.249	45,15	41.903	50,79	18.841	22,84
jun-06	70.731	5,432	37.472	52,98	34.623	48,95	38.949	55,07	17.512	24,76
jul-06	69.485	5,482	37.817	54,42	34.942	50,29	39.307	56,57	17.674	25,44
ago-06	78.234	5,964	41.142	52,59	38.014	48,59	42.763	54,66	19.227	24,58
set-06	77.768	6,528	40.032	57,91	41.609	53,50	46.807	60,19	21.046	27,06
out-06	73.555	6,098	42.066	57,19	38.868	52,84	43.724	59,44	19.659	26,73
nov-06	79.670	5,824	40.176	50,43	37.122	46,59	41.759	52,42	18.776	23,57
dez-06	75.943	5,752	39.679	52,25	36.663	48,28	41.243	54,31	18.544	24,42
<b>MÉDIAS</b>	<b>75.029</b>	<b>5,780</b>	<b>39.873</b>	<b>54,82</b>	<b>36.842</b>	<b>50,65</b>	<b>41.445</b>	<b>56,98</b>	<b>18.635</b>	<b>25,62</b>

O percentual médio de contribuição da geração fotovoltaica na cobertura ao longo do ano de 2007 (Gráfico 08) para a opção A – policristalino - é de 50,28%, para a opção B – policristalino – é de 46,46%, para a opção C – monocristalino - é de 52,26%, e para a opção D – silício amorfo – 23,50% da energia consumida no mesmo intervalo (Tab. 18).

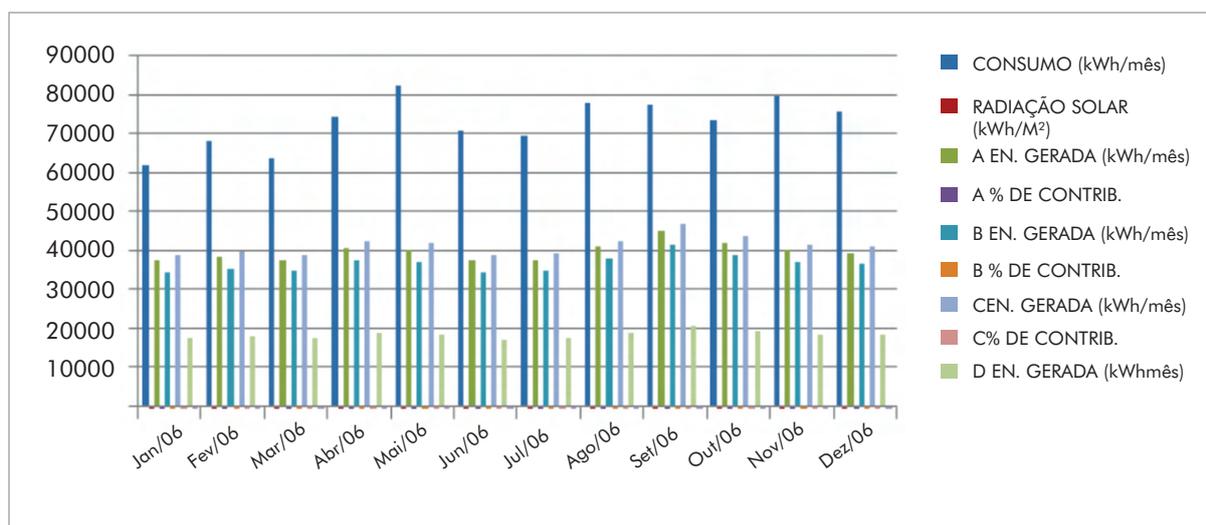
**Tabela 18 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2007.**

DATA	CONSUMO (kWh/mês)	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	OPÇÃO A		OPÇÃO B		OPÇÃO C		OPÇÃO D	
			EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.						
jan-06	72.180	5,456	37.637	52,14	34.776	48,18	39,121	54,20	17.590	24,37
fev-06	72.506	5,588	38.548	53,16	35.617	49,12	40.067	55,26	18.015	24,85
mar-06	83.268	5,462	37.679	42,25	34.814	41,81	39.164	47,03	17.609	21,15
abr-06	72.048	5,932	40.291	56,80	37.810	52,48	42.534	59,04	19.124	26,54
mai-06	85.815	5,844	40.314	46,98	37.249	43,41	41.903	48,83	18.841	21,95
jun-06	80.977	5,432	37.472	46,27	34.623	42,76	38.949	48,10	17.512	21,63
jul-06	76.491	5,482	37.817	49,44	34.942	45,68	39.307	51,39	17.674	23,11
ago-06	89.933	5,964	41.142	45,75	38.014	42,27	42.763	47,55	19.227	21,38
set-06	84.047	6,528	40.032	53,58	41.609	49,51	46.807	55,69	21.046	25,04
out-06	89.994	6,098	42.066	46,74	38.868	43,19	43.724	48,59	19.659	21,85
nov-06	76.364	5,824	40.176	52,61	37.122	48,61	41.759	54,68	18.776	24,59
dez-06	72.598	5,752	39.679	54,66	36.663	50,50	41.243	56,81	18.544	25,54
<b>MÉDIAS</b>	<b>79.685</b>	<b>5,780</b>	<b>39.873</b>	<b>50,28</b>	<b>36.842</b>	<b>46,46</b>	<b>41.445</b>	<b>52,26</b>	<b>18.635</b>	<b>23,50</b>

O percentual médio de contribuição da geração fotovoltaica na cobertura ao longo do ano de 2008 (Gráfico 09) para a opção A – policristalino - é de 48,37%, para a opção B – policristalino – é de 44,69%, para a opção C – monocristalino - é de 50,28%, e para a opção D – silício amorfo – 22,61% da energia consumida no mesmo intervalo (Tab. 19).

**Tabela 19 – Percentual de contribuição do Sistema FV na cobertura em 2008.**

DATA	CONSUMO (kWh/mês)	RADIÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	OPÇÃO A		OPÇÃO B		OPÇÃO C		OPÇÃO D	
			EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.						
jan-06	77.586	5,456	37.637	48,51	34.776	44,82	39,121	54,42	17.590	22,67
fev-06	72.572	5,588	38.548	53,12	35.617	49,08	40.067	55,21	18.015	24,82
mar-06	75.145	5,462	37.679	50,14	34.814	46,33	39.164	52,12	17.609	23,43
abr-06	83.894	5,932	40.291	48,78	37.810	45,07	42.534	50,70	19.124	22,80
mai-06	70.819	5,844	40.314	56,93	37.249	52,60	41.903	59,17	18.841	26,60
jun-06	91.353	5,432	37.472	41,02	34.623	37,90	38.949	42,64	17.512	19,17
jul-06	77.875	5,482	37.817	48,56	34.942	44,87	39.307	50,47	17.674	22,69
ago-06	88.934	5,964	41.142	46,26	38.014	42,74	42.763	48,08	19.227	21,62
set-06	100.080	6,528	40.032	45,00	41.609	41,58	46.807	46,77	21.046	21,03
out-06	98.755	6,098	42.066	42,60	38.868	39,36	43.724	44,28	19.659	19,01
nov-06	80.928	5,824	40.176	49,64	37.122	45,87	41.759	51,60	18.776	23,20
dez-06	79.488	5,752	39.679	49,92	36.663	46,12	41.243	56,89	18.544	23,33
<b>MÉDIAS</b>	<b>83.119</b>	<b>5,780</b>	<b>39.873</b>	<b>48,37</b>	<b>36.842</b>	<b>44,69</b>	<b>41.445</b>	<b>50,28</b>	<b>18.635</b>	<b>22,61</b>



**Gráfico 07 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2006.**

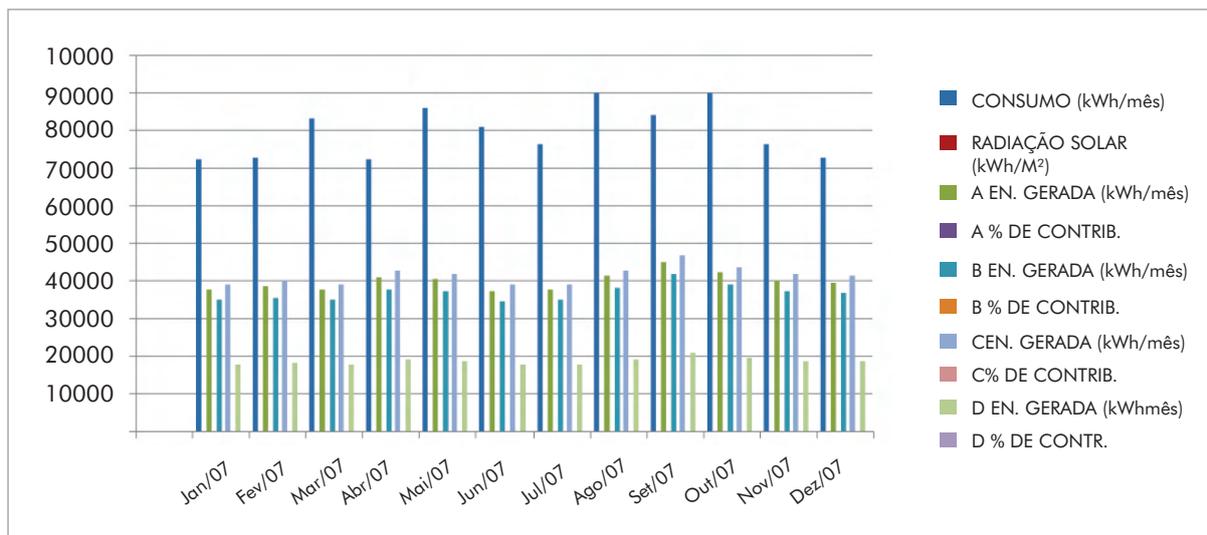


Gráfico 08 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2007.

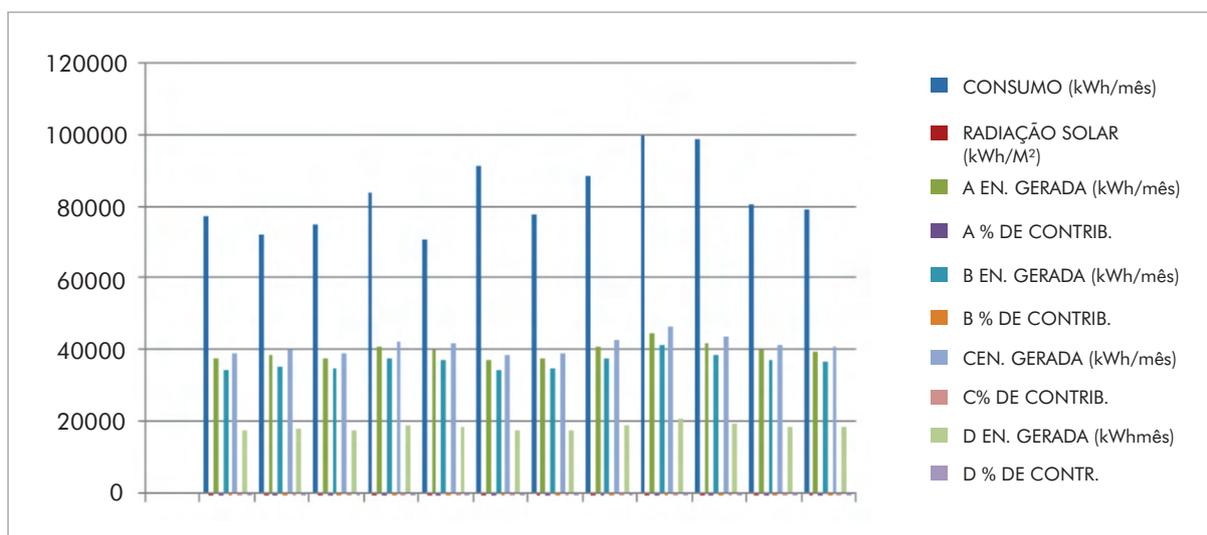
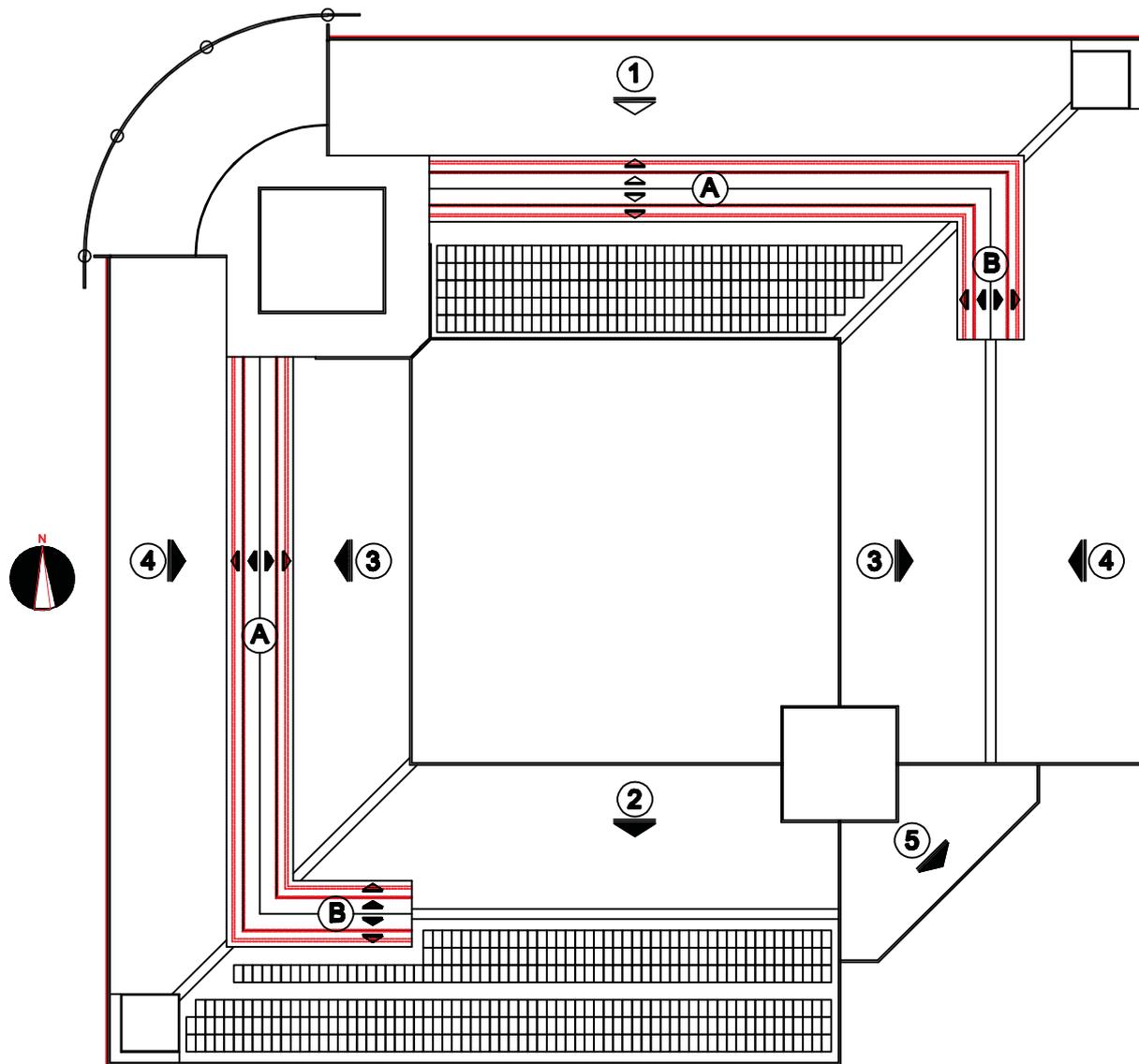


Gráfico 09 - Geração FV e Percentual de contribuição na Cobertura no Fórum de Palmas relativo à 2008.

Percebemos que a tecnologia da Opção C – monocristalino – apresenta-se com o melhor percentual de contribuição em todos os anos de consumo de energia considerados (2006, 2007 e 2008).

Considerando-se, contudo, apenas a utilização das coberturas existentes com inclinação favorável aos painéis (Fig. 49), somente 13,66% do telhado seria utilizado, num total de 584,04 m<sup>2</sup>. Isto reduziria o percentual de contribuição dos sistemas, que teriam a seguinte configuração para a potência instalada das tecnologias propostas em função da redução de área: Opção A – 79,01 kWpcc; Opção B – 73,00 kWpcc; Opção C – 82,13 kWpcc; Opção D – 36,93 kWpcc.

Não é necessário que refazer os cálculos para prever que haveria uma redução para cerca de um quarto da porcentagem de contribuição em relação à possibilidade de se utilizar a totalidade da área disponível.



**Figura 49** – Planta de Cobertura. Esc.: 1:500.

Projeção da distribuição dos painéis (sem escala) na posição ideal e sem a retirada das telhas. Ocupação de 13,66% da área.

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

### 5.3.2 Cálculo da contribuição das fachadas

Se o mesmo cálculo for realizado para verificação do percentual de contribuição das fachadas é necessário alimentar o RADIASOL com os dados referentes ao desvio azimutal do Norte (Tabelas 19, 20 e 21 e Gráficos 10, 11 e 12) e a inclinação de  $90^\circ$  (considerando os painéis FV na vertical) para obter os valores da incidência solar, os quais conforme resultados obtidos são significativamente menores que os relativos à cobertura.

De maneira semelhante ao cálculo da área da cobertura, para o cálculo da contribuição das fachadas considerou-se a área de cada uma delas (Tab. 13) em função do sistema escolhido – silício amorfo – chegando-se ao valor da Potência do Sistema, sendo eles:

Fachada Norte: painéis modelo Uni-solar US-64, amorfo, 171,12 kWpcc;

Fachada Sul: painéis modelo Uni-solar US-64, amorfo, 154,07 kWpcc;

Fachada Leste: painéis modelo Uni-solar US-64, amorfo, 154,07 kWpcc;

Fachada Oeste: painéis modelo Uni-solar US-64, amorfo, 171,12 kWpcc.

Por acaso e em benefício do Sistema as maiores áreas destinam-se as de maior incidência solar, Norte e Oeste.

Nos anos de 2006, 2007 e 2008 (Tab. 20, 21 e 22), as fachadas Norte e Oeste são as de maior contribuição, sendo que a fachada sul é a de menor. Este é um ponto a ser avaliado quanto ao custo benefício da instalação do sistema.

**Tabela 20 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2006**

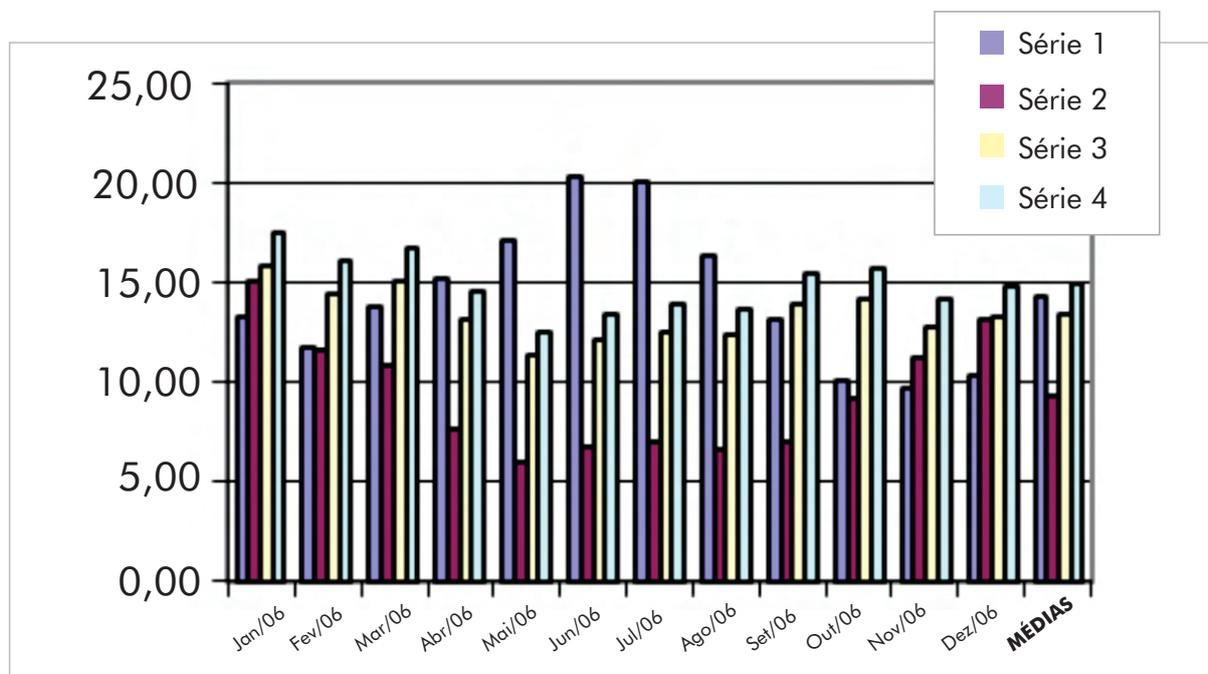
DATA	CONSUMO (kWh/mês)	NORTE			SUL			LESTE			OESTE		
		RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
jan-06	62.034	1,998	8.206	13,23	2,53	9.348	15,07	2,64	9.773	15,75	2,64	10.854	17,50
fev-06	68.421	1,948	8.000	11,69	2,15	7.943	11,61	2,67	9.884	14,45	2,67	10.978	16,04
Mar-06	63.675	2,133	8.781	13,79	1,87	6.907	10,85	2,58	9.544	14,99	2,58	10.600	16,65
abr-06	74.333	2,754	11.310	15,22	1,54	5.709	7,68	2,64	9,762	13,13	2,64	10.842	14,59
mai-06	82.496	3,442	14.136	17,14	1,33	4.918	5,96	2,52	9.326	11,30	2,52	10.358	12,56
jun-06	70.731	3,498	14.366	20,31	1,30	4.800	6,79	2,32	8.564	12,11	2,32	9.512	13,45
jul-06	69.485	3,388	13.914	20,02	1,33	4.903	7,06	2,35	8.679	12,52	2,35	9.659	13,90
ago-06	78.234	3,112	12.781	16,34	1,40	5.162	6,60	2,61	9.651	12,34	2,61	10.719	13,70
set-06	77.768	2,488	10.218	13,14	1,47	5.436	6,99	2,93	10.816	13,91	2,93	12.013	15,45
out-06	73.555	1,804	7.409	10,07	1,82	6.715	9,13	2,81	10.398	14,14	2,81	11.549	15,70
nov-06	79.670	1,886	7.746	9,72	2,43	8.965	11,28	2,75	10.161	12,75	2,75	11.286	14,17
dez-06	75.943	1,91	7.844	10,33	2,70	9.991	13,16	2,73	10.091	13,29	2,73	11.208	14,76
<b>MÉDIAS</b>	<b>73.029</b>	<b>2,53</b>	<b>10.932</b>	<b>14,25</b>	<b>1,82</b>	<b>6.735</b>	<b>9,35</b>	<b>2,63</b>	<b>9.722</b>	<b>13,39</b>	<b>2,63</b>	<b>10.798</b>	<b>14,87</b>

**Tabela 21 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2007**

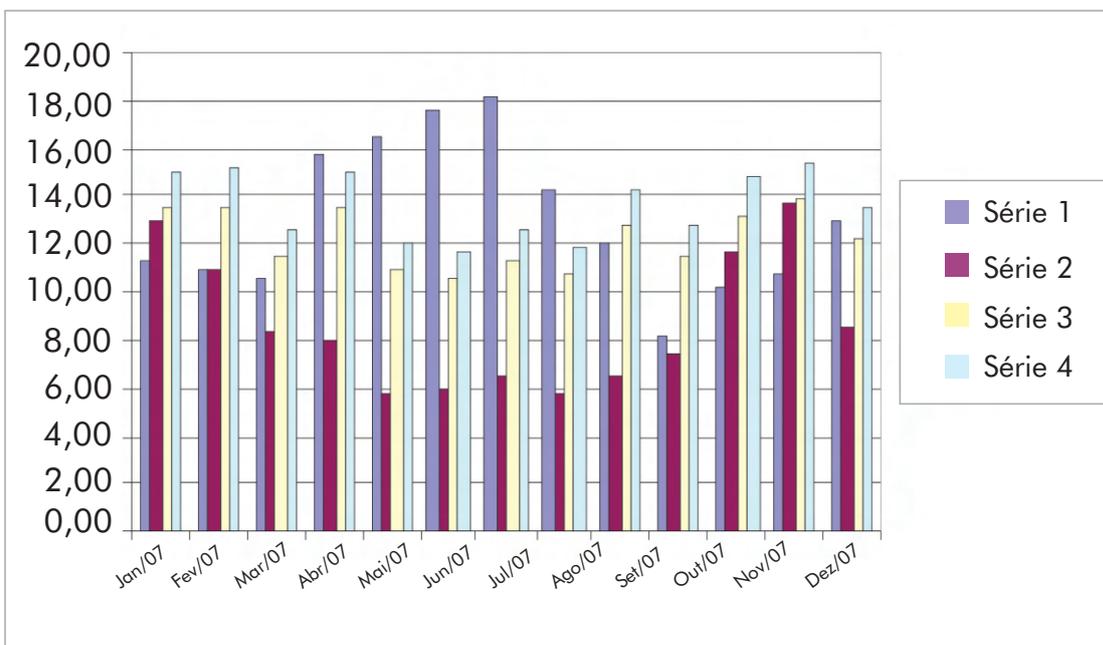
DATA	CONSUMO (kWh/mês)	NORTE			SUL			LESTE			OESTE		
		RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m <sup>2</sup> )	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
jan-07	72.180	1,998	8.206	11,37	2,53	9.348	12,95	2,64	9.773	13,54	2,64	10.854	15,04
fev-07	72.506	1,948	8.000	11,03	2,15	7.943	10,95	2,67	9.884	13,63	2,67	10.978	15,14
mar-07	83.268	2,138	8.781	10,54	1,87	6.907	8,03	2,58	9.544	11,46	2,58	10.600	12,73
abr-07	72.048	2,754	11.310	15,70	1,54	5.709	7,92	2,64	9,762	13,55	2,64	10.842	15,05
mai-07	76.491	3,442	14.136	16,47	1,33	4.918	5,73	2,52	9.326	10,87	2,52	10.358	12,07
jun-07	80.977	3,498	14.366	17,74	1,30	4.800	5,93	2,32	8.564	10,58	2,32	9.512	11,75
jul-07	76.491	3,388	13.914	18,19	1,33	4.903	6,41	2,35	8.679	11,37	2,35	9.659	12,63
ago-07	89.933	3,112	12.781	14,21	1,40	5.162	5,74	2,61	9.651	10,73	2,61	10.719	11,92
set-07	84.047	2,488	10.218	12,16	1,47	5.436	6,47	2,93	10.816	12,87	2,93	12.013	14,29
out-07	89.994	1,804	7.409	8,23	1,82	6.715	7,46	2,81	10.398	11,55	2,81	11.549	12,83
nov-07	79.364	1,886	7.746	10,14	2,43	8.965	11,77	2,75	10.161	13,31	2,75	11.286	14,78
dez-07	72.598	1,91	7.844	10,80	2,70	9.991	13,76	2,73	10.091	13,90	2,73	11.208	15,44
<b>MÉDIAS</b>	<b>79.685</b>	<b>2,53</b>	<b>10.932</b>	<b>13,05</b>	<b>1,82</b>	<b>6.735</b>	<b>8,62</b>	<b>2,63</b>	<b>9.722</b>	<b>12,29</b>	<b>2,63</b>	<b>10.798</b>	<b>13,64</b>

**Tabela 22 – Percentual de contribuição do Sistema FV nas Fachadas em 2008**

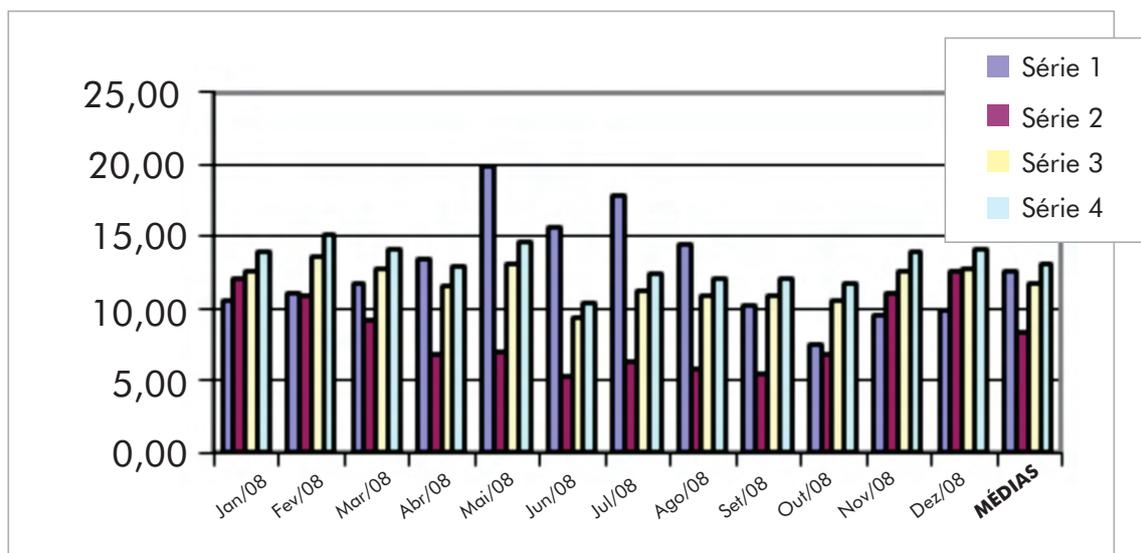
DATA	CONSUMO (kWh/mês)	NORTE			SUL			LESTE			OESTE		
		RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m²)	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m²)	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m²)	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.	RADIAÇÃO SOLAR (kWh/m²)	EN. GERADA (kWh/mês)	% DE CONTRIB.
jan-06	77.568	1,998	8.206	10,58	2,53	9.348	12,05	2,64	9.773	12,60	2,64	10.854	13,99
fev-06	72.572	1,948	8.000	11,02	2,15	7.943	10,94	2,67	9.884	13,62	2,67	10.978	15,13
Mar-06	75.145	2,133	8.781	11,68	1,87	6.907	9,19	2,58	9.544	12,70	2,58	10.600	14,11
abr-06	83.894	2,754	11.310	13,48	1,54	5.709	6,81	2,64	9.762	11,64	2,64	10.842	12,92
mai-06	70.819	3,442	14.136	19,96	1,33	4.918	6,94	2,52	9.326	13,17	2,52	10.358	14,63
jun-06	91.353	3,498	14.366	15,73	1,30	4.800	5,25	2,32	8.564	9,37	2,32	9.512	10,41
jul-06	77.875	3,388	13.914	17,87	1,33	4.903	6,30	2,35	8.679	11,17	2,35	9.659	12,40
ago-06	88.934	3,112	12.781	14,37	1,40	5.162	5,80	2,61	9.651	10,85	2,61	10.719	12,05
set-06	100.080	2,488	10.218	10,21	1,47	5.436	5,43	2,93	10.816	10,81	2,93	12.013	12,00
out-06	98.755	1,804	7.409	7,50	1,82	6.715	6,80	2,81	10.398	10,53	2,81	11.549	11,69
nov-06	80.928	1,886	7.746	9,57	2,43	8.965	11,10	2,75	10.161	12,56	2,75	11.286	13,95
dez-06	79.488	1,91	7.844	9,87	2,70	9.991	12,57	2,73	10.091	12,69	2,73	11.208	14,10
<b>MÉDIAS</b>	<b>83.119</b>	<b>2,53</b>	<b>10.932</b>	<b>12,65</b>	<b>1,82</b>	<b>6.735</b>	<b>8,27</b>	<b>2,63</b>	<b>9.722</b>	<b>11,81</b>	<b>2,63</b>	<b>10.798</b>	<b>13,12</b>



**Gráfico 10 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2006.**  
 Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.



**Gráfico 11 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2007.**  
 Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.



**Gráfico 12 - Contribuição da Geração FV nas Fachadas em 2008.**  
 Série 1 = Norte ; Série 2 = Sul; Série 3 = Leste; Série 4 = Oeste.

Ainda em relação às fachadas, é correto afirmar que diversas possibilidades podem ser propostas com as tecnologias FV, conforme o que a criatividade do arquiteto assim o solicitar e o objetivo de geração energética no próprio edifício que se deseja alcançar. Em caso de uma readequação do edifício do Fórum de Palmas – TO em função das questões energéticas, por exemplo, os painéis FV das fachadas poderiam posicionar-se na horizontal em forma de brises em prateleiras, seria um elemento de composição formando uma segunda fachada (edifício com “pele dupla”). Esta posição dos painéis FV aumentaria o ganho de radiação solar nos mesmos (em relação aos painéis na vertical), o que por sua vez seria positivo para o aumento do percentual de contribuição e funcionaria como sombreamento para o edifício.

Percebe-se o quanto este estudo está ligado à questão da carga térmica, assunto de fundamental importância ao ato de projetar em arquitetura. As diversas tecnologias e alternativas em energia solar fotovoltaica podem tirar partido das altas incidências de radiação, que acarretam o aumento do consumo de energia nos edifícios, para transformá-la em energia elétrica, suprimindo esta mesma demanda. Caracterizando-se assim, parte da sustentabilidade energética do edifício. O que seria negativo, torna-se positivo com a utilização de tecnologias FV.

### **5.3.3 Tecnologias mais apropriadas ao edifício em estudo**

Ao considerar-se a cobertura é necessário estabelecer a retirada ou não do telhado existente, e qual a área a ser utilizada. Caso haja retirada total das telhas, torna-se necessária a impermeabilização da laje, custo a ser considerado junto à instalação dos equipamentos. A vantagem é a liberdade de utilização da área, com o posicionamento ideal dos painéis e liberação de áreas para circulação e manutenção do sistema (Fig. 45). Caso decida-se pela não retirada das telhas, então é necessário instalar os painéis apenas nas direcionadas ao Norte, reduzindo consideravelmente a área disponível (Fig. 46).

Nos cálculos comparativos entre as tecnologias disponíveis, nota-se o melhor desempenho dos painéis monocristalinos. Contudo, os painéis em silício amorfo têm maior resistência a altas temperaturas. A escolha da tecnologia ideal para o edifício em estudo teria então um critério multidisciplinar, isto é, para efeito acadêmico seria satisfatório dizer que os monocristalinos são mais adequados, mas especialistas em instalações destes sistemas exporiam outros critérios de relevância. Então, é correto afirmar que o estudo dá abertura para outros posicionamentos em relação ao custo-benefício. A escolha da tecnologia mais apropriada dependerá do perfil do usuário e fundamentalmente das características locais, não apenas de irradiação solar, mas também de clima (umidade e temperatura).

Já para as fachadas, conclui-se que a película teria função maior em bloquear parte da incidência solar do que gerar energia elétrica propriamente, uma vez que (em função do posicionamento em 90°) a contribuição é consideravelmente menor que a da cobertura (o ganho pela radiação é menor). Contudo, entre aplicar uma película comum nas fachadas e aplicar uma que irá produzir energia, a segunda teria maior justificativa.

## **5.4 Análise da viabilidade econômica da instalação de sistemas FV em edifícios públicos**

Com o valor estimativo do CRESESB, de que o kWh do Sistema Solar Fotovoltaico instalado custa cerca de US\$ 8.000,00 (oito mil dólares) atualmente, e em posse dos valores também em kWh do consumo mensal de energia elétrica do edifício durante três anos (2006, 2007 e 2008), é possível estimar o tempo em que o sistema se paga, isto é, o simples payback - sem levar em conta o custo do dinheiro no tempo.

Atualmente o custo por kWp instalado é cerca de US\$ 8.000,00 - oito mil dólares (CRESESB, 2008). Considerando-se a implantação do sistema mais potente, os valores seriam de US\$ 8.000,00 x 298,76 kWp = US\$ 2.390.080,00 (dois milhões, trezentos e noventa mil e oitenta dólares). Considerando-se o dólar do dia a R\$ 1,84 (um real e oitenta e quatro centavos), o gasto seria de R\$ 4.397.747, 20 (quatro milhões, trezentos e noventa e sete, setecentos e quarenta e sete reais, vinte centavos).

No ano de 2006, o valor médio do kWh - tarifa convencional cobrada ao edifício do Fórum de Palmas - TO, foi de R\$ 0,35 (trinta e cinco centavos) e o consumo anual de

energia elétrica 924.977 kWh (Tab. 23), resultando no total cerca de R\$ 330.633,61 (trezentos e trinta mil, seiscentos e trinta e três reais, sessenta e um centavos).

No ano de 2007, o valor médio do kWh - tarifa convencional cobrada ao edifício do Fórum de Palmas - TO, foi de R\$ 0,42 (quarenta e dois centavos) e o consumo anual de energia elétrica 1.009.875 kWh (Tab. 24), resultando no total cerca de R\$ 428.067,94 (quatrocentos e vinte oito mil, sessenta e sete reais, noventa e quatro centavos).

No ano de 2008, o valor médio do kWh - tarifa convencional cobrada ao edifício do Fórum de Palmas - TO, foi de R\$ 0,43 (quarenta e três centavos) e o consumo anual de energia elétrica 1.052.258 kWh (Tab. 25), resultando no total cerca de R\$ 461.097,39 (quatrocentos e sessenta e um mil, noventa e sete reais, trinta e nove centavos).

**Tabela 23 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2006**

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
CONSUMO kWh	65.394	72.075	67.246	78.396	87.275	75.043	73.284	82.622	81.656	77.553	84.335	80.098	924.977
VALOR R\$	22.848,18	23.512,99	22.526,51	23.594,12	28.417,82	26.403,99	29.601,41	30.904,11	32.827,00	28.781,01	32.352,73	28.863,74	330.633,61

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

**Tabela 24 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2007**

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
CONSUMO kWh	76.019	76.463	87.826	76.024	90.944	85.646	80.824	95.269	89.100	94.676	80.427	76.657	1.009.875
VALOR R\$	32.638	28.845	35.921	32.024	36.377	34.247	34.955	41.528	38.907	44.093	36.186	32.342	428.067

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

**Tabela 25 – Valor do consumo de energia elétrica no Fórum de Palmas – TO em 2008**

MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
CONSUMO kWh	81.881	76.633	79.617	88.605	75.028	96.635	82.483	93.567	104.812	103.530	85.012	84.455	1.052.258
VALOR R\$	38.153,10	33.657,56	38.431,35	37.074,02	32.268,87	26.403,99	37.165,97	37.930,11	41.764,46	42.216,09	38.890,14	45.828,14	461.097,39

Fonte: Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins.

Considerando o ano de 2006, e o sistema somente da cobertura, com a contribuição de 56,98% da energia, economizaria-se R\$ 188.395,03 (cento e oitenta e oito mil, trezentos e noventa e cinco reais, três centavos). O mesmo se pagaria em aproximadamente vinte e três anos, no caso de se considerar um payback simples, sem levar em conta o custo do dinheiro no tempo e/ou o custo ambiental em termos de diminuição de emissões de poluentes.

Considerando o ano de 2007, e o sistema somente da cobertura, com a

contribuição de 52,26% da energia, economizaria-se R\$ 223.708,30 (duzentos e vinte três mil, setecentos e oito reais, trinta centavos). O mesmo se pagaria em aproximadamente dezenove anos e meio, no caso de se considerar um payback simples, sem levar em conta o custo do dinheiro no tempo e/ou o custo ambiental em termos de diminuição de emissões de poluentes.

Considerando o ano de 2008, e o sistema somente da cobertura, com a contribuição de 50,28% da energia, economizaria-se R\$ 231.839,77 (duzentos e trinta e um mil, oitocentos e trinta e nove reais, setenta e sete centavos). O mesmo se pagaria em aproximadamente dezenove anos, no caso de se considerar um payback simples, sem levar em conta o custo do dinheiro no tempo e/ou o custo ambiental em termos de diminuição de emissões de poluentes.

Embora haja instabilidade do valor do dólar, a tendência é de que os custos dos equipamentos de tecnologia fotovoltaica (estimados em U\$ o kWh – dólar por kiloWatt hora) caiam com o aumento da produção e com a produção nacional dos mesmos. A tarifa de energia tem aumento gradual ano a ano, assim como o consumo de energia.

O tempo de retorno pode ser considerado alto devido à vida útil dos equipamentos do sistema fotovoltaico, que é de 25 a 30 anos.

### **5.5 Análise dos Resultados Obtidos**

O pré-dimensionamento de um sistema, embora envolva certo número de variáveis é simples do ponto de vista construtivo. Ao considerar-se a adaptação de edifícios prontos ou a previsão em um novo projeto, é necessário priorizar atenção à área útil para implantação dos painéis, bem como sua orientação e latitude local. Durante o estudo, constata-se que a teoria inicialmente colocada, de que a inclinação ideal seria igual a latitude - 10ºS, deve ser melhor observada, uma vez que a inclinação mais eficiente encontrada - com auxílio do RADIASOL - para o caso em questão foi 12º, que embora aproxime-se do valor, é um pouco diferente da latitude local.

Em relação ao custo benefício da instalação dos painéis, há de se considerar se é vantajoso ou não a utilização de toda a área disponível - 4275,96 m<sup>2</sup> da cobertura somada aos 3464,88 m<sup>2</sup> das fachadas, ou apenas a de maior vocação, como é o caso das fachadas, por exemplo, que têm menor contribuição do que a área da cobertura (as fachadas somam 47,59% de contribuição, enquanto a cobertura 52,26%), em função principalmente da inclinação dos painéis. E entre as fachadas, a Sul teria contribuição bem menor que as demais (8,62%), então, talvez não seja interessante a utilização da mesma para geração fotovoltaica, uma vez que, entre outros fatores, é uma fachada de pouco aquecimento e não necessitaria de proteção contra o sol, um dos efeitos proporcionados pela película de tecnologia fotovoltaica.

Sistemas solares integrados ao edifício e à rede pública de energia elétrica são alternativas viáveis tecnicamente. Aos custos atuais, no entanto, a mesma afirmação ainda não pode ser feita para o aspecto econômico do presente estudo de caso, que na possibilidade de geração de 41.445 kWh/mês, ou seja, 52,26% de contribuição de energia elétrica aos 79.685 kWh consumidos (cálculo para 2007), o sistema solar fotovoltaico levou a um payback simples de aproximadamente 20 anos (considerando-se a média de consumos entre os anos de 2006, 2007 e 2008 e o valor atual do dólar).

O edifício do Fórum de Palmas – TO vem ampliando, ano a ano, os serviços oferecidos à comunidade local na área judiciária. E embora ele tenha sido construído com uma determinada previsão de área, ainda não está totalmente consolidado em seus espaços internos, ou seja, dispõe de área construída, mas não está densamente

ocupado. Com o aumento do número de Varas - número de funcionários e demanda por ar condicionado - vem à ampliação do consumo de energia.

Assim, com os dados obtidos neste estudo de caso, algumas conclusões importantes podem vir a contribuir ao estudo da integração de tecnologia fotovoltaica em edifícios. Uma das principais conclusões diz respeito ao aspecto econômico, uma vez que em função da falta de produção nacional dos painéis fotovoltaicos, ficamos atrelados à moeda internacional, que é o dólar, cuja alta é desfavorável à implantação dos sistemas fotovoltaicos. Na sequência, a tarifa de energia elétrica, mais cara a cada ano. Em seguida vem a questão do consumo de energia, que também aumenta gradualmente, ano a ano, e quanto maior, menor a contribuição do sistema fotovoltaico. Então se o sistema fotovoltaico não ampliar sua capacidade e os demais fatores aumentarem, como: o consumo de energia, a tarifa mensal cobrada pelas concessionárias, o dólar, e outros fatores diretamente ligados à questão FV; então o percentual de contribuição cai.

As ações necessárias para a formação de um cenário favorável à integração de tecnologias FV em edifícios são perceptíveis, como: a busca de políticas que favoreçam a produção nacional de painéis fotovoltaicos; o avanço tecnológico no sentido de melhorar a eficiência dos sistemas FV; a conscientização quanto à economia de energia; políticas de contenção do preço da tarifa de energia; estabilização da economia de uma maneira geral, em relação ao preço do dólar; e outras ações relacionadas à questão de consciência ambiental e ampliação da informação quanto ao uso de fontes alternativas de energia.

A perspectiva é de que, em um futuro bem próximo, com as reduções de custos previstas, esta tecnologia enquadre-se perfeitamente no contexto sócio-econômico de nosso país, assim como a realidade dos países industrializados, que produzem os painéis. No Brasil a pesquisa, entre as diversas linhas, no sentido da produção de painéis vem sendo especificamente desenvolvida na PUC-RS, sinalizando avanços. Este fato somado aos programas governamentais como: o Luz para Todos, PRODEEM e outras ações voltadas também para a popularização da utilização de aquecedores solares para água, prenunciam o uso de sistemas solares fotovoltaicos em nosso país.

# CAPÍTULO 6



**CONCLUSÕES**

## 6.0 CONCLUSÕES

O estudo da possibilidade de integração de tecnologia fotovoltaica ao edifício do Fórum de Palmas – TO buscou o que propõe o apelo da produção arquitetônica do século XXI, ou seja, mais que eficiência energética e conforto térmico, a inserção de tecnologias, que no caso específico, utilizem fontes alternativas de energia. No decorrer do estudo identificamos que, diversas intervenções poderiam ser feitas com o mesmo intuito. Trataria de conferir ao edifício a complexidade dos sistemas tecnológicos contemporâneos, os quais fazem com que a arquitetura assemelhe-se aos sistemas ecológicos. Em relação a aliar sistemas solares fotovoltaicos a produção arquitetônica, percebe-se que atualmente o conceito da sustentabilidade tem ampliado o entendimento do que foi produzido até o séc. XX, direcionando-se para a utilização de soluções tecnológicas eficientes, não só do ponto de vista da forma, mas de recursos e equipamentos avançados.

Constatou-se que a integração da tecnologia fotovoltaica tem maior aplicabilidade em edifícios públicos, onde o pico de consumo de energia coincide com o pico de geração do sistema, aliviando a rede elétrica pública. A preocupação com a questão do consumo de energia como indicador que proporciona dados para melhorar o rendimento do edifício e a utilização de fontes alternativas de energia são características fundamentais da nova concepção arquitetônica as quais vêm a conceituar a Arquitetura Sustentável. Assim, o presente estudo foi realizado considerando que a produção de edifícios sustentáveis é uma etapa da reconciliação do habitat humano com a natureza e que o arquiteto é o mediador deste processo.

Ancorando o presente estudo na evolução das questões energéticas, constatamos que a evolução das formas de uso e do consumo de energia está em paralelo à história da humanidade. E as questões energéticas fazem parte cada dia mais das preocupações na hora de projetar em arquitetura. Assim, o caráter multidisciplinar das questões energéticas deve ser familiar do dia a dia do arquiteto. No cenário internacional, principalmente na Europa, o avanço tecnológico demonstra o estágio da preocupação ambiental, mesmo diante de condições naturais nem tão favoráveis quanto às do Brasil. Como vítimas da alienação energética não avançamos tecnologicamente e importamos determinadas tecnologias que poderiam desenvolver-se com facilidade em nosso país, ficamos por isso dependentes da moeda internacional, o dólar. O processo de industrialização no Brasil segue lento em comparação à China, Europa e Japão. A indústria dos transportes, no Brasil, contudo, tem crescido e a emissão de CO<sub>2</sub> nas grandes cidades tem levado a altos índices de poluição. O alto consumo de energia elétrica vem comprometendo não apenas as fontes hídricas do país, mas o meio ambiente como um todo. Nosso país está incluso na atual crise mundial, a ecológica. Somos vítimas também, já nos dias atuais, das mudanças climáticas, conseqüências do aquecimento global. Uma das saídas pode ser então, aprofundarmos a pesquisa quanto ao uso de fontes alternativas de energia e reconhecermos as riquezas naturais no Brasil, principalmente as formas de biomassa e a energia solar a fim de disseminarmos a tecnologia Fotovoltaica.

Para a utilização de Energia Solar Fotovoltaica as mesmas barreiras políticas, econômicas, sociais e de informação vivenciadas em outras tentativas de mudanças de matriz energética são encontradas, já que estudos tecnológicos provam a viabilidade da utilização da fonte de energia alternativa em questão e a mesma tem dificuldades em desenvolver-se. A utilização de energia solar fotovoltaica integrada a edificações em

alguns países da Europa ou nos EUA, por exemplo, é uma realidade ainda desconhecida para maioria dos projetistas brasileiros. Assim, é preciso evoluir não só quanto ao melhor aproveitamento dos aspectos naturais dos locais em que vivemos, mas também quanto ao acompanhamento dos avanços tecnológicos mundiais. Em relação a fontes alternativas de energia integradas a edificações, o grande passo na atualidade seria a tomada de consciência e adaptação da parte dos profissionais de arquitetura e da construção civil em geral, despertando para a realidade atual e buscando adaptar-se ao manuseio e utilização das tecnologias disponíveis, situação que embora consideravelmente abordada, encontra-se em estágio atrasado.

Vivemos o momento de mudanças de paradigmas quanto a hábitos de consumo, os quais deverão refletir na produção dos espaços construídos, assim, o estilo de vida de cada cidadão deve respeitar o meio ambiente e não apenas buscar o denominado conforto, destituído de preocupação quanto às questões de consumo exacerbado de energia. As mudanças de atitude configuram-se em grandes obstáculos pessoais, então, quando ampliamos estas mudanças para a escala global, os resultados parecem difíceis de atingir. Então, este processo de intensas mudanças denomina-se de Revolução Energética, o qual já ocorrera em outras épocas, e por motivos diversos, e que agora temos urgência em vivenciá-la. Estudiosos têm aprofundado a pesquisa sobre as vivências internacionais quanto à energia solar fotovoltaica, isto é, as determinadas barreiras e/ou facilidades e vão além, fazendo a correspondência do que isto representaria no cenário brasileiro. Entendemos que é preciso seguir o exemplo do que deu certo em outras nações em termos de políticas para a utilização de fontes alternativas de energia.

As ações necessárias para a formação de um cenário favorável à integração de tecnologias FV em edifícios são perceptíveis, como: a busca de políticas que favoreçam a produção nacional de painéis fotovoltaicos; o avanço tecnológico no sentido de melhorar a eficiência dos sistemas FV; a conscientização quanto à economia de energia; políticas de contenção do preço da tarifa de energia; estabilização da economia de uma maneira geral, em relação ao preço do dólar; e outras ações relacionadas à questão de consciência ambiental e ampliação da informação quanto ao uso de fontes alternativas de energia.

Definitivamente a integração de tecnologia fotovoltaica em edifícios é uma realidade internacional. O Brasil trabalha em pesquisas, mas precisa avançar no processo de produção dos painéis fotovoltaicos para que haja a maior disseminação e, até mesmo, a popularização da tecnologia. Quanto à tecnologia mais apropriada, entre os painéis disponíveis no mercado internacional, a que obtém maior rendimento é o de silício monocristalino (m-Si): contudo, o que tem maior resistência a altas temperaturas e maior adaptação ao edifício seria o de silício amorfo (a-Si). A diversidade de opções de painéis (silício policristalino - p-Si, silício monocristalino - m-Si, silício amorfo - a-Si, Telureto de cádmio - CdTe, Disseleneto de cobre - gálio, e índio - CIS e CIGS) a elevada vida útil (de 25 a 30 anos), e a baixa necessidade de manutenção do sistema os tornam atrativos do ponto de vista técnico. Do ponto de vista econômico, a energia solar fotovoltaica ainda não é competitiva com a abundante matriz energética proveniente de hidroelétricas. Esta por sua vez é altamente consolidada em nosso território e em alguns países vizinhos, além de ser parte predominante da estratégia governamental local. Do ponto de vista ambiental, contudo, a energia solar fotovoltaica é cada dia mais viável: afinal há de se avaliar, que a preservação para as gerações futuras não tem preço.

A perspectiva é de que, em um futuro bem próximo, com as reduções de custos

previstas, esta tecnologia enquadre-se perfeitamente no contexto sócio-econômico de nosso país, assim como a realidade dos países industrializados, que produzem os painéis. No Brasil a pesquisa, entre as diversas linhas, no sentido da produção de painéis vem sendo especificamente desenvolvida na PUC-RS, sinalizando avanços. Este fato somado aos programas governamentais como: o Luz para Todos, PRODEEM e outras ações voltadas também para a popularização da utilização de aquecedores solares para água, prenunciam o uso de sistemas solares fotovoltaicos em nosso país.

O pré-dimensionamento de um sistema, embora envolva certo número de variáveis é simples do ponto de vista construtivo. É necessário priorizar atenção à área útil para implantação dos painéis, bem como sua orientação e latitude local. Constatou-se que a teoria inicialmente colocada, de que a inclinação ideal seria igual a latitude - 10°S, deve ser melhor observada, uma vez que a inclinação mais eficiente encontrada - com auxílio do RADIASOL - para o caso em questão foi 12°, valor um pouco diferente da latitude local.

Em relação ao custo benefício da instalação dos painéis, considera-se que é vantajosa a utilização da área disponível - 4275,96 m<sup>2</sup> da cobertura, sem somá-la da aos 3464,88 m<sup>2</sup> das fachadas, que têm menor contribuição do que a área da cobertura (as fachadas somam 47,59% de contribuição, enquanto a cobertura 52,26%), em função principalmente da inclinação dos painéis. E entre as fachadas, a Sul teria contribuição bem menor que as demais (8,62%), então sua utilização não é interessante para a geração fotovoltaica, uma vez que, entre outros fatores, é uma fachada de pouco aquecimento e não necessitaria de proteção contra o sol, um dos efeitos proporcionados pela película de tecnologia fotovoltaica.

Sistemas solares integrados ao edifício e à rede pública de energia elétrica são alternativas viáveis tecnicamente. Aos custos atuais, no entanto, a mesma afirmação ainda não pode ser feita para o aspecto econômico do presente estudo de caso, que na possibilidade de geração de 41.445 kWh/mês, ou seja, 52,26% de contribuição de energia elétrica aos 79.685 kWh consumidos (cálculo para 2007), o sistema solar fotovoltaico levou a um payback simples de aproximadamente 20 anos (considerando-se a média de consumos entre os anos de 2006, 2007 e 2008 e o valor atual do dólar).

O edifício do Fórum de Palmas – TO vem ampliando, ano a ano, os serviços oferecidos à comunidade local na área judiciária. E embora ele tenha sido construído com uma determinada previsão de área, ainda não está totalmente consolidado em seus espaços internos, ou seja, dispõe de área construída, mas não está densamente ocupado. Com o aumento do número de Varas - número de funcionários e demanda por ar condicionado - vem à ampliação do consumo de energia. Estas características o fazem um alvo de futuros estudos de eficiência energética. No presente estudo propõe-se a integração de tecnologia fotovoltaica ao edifício estudo de caso, contudo, outros trabalhos podem desencadear-se a partir deste, como a proposta de um retrofit do edifício propondo-se a reformulação das fachadas e/ou materiais da envoltória, buscando a redução da carga térmica, por exemplo. Este estudo da carga térmica poderia manter-se aliado à integração da tecnologia fotovoltaica.

Finalmente, ainda que os resultados obtidos nos cálculos referentes à integração da tecnologia fotovoltaica ao edifício do Fórum de Palmas – TO não demonstrem viabilidade econômica, consideramos que se o presente trabalho despertar o interesse de alguns projetistas quanto à integração de fontes alternativa de energia à arquitetura e quanto à redução do consumo energético, desmistificando as possíveis dificuldades encontradas neste caminho, já logramos êxito na contribuição almejada.

# CAPÍTULO 7



**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS**

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEHLING, Sophia; BEHLING, Stefan. Sol Power. La evolución de la arquitectura sostenible. Editora Gustavo Gili. Barcelona, 2002.

BEN. Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007: Resultados Preliminares. Ministério de Minas e Energia, 2008.

BEZERRA, A. M. Aplicações térmicas da energia solar: Ed universitária UFPB. João Pessoa, 1998.

BP. BP Statistical Review of World Energy June 2007. BP company. Londres, 2007.

BURGOS, A. C.; BERNABÉ, G. D.; TEJEDOR, C. O. La Cubierta captadora en los edificios de viviendas. ITeC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Gráfica Bétulo, SL. Barcelona, 2002.

BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. A arquitetura bioclimática do espaço público. Editora Universidade de Brasília. Brasília, 2001.

CAPOZZI, Simone. A respeito do meio ambiente. Revista Arquitetura e Urbanismo. Editora PINI. São Paulo, SP. Janeiro de 2006. Pg. 40 a 49.

CRESESB. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Edição Especial. PRC – PRODEEM 2004. Rio de Janeiro, 1999.

DANTAS, Francisco. Otimização energética em edificações. Revista Sistemas Prediais. Arquitetura Sustentável: tendências internacionais e a situação brasileira. Nova Técnica Editorial Ltda. Julho e Agosto de 2007. Pg. 22 a 25.

EDWARDS, Brian. Guia Básica de la sostenibilidad. Editorial Gustavo Gili, SA. Barcelona, 2004.

FRAIDENRAICH, N.; LYRA, F. Energia solar: fundamentos e tecnologias de converso heliotérmica e fotovoltaica. Editora Universitária da UFPE. Recife, 1995.

GELLER, S. H. O uso eficiente da eletricidade – uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. INEE, ACEEE, Rio de Janeiro, 1994.

GELLER, S. H. Revolução Energética – Políticas para um futuro sustentável. Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2003.

GERMANY. Act revising the legislation on renewable energy sources in the electricity sector - Act implementing Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market 2004.

GONÇALVES, Helder. Solar XXI. Um edifício energeticamente eficiente em Portugal. Revista Sistemas Prediais. Arquitetura Sustentável: tendências internacionais e a situação brasileira. Nova Técnica Editorial Ltda. Julho e Agosto de 2007. Pg. 42 a 47.

HÉMERY, Daniel; DEBEIR, J. C.; DELÉAGE, J. C. Tradução de Sérgio de Salvo Brito. Uma história da Energia. Editora da Universidade de Brasília. Brasília, 1993.

HYETT, Paul. Sustentabilidade, ética e arquitetura. In: Edwards, Brian. Guía Básica de La Sostenibilidad. Gustavo Gilli. Barcelona, 2004.

IEA. Annual Report 2006. International energy agency, 2006.

JARDIM, C. D. S. A Inserção no Contexto Brasileiro de Sistemas Solares Fotovoltaicos Interligados à Rede Elétrica, quando analisados através do Fator Efetivo de Capacidade de Carga (FECC), enfocando a redução do pico de demanda diurno em centros urbanos. PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2007.

JARDIM, C. D. S.; KNOB, P.; RÜTHER, R. Study of Photovoltaic Potential in Urban Areas with Daytime Load Peaks. In: Passive and Low Energy Architecture (PLEA). Santiago do Chile, 2003.

JUNIOR, Jair Urbanetz. Anteprojeto de Sistema Fotovoltaico - UTFPR. LABEEE/UFSC. Florianópolis, 2006.

LORENZO, Eduardo. Electricidad Solar. Ingenieria de los Sistemas Fotovoltaicos. Instituto de Energia Solar Universidad de Madrid. PROGENSA – Promotora General de Estudios S.A. Sevilla, 1994.

MASCARÓ, J. L.; MASCARÓ, L. R. de. Incidência das Variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios. Editores Sagra-DC Luzzato. Porto Alegre, 1992.

MASCARÓ, Lúcia R. de. Energia na Edificação. Estratégia para minimizar o seu consumo. São Paulo: Projeto Editores Associados LTDA. 2ª Edição. Agosto, 1991.

MESSENGER, R.; JERRY, V. Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press. Flórida, 1999.

MULFARTH, Roberta C. Kronka. O papel da arquitetura na redução dos impactos ambientais. Revista Sistemas Prediais. Arquitetura Sustentável: tendências internacionais e a situação brasileira. Nova Técnica Editorial Ltda. Julho e Agosto de 2007. Pg. 35 a 37.

NASCIMENTO, Alberto. Mercado brasileiro desperta para o conceito de arquitetura sustentável. Revista Sistemas Prediais. Arquitetura Sustentável: tendências internacionais e a situação brasileira. Nova Técnica Editorial Ltda. Julho e Agosto de 2007. Pg. 12 a 21.

OLIVEIRA, S. H. F. Geração Distribuída de Eletricidade: inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo. Tese de Doutorado. São Paulo, 2002.

Ordenes, M.; Marinoski, D.L.; Braun, P.; RÜTHER, R. The impact of building -integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. In *Energy and Buildings* Pg. 629 a 642. October 2006.

PARKER, P. Residential solar photovoltaic market stimulation: Japanese and Australian lessons for Canada. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. In Press, Corrected Proof.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. D.; RÜTHER, R. Atlas brasileiro de energia solar: INPE. São José dos Campos, 2006.

ROAF, Susan; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie; tradução SALVATERRA, Alexandre. *Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável*. 2ª Edição. Ed. Bookman. Porto Alegre, 2006.

RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil: Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SALAMONI, I. T. Metodologia para cálculo de geração fotovoltaica em áreas urbanas aplicada a Florianópolis e Belo Horizonte. PPGEC, UFSC, Florianópolis, 2004a.

SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, C. S. A. O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação e Interligados à Rede Elétrica: Dois estudos de caso. In: X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo, 2004b.

SALAMONI, I.; RUTHER, R. Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação e Interligado à Rede Elétrica: eficiência energética e sustentabilidade, In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Curitiba, 2003a.

SALAMONI, I.; KNOB, P.; RUTHER, R. Metodologia para Cálculo do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica em Áreas Urbanas. In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Curitiba, 2003b.

SALAMONI, I.; KNOB, P.; RUTHER, R. Methodology to Calculate the Potential of Energy Generation in Urban Areas. In: *Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*. Santiago do Chile, 2003c.

SALM, J. F. Prefácio in: *Crescimento Econômico e Demanda Energética no Brasil*. Editora da UFSC. Florianópolis, 1990.

THEIS, Ivo M. *Crescimento Econômico e Demanda Energética no Brasil*. Editora da UFSC. Florianópolis, 1990.

THOMAS, R.; GRAINER, T. *Photovoltaic in buildings - a design guide*: Department of trade and industry. Londres, 1999.

VIDAL, J. W. B.; VASCONCELLOS, G. F. Poder dos Trópicos: meditação sobre a alienação energética na cultura brasileira. São Paulo: Editora Casa Amarela, 2004.

WENZEL, B. What electricity from renewable energies costs. Federal Ministry for the Environment, Nature conservation and Nuclear safety. Berlin, 2007.

ZAHEDI, A. Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems. Renewable Energy. Issue 5, v.31, p.711-718, 2006.

ZANETTINI, Siegbert. Arquitetura e Sustentabilidade. Fórum Nacional de Arquitetura e Iluminação. FONAI. 23 de agosto de 2007. Brasília, DF. 05 pg.

ZILLES, R.; OLIVEIRA, F. H. S. 6,3kWp Photovoltaic Building Integration at São Paulo University. In: 17th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Munique, Alemanha, 2001.

## 7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS VIRTUAIS

A N E E L . E n e r g i a S o l a r : D i s p o n í v e l e m : [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Enegia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Enegia_Solar(3).pdf). Acesso em dezembro de 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução 112, de 18 de maio de 1999. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: março de 2008.

CANAZIO, A. Agência Canal Energia, Expansão. WWI: produção mundial de painéis solares cresce 51% em 2007. Publicado em 12 de maio de 2008. Disponível em: [www.canalenergia.com.br](http://www.canalenergia.com.br), acesso em: 15 de maio de 2008.

CRESESB. Energia solar - princípios e aplicações. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 15/02/2008.

CRESESB. Casa solar Eficiente. Disponível em: [www.cresesb.cepel.br/Parte\\_Externa.htm](http://www.cresesb.cepel.br/Parte_Externa.htm). Acesso em: dezembro de 2007

LABEEE. Casa Eficiente. Disponível em: <[www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)>. Acesso em: dezembro de 2007.

LAMBERTS, R. Elaboração de regulamentação e classificação de edificações eficientes. Relatório técnico: simulação térmica e energética de edificações. UFSC/Procel/Eletróbrás, Florianópolis, 2005. Disponível em: [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)

LAMBERTS, R. Base de dados de apoio ao projeto de edificações eficientes. Atividades desenvolvidas de setembro/04 a fevereiro/05 (relatório técnico). UFSC/Procel/Eletróbrás, Florianópolis, 2005. Disponível em: [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br)

MME – MINISTÉRIO DAS MINAS DE ENERGIA. Balanço Energético Nacional. Sinopse 2001. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/ben2002/>>. Acesso em: Março de 2008.

PIRES, A. Jornal O Globo. Preocupa a Situação da Energia Elétrica. Publicado em dez 2006. Disponível em: [www.oglobo.globo.com](http://www.oglobo.globo.com). Acesso em 15 de maio de 2008.

SANYO SOLAR ARK. Disponível em: <<http://www.sanyo.com/industrial/solar/>>. Acesso em: Fevereiro de 2004.

UFRGS. Radiasol. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://www.mecanica.ufrgs.br/geste/>>. Acesso em: Fevereiro de 2008.

US-DOE. Photovoltaics can Add Capacity to the Utility Grid, U.S Department of Energy. Disponível em: <<http://www.eren.doe.gov/pv/>>. Acesso em: Março de 2008.

ANEXOS

