



A INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ARQUITETURA BRASILEIRA CONTEMPORÂNEA: POTENCIAL ENQUANTO CONCEITO ARQUITETÔNICO EM *SHOPPING CENTERS*

Vanessa Moura; Aloísio Leoni Schmid

Universidade Federal do Paraná. Centro Politécnico. Laboratório de Conforto Ambiental.

Caixa Postal 19011 – DAU, Curitiba – PR. CEP 81.531-990

Telefone +55-0xx41-361-3085. e-mail: vanessamoura@brturbo.com

RESUMO

A utilização de Sistemas Fotovoltaicos Integrados ao Edifício (SFIE) está inserida numa concepção peculiar de projeto. Um novo conceito tecnológico voltado para a sustentabilidade energética dos edifícios cria o momento para uma proposta estética, refletindo o seu tempo. Essa tendência se espalha pelo mundo demonstrando uma nova postura por parte dos arquitetos, empreendedores, governos e mercado. Este trabalho consiste em uma análise qualitativa de possibilidades e restrições quanto à integração de Sistemas Fotovoltaicos em edifícios comerciais em centros urbanos, a exemplo da tipologia de *shopping center*. Compreende um estudo de caso em três edifícios desse tipo existentes na cidade de Curitiba, onde são verificados parâmetros arquitetônicos, urbanísticos e ambientais considerados essenciais para o ideal desempenho da tecnologia fotovoltaica incorporada à arquitetura.

ABSTRACT

Building Integrated Photovoltaics mean a particular conception in building design. A new technological approach aimed at a sustainable building energy supply introduces an innovative aesthetics, the building reflecting its age. This trend is becoming widespread and reveals a new attitude by architects, entrepreneurs, governments and market. This work analyzes possibilities and restrictions for the integration of Photovoltaic Systems into commercial buildings in the urban environment, as applied to the typology of a shopping mall. It involves as case studies three existing buildings of this type in the city of Curitiba, Brazil, with an assessment of architectural, environmental and urbanistic parameters which are relevant to the ideal performance of Building Integrated Photovoltaics.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica tendem a ser vistos no Brasil ainda como solução pouco realista, dada a desproporção dos custos quando comparados aos da geração convencional. Esta realidade decorre do desnível cambial e do peso de sobretaxas públicas e privadas no processo de importação e da ausência de uma política nacional de incentivo. No entanto, considerando os promissores benefícios energéticos, a Arquitetura poderia trazer sentido à idéia ao corporificar critérios políticos, ambientais e mercadológicos num novo conceito: o de Sistema Fotovoltaico Integrado ao Edifício (SFIE).

O presente estudo enfatiza a relação entre a concepção do projeto arquitetônico para *shopping centers* e os condicionantes da tecnologia fotovoltaica de maneira a suprir a demanda de energia elétrica do edifício utilizando fontes renováveis. É necessário demonstrar que essa integração pode acontecer de maneira harmônica do ponto de vista da Arquitetura, promovendo a divulgação e aceitação entre os profissionais da área, empreendedores e a população em geral.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Panorama da energia elétrica no Brasil

Atualmente, as principais formas de geração de energia elétrica no país acontecem em usinas hidrelétricas (70,0%), termelétricas a gás, petróleo ou carvão mineral (16,6%) e nucleares (2,02%) (ANEEL, 2005b). Todas essas apresentam algum impacto sobre o ambiente, e isto sabidamente não se restringe ao local de produção, mas também pode acarretar prejuízos em escala regional (como por exemplo, as chuvas ácidas) e global (como o efeito estufa e a erosão da camada de ozônio).

A expansão anual esperada de 4,5% (ANEEL, 2005a) traz a preocupação de que se dê com o mínimo impacto. Isso pode acontecer através do progresso gradual na inclusão de fontes renováveis alternativas, que hoje representam apenas 3,09% na matriz energética (ANEEL, 2005b). No setor elétrico brasileiro, a disponibilidade de recursos naturais em abundância e o amadurecimento gradual da tecnologia em si justificam a expectativa por um expressivo aumento dessa participação: a geração de energia elétrica de origem fotovoltaica, eólica e da biomassa tem grande potencial para se desenvolver no país (ANEEL, 2002). Isto requer, no entanto, que prossiga a definição de políticas necessárias e o desenvolvimento ou aporte de tecnologia aplicada.

2.2. Integração de sistemas fotovoltaicos na Arquitetura: um novo conceito de edifício

Além de se procurar suprir, no sistema elétrico, o crescimento em consumo e demanda, é necessária também uma reflexão acerca dos principais fatores deste aumento, como a expansão da urbanização, por exemplo. O arquiteto, como projetista do espaço construído, pode considerar os aspectos energéticos ao projetar em favor do meio ambiente. Ao aliar antigas lições de conforto ambiental às tecnologias de ponta, produz-se um edifício inovador, cuja forma terá sentido especial num desempenho otimizado. Nessa perspectiva, países desenvolvidos vêm há anos implementando e aprimorando o Sistema Fotovoltaico Integrado ao Edifício. A **Figura 1** ilustra este fato de maneira sugestiva.

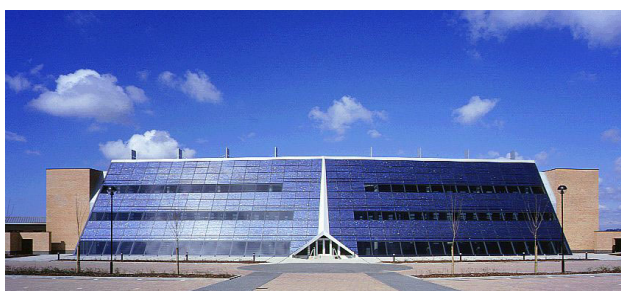


Figura 1 - Solar Office Doxford, Reino Unido. FONTE: IEA (2005b)

Conceitualmente, esse sistema não apenas produz eletricidade, mas é parte integrante da edificação. O seu elemento mais marcante é o módulo fotovoltaico que em disposição matricial, lado a lado, forma uma composição a ser instalada no exterior da construção. As grandes vantagens da utilização do sistema estão principalmente na possibilidade de aproveitamento de superfícies já construídas e impermeabilizadas, dispensando o uso de novas áreas naturais assim como o investimento em estrutura de fixação para produzir energia. A instalação é dimensionada para consumo local, reduzindo as perdas de distribuição. Sua integração proporciona uma linguagem arquitetônica peculiar e permite expressiva economia se comparada à simples justaposição do sistema fotovoltaico sobre o edifício existente: painéis de vidro e alumínio, mármore e granitos, entre outros, podem ser substituídos pelos módulos. Ao atuar simultaneamente como acabamento, material de vedação e elemento de produção energética, o sistema reflete a consciência dos sérios problemas ambientais associados à geração e ao uso da energia e a preocupação com a sustentabilidade.

No final de 2003, Alemanha, Estados Unidos, Japão e Austrália possuíam a capacidade de gerar respectivamente: 400 MWp; 275,2 MWp; 860 MWp e 45,6 MWp de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos (IEA, 2005a). Outros países desenvolvidos também utilizam a energia solar fotovoltaica em diversas aplicações, como os sistemas descentralizados conectados diretamente à rede elétrica convencional. Esse avanço acontece principalmente por meio de iniciativas governamentais que, através de taxas e subsídios, promovem a disseminação da tecnologia de maneira a incrementar o mercado. Exemplos disso podem ser encontrados na Alemanha com o seu programa denominado “1000 Telhados Fotovoltaicos” que posteriormente expandiu para 100.000 telhados e foi a pioneira nessa tendência. Os Estados Unidos lançaram o programa de “1 Milhão de Telhados Solares” a ser implantado até 2010 (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2005).

A utilização dessa tecnologia em edificações criou um nicho na arquitetura mundial, direcionando a especialização de profissionais para a integração dos sistemas fotovoltaicos ao projeto. Atualmente existe razoável variedade de produtos para SFIE. Além da proteção contra intempéries, os painéis promovem a diminuição do ganho térmico interno e isolam os ruídos externos. Podem ser produzidos em diversos tamanhos, cores e texturas, permitindo ou não a entrada parcial de luz natural no interior do edifício. São agrupados em duas categorias principais: sistemas para fachadas e coberturas. Os primeiros correspondem aos vidros laminados e coloridos e às peles de vidro. Os sistemas para telhados incluem telhas, coberturas metálicas, clarabóias e sistemas de proteção contra insolação. Um exemplo de partido que utiliza uma composição de painéis fotovoltaicos pode ser visto na **Figura 2**.

Na matriz energética brasileira, a energia renovável se destaca na parcela que ocupa das fontes primárias, pelo predomínio da geração hidráulica. No entanto, trata-se de empreendimentos de alto investimento de implantação e manutenção, e ainda enormes danos ambientais e sociais, portanto duvidosos do ponto de vista da sustentabilidade. Situados longe dos locais de consumo, não permitem uma proposta de eficiência integrada ao uso da energia, peculiar dos SFIE.



Figura 2 - ThyssenKrupp Stahl, Alemanha. FONTE: THYSSENKRUPP-SOLARTEC (2005)

A tecnologia fotovoltaica foi introduzida no Brasil em 1978, mas o uso foi intensificado em 1992. O Ministério de Minas e Energia tem procurado levar energia elétrica fotovoltaica para regiões isoladas, através de estratégias como o Programa de Desenvolvimento Energético para Estados e Municípios (PRODEEM), além de parcerias entre Federação e Estados para beneficiar povoados desprovidos de energia. Esse tipo de aplicação populariza a energia solar e vem a contribuir com o crescimento do mercado. Entretanto, não se tem notado qualquer iniciativa de integração aos edifícios. A arquitetura vernácula não é utilizada sequer como suporte para os painéis. São preferidas estruturas tubulares, resultando em um conjunto sem harmonia, pouco integrado e até agressivo, sendo que o morador não se apropria da tecnologia como parte da sua casa. A estrutura encarece os chamados sistemas solares domésticos (SSD). Os painéis, simples acessório acoplado, muitas vezes não seguem nem a inclinação do telhado que, mesmo sem ser a ideal, resultaria em maior racionalidade. Tais situações são ilustradas na **Figura 3** e na **Figura 4**.

Nos centros urbanos, o LABSOLAR da UFSC, a Escola de Engenharia da UFRGS e o Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP, em São Paulo, estudam a viabilidade do SFIE. Atualmente a maior dificuldade para essa inserção deve-se ao seu incipiente mercado, ao alto custo comparado ao da energia convencional e à falta de incentivos governamentais. Mesmo sem um programa que promova a

divulgação, instalação e comercialização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Brasil, uma análise mais aprofundada para verificar as condicionantes dessa implantação justifica-se pelo potencial existente nas cidades para a geração de energia elétrica descentralizada e pelas condições climáticas favoráveis: “Portanto, sob o ponto de vista técnico, o Brasil possui boas condições de uso desses sistemas. Inclusive, (...) são melhores do que a de muitos países que já estão investindo intensamente no desenvolvimento da geração fotovoltaica de energia”. (OLIVEIRA, 2002, p.61).



Figura 3 - Residência em Paraty, RJ.
FONTE: GOV. DO ESTADO DO RIO (2005)



Figura 4 - Residência no semi-árido, AL.
FONTE: AONDE VAMOS (1999)

2.3. Questões técnicas: observações quanto ao desempenho, orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos

O desempenho ótimo do sistema requer exigências aos módulos e aos outros elementos do conjunto. Essas incluem, entre outras, atenção quanto à ventilação e resistências mecânica, elétrica, contra corrosão e dilatação. Para o sistema integrado ou adaptado é essencial a ausência de sombras projetadas por montanhas, árvores, edifícios vizinhos ou porções do próprio edifício. O sombreamento parcial deve ser reduzido aos períodos de baixa radiação, caso contrário, devem ser instalados diodos de by-pass para evitar bloqueio à corrente elétrica produzida por todo o sistema. Além disso, locais com especificidades como reflexões em espelhos de água, pisos ou paredes requerem análise especializada (LAUKAMP; TOGGWEILER, 1994).

No Hemisfério Sul, para um sistema de captação solar fixo, considera-se ótima a orientação para o Norte. Entretanto, o azimute também é função da curva de carga diária e caso haja intenção de compensar o pico ao final do dia, pode haver desvio da direção Norte para a Oeste.

O ângulo de inclinação deve ser similar ao da latitude local e também está em função da curva de carga anual do sistema elétrico. Caso seja prevista uma compensação ao sistema brasileiro elétrico interligado, que enfrenta secas durante o inverno, convém ajustar a inclinação dos módulos solares, priorizando tal época. Inclinações menores que 15° não são recomendadas por afetarem o efeito de auto-limpeza causado pela chuva. Para Curitiba, no presente trabalho, adota-se como ângulo de inclinação o valor da latitude, de aproximadamente 26°, tendo em vista o melhor desempenho anual. Como a radiação solar difusa é alta na região da capital (dados os índices de nebulosidade), diminui em importância a busca de uma orientação solar ótima. Isto facilita a tarefa da integração arquitetônica.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1 Seleção dos estudos de caso

Em virtude do alto custo de viabilização da tecnologia fotovoltaica comparada ao da energia convencional, além da atual posição do setor energético brasileiro, fica inviável ao consumidor comum adquiri-la. O início dessa inserção poderia acontecer pela iniciativa privada, através de empresas envolvidas em uma política de marketing que contemple a imagem de consciência ambiental e /ou possuem edifícios de alto gasto energético as quais se tornariam alvos potenciais para a implantação dos primeiros SFIE no Brasil. Edifícios de *shopping center* exibem tal situação.

Cabe a observação de que na Região Metropolitana de Curitiba, a partir da segunda metade da década de 90, instalaram-se diversas empresas multinacionais como Renault, Crysler, e Volvo (IPARDES, 2003). Isso refletiu na demanda por opções de serviços, compras e lazer na capital. Foram realizados vultuosos investimentos na área varejista, incluindo *shopping centers* de porte, como o Shopping Curitiba (1996), Shopping Crystal Plaza (1996), Shopping Estação (1997) e Park Shopping Barigüi (2003).

Com base nessa recente realidade é que foram selecionados *shopping centers* em Curitiba para estudo de caso da compatibilidade entre alguns condicionantes de tais empreendimentos e os requisitos técnicos e arquitetônicos de um SFIE. Estes requisitos podem ser tão variados quanto a insolação adequada e o interesse do setor em melhorar sua imagem, comumente ligada à voracidade energética.

Foi realizado estudo de caso do tipo múltiplo em três *shopping centers* desenvolvido em duas partes: levantamento de campo (observação direta e fotografia) e análise, incluindo as principais características que afetariam a utilização do sistema fotovoltaico dentro dos parâmetros eficiência/ produção de energia e visibilidade/ divulgação. Assim, foram avaliados: situação, zoneamento, contexto urbano, incidência solar e arquitetura do edifício, enfocando volumetria, fachadas e coberturas. Os resultados sugerem pontos de conflito entre a situação dos casos estudados e os requisitos dos SFIE.

3.2 Estudo de caso 1: Shopping Mueller

Foi o primeiro *shopping* inaugurado na cidade, em 1983, instalado em uma indústria metalúrgica (Figura 5). A remodelação do edifício antigo acrescentou três pavimentos revestidos em pedra, na cobertura. Em 2003, uma nova reforma, destinada às salas de cinema, acrescentou um volume no último pavimento. Devido às alterações, o prédio é hoje como uma “caixa sobre a outra”, sendo facilmente perceptíveis todas as suas ampliações, ressaltadas pelos volumes e pela diferença de materiais.



**Figura 5 – Antiga indústria metalúrgica, onde o shopping foi instalado, 1878.
FONTE: SHOPPING MUELLER, 2005.**



**Figura 6 - Vista aérea do shopping, de Leste.
FONTE: GELINSKI, 2004a.**

O prédio está localizado na zona SE-CC (Setor Especial Centro Cívico), com entrada principal na Avenida Cândido de Abreu, em uma região de intenso tráfego. De acordo com a legislação o SE-CC pode comportar edifícios de altura livre na Avenida Cândido de Abreu e seis pavimentos para as demais ruas. Seu entorno imediato é delimitado por outros três tipos de zoneamento distintos, que permitem desde três pavimentos até altura livre. O edifício é implantado no alinhamento de quadra, ocupando-a integralmente, com planta retangular e fachadas para quatro vias. Possui boa visibilidade na Avenida Cândido de Abreu (face Leste). O gabarito das demais ruas permite visualização confortável pelo pedestre somente até a altura de quatro a cinco metros, sendo que a cobertura dificilmente visível (Figura 6).

As fachadas em alvenaria do antigo edifício foram preservadas. A cobertura é plana e possui uma pequena pirâmide de vidro, recentemente instalada, para iluminação natural interna. O eixo mais longo do edifício é orientado na direção Norte-Sul com azimute aproximado de 12°. Ocorre incidência predominante de sol na fachada lateral direita, na da Rua Barão de Antonina (face Norte), e na cobertura.

Em relação ao zoneamento e à implantação, o Shopping Mueller não é favorecido para a instalação de um sistema fotovoltaico. O gabarito permitido para os edifícios a serem construídos nas quadras limítrofes restringirá o acesso ao sol na face Norte, Leste e Oeste, tornando o sistema subutilizado, inviabilizando o investimento. Do ponto de vista arquitetônico, a integração do sistema não concordaria com nenhuma forma prévia existente no edifício, além do que a orientação próxima da ótima remeteria os painéis fotovoltaicos a uma rua estreita, não proporcionando visibilidade.

3.3 Estudo de caso 2: Shopping Crystal Plaza

Inaugurado em 1996, introduz uma mudança arquitetônica. Entre os casos apresentados, é o primeiro que privilegia o uso de luz natural no interior desde a concepção original do projeto. A **Figura 67** mostra uma perspectiva deste empreendimento, em que se nota destacada clarabóia em S.



Figura 7 - Shopping Crystal Plaza, vista aérea da fachada posterior. FONTE: PMC (2005)

O edifício possui planta retangular estendida longitudinalmente em um lote estreito, ocupando-o integralmente, com frentes opostas para duas vias: Rua Benjamim Lins, frontal e Rua Comendador Araújo, posterior. Localiza-se em uma ZR-4 (Zona Residencial 4), sendo permitida a construção até seis pavimentos. No entorno existem prédios classificados como Unidades de Interesse de Preservação. Tem orientação Noroeste-Sudeste, com azimute aproximado de -34° . Há insolação predominante na fachada posterior (NO) e na cobertura.

Apresenta duas fachadas, sendo que na posterior há um edifício histórico integrado. O seu projeto utiliza luz natural para iluminação interior através de painéis de vidro nas fachadas e abundantes aberturas zenitais. A laje da cobertura é recortada longitudinalmente por uma extensa clarabóia semi-circular de vidro e pontualmente por outras menores e planas.

Em relação à insolação, o Shopping Crystal não tende a ser prejudicado com o crescimento em altura da vizinhança, conforme o zoneamento atual, além da presença de edifícios históricos que colaboram para manter baixo o gabarito do entorno, principalmente na face Norte. A integração do sistema poderia ocorrer pela substituição dos vidros das clarabóias e da fachada posterior por painéis fotovoltaicos translúcidos (cujas células de conversão são dispostas afastadas entre si). O incremento de produção de energia pode ser atingido pela instalação de painéis na cobertura, inclinados aproximadamente a 26° em relação ao Norte Geográfico. Entretanto, essas soluções em nada favoreceriam a expressão plástica do *shopping* e a publicidade da tecnologia.

3.4 Estudo de caso 3: Park Shopping Barigüi

Inaugurado em novembro de 2003, é o mais recente de Curitiba. O projeto também foi concebido para receber luz natural no interior. A **Figura 8** mostra, de uma vista aérea, a existência de clarabóias distribuídas de acordo com um eixo longitudinal.



Figura 8 - Park Shopping Barigüi, maquete eletrônica. FONTE: GELINSKI (2004b).

Está localizado na ZT-NC (Zona de Transição Nova Curitiba), sendo permitida a construção até seis pavimentos. Nas outras duas zonas limítrofes permite-se edificações de dois pavimentos até altura livre. Construído em um lote amplo, situado junto a um remanescente de mata nativa e limitado pelo Rio Barigüi e pela Rua Professor Viriato Parigot de Souza (fachada principal). O azimute aproximado é 62° , com predominância de incidência solar na fachada posterior e na cobertura.

A planta do *shopping* é formada pela junção em ângulo de dois retângulos, com a entrada principal marcada por um volume saliente nessa intersecção. Possui pátio para estacionamento. As fachadas Norte e Sul (posterior e frontal) são as maiores e predomina a horizontalidade. A monotonia volumétrica é amenizada por alguns blocos que se destacam nas cores, materiais e pequena diferença de altura. A fachada Norte apresenta um painel de vidro com vista para a vegetação nativa. A cobertura é de laje plana e segue a forma do edifício com alguma variação na altura em certos trechos. Uma clarabóia central a corta longitudinalmente, interceptada por três outras circulares.

Quanto ao acesso solar, a instalação de um sistema fotovoltaico é viável. Atualmente, o *shopping* não é afetado por sombreamentos, o que deve perdurar, dada a legislação de zoneamento em vigor. A integração mais favorável se daria na cobertura, pela substituição dos vidros das clarabóias por painéis fotovoltaicos translúcidos e também pela instalação desses inclinados a 26° em relação ao Norte Geográfico. Na fachada posterior (face Norte), a pele de vidro vertical também poderia ser substituída pelos painéis translúcidos e o restante revestido com painéis opacos. Nesse *shopping center*, também há dificuldade em conciliar a ótima eficiência do sistema com um efeito plástico marcante. O maior obstáculo está na integração da tecnologia de maneira atrativa na fachada principal (face Sul). Além disso, o fato do edifício estar localizado longe do centro e servido por uma via expressa minimiza a sua visibilidade pelos pedestres.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, é necessária uma verificação quantitativa, em cada *shopping center* estudado, da suficiência de um suprimento de energia baseado na geração fotovoltaica. Para tanto, na ausência de dados específicos dos edifícios, considerou-se a intensidade energética média observada em sete diferentes *shopping centers* no Rio de Janeiro de 37,2 kWh mensais por metro quadrado de Área Bruta Locável (TOLMASQUIM et al., 1998). Tais valores podem ser considerados superestimados, tendo em vista as cargas de refrigeração expressivamente menores em Curitiba do que no Rio de Janeiro: respectivamente, 1940 e 10981 graus-hora anuais para temperatura-meta em 24°C (GOULART et al., 1998). Para avaliar o potencial de geração, foi considerada a irradiação solar global média diária de 4,8 kWh/m² (COLLE, 1998) e uma eficiência total do sistema fotovoltaico de 10%. Áreas disponíveis para captação solar são mostradas na Tabela 1. Com tais dados, é possível estimar fatores de cobertura solar entre 15 e 31%. Nenhum dos três *shopping centers* analisados possui área de telhado suficiente para suprir o próprio consumo energético.

Aqui, três observações são necessárias. Primeiro, que não foi considerada a área disponível para captação nas fachadas verticais. Depois, que um abastecimento baseado na tecnologia fotovoltaica supõe uma ação incomum de efficientização energética do edifício, mesmo incorporando as tecnologias consideradas mais caras de automação, pois o limite de custo/benefício não são as taxas de mínima

atratividade (TMA) da economia, mas as baixas taxas de retorno de investimento em geração fotovoltaica. Finalmente, ressalte-se que num sistema fotovoltaico integrado à rede elétrica, a auto-suficiência energética é condição ideal, porém não necessária para a viabilização do empreendimento.

Tabela 1 - Análise e resultados dos estudos de caso

		Shopping Mueller	Shopping Crystal	Park Shopping Barigüi
	Data de inauguração	Setembro de 1983	Novembro de 1996	Novembro de 2003
	Área construída atual	74.412 m ²	43.000 m ²	106.000 m ²
	Área da cobertura (estimada)	13.111 m ²	8.500 m ²	20.800 m ²
	Área Bruta Locável (ABL)	33.315 m ²	12.000 m ²	44.181 m ²
Eficiência/ Produção de energia	Localização/ Zoneamento	Desfavorável - entorno prejudicial	Favorável - baixo gabarito do entorno	Favorável - baixo gabarito do entorno. Implantação livre.
	Insolação	Desfavorável - principal área livre na cobertura tem orientação inadequada	Favorável - Cobertura e fachada posterior (NO)	Favorável - Cobertura e fachada posterior (N)
	Produção anual de energia solar estimada ¹	2.297.000 kWh	1.706.400 kWh	4.175.600 kWh
	Produção anual de energia fotovoltaica dividida pela ABL	68,9 kWh/m ²	142,2 kWh/m ²	94,5 kWh/m ²
	Consumo mensal específico ²	37,2 kWh/m ²	37,2 kWh/m ²	37,2 kWh/m ²
	Consumo anual específico	446,4 kWh/m ²	446,4 kWh/m ²	446,4 kWh/m ²
	Cobertura solar do consumo	15,4%	31,9%	21,2%
Visibilidade/ Divulgação	Volumetria	Desfavorável - monotonia	Desfavorável - aproveitamento e forma do lote limitam a volumetria	Desfavorável - monotonia
	Fachadas	Desfavorável - preservação histórica	Parcial - somente a posterior (NO)	Parcial - somente a posterior (N)
	Cobertura	Desfavorável - confortavelmente visível apenas na face Leste	Parcial. Visível no interior do edifício (clarabóias)	Parcial. Visível no interior do edifício (clarabóias)
Resultado	Arquitetura e Urbanismo	Não contribuem para a integração do sistema fotovoltaico ao edifício	Contribuem para a integração, mas sem efeito estético e de divulgação	Contribuem para a integração, mas sem efeito estético e de divulgação

¹ Supondo 4,8 kWh/m² de insolação anual e rendimento dos sistemas de 10%.

² Tomada a média para *shopping centers* no Rio de Janeiro (TOLMASQUIM, 1998).

Do ponto de vista da Arquitetura, apesar da possibilidade de utilização dos painéis fotovoltaicos nos edifícios apresentados, todos se afastam das condições ideais, já que nenhum permite incorporá-los dentro de um conceito arquitetônico. A obtenção de apelo estético ao projeto estabelece um desafio a

ser superado, ainda, num estágio anterior ao da integração de um sistema fotovoltaico. A volumetria dos casos analisados, geralmente em monobloco de cobertura plana, não permite o uso de um elemento ou volume que possa ressaltar o uso do sistema. Assim, fica evidenciado que a plástica da tipologia *shopping center* ainda requer razoável elaboração para viabilizar a idéia de SFIE.

O estudo volumétrico poderia partir de uma análise profunda dos vários arranjos de setorização que a organização desse tipo de edifício permite, em prol da valorização e destaque formal. Os volumes individuais logicamente organizados dentro da estrutura, originariam formas apropriadas para a inserção dos painéis fotovoltaicos adequando-se ao contexto: visibilidade, publicidade, atratividade e integração com o edifício. Assim, átrios, circulações, áreas administrativas, estacionamentos, salas de cinema e espaços de lazer setorizam atividades. Inter-relacionadas, podem originar formas convenientes à inserção fotovoltaica como parte integrante e não meramente acessória do edifício.

Os *shopping centers* em Curitiba mostram ênfase na iluminação natural. Isso repercute positivamente, já que a área envidraçada poderia ser substituída por painéis fotovoltaicos, o que ainda contribuiria para diminuição da temperatura interna, entretanto sem nada acrescentar na questão plástica. Uma possível solução se daria no aproveitamento dessa característica em favor do destaque exterior, através da utilização contínua do átrio, unindo-se clarabóias com painéis translúcidos de maneira a marcar a entrada principal com monumentalidade, utilizando fachadas e coberturas. Portanto, considerando a implantação, a orientação solar e a quantidade de energia requerida, sugere-se que o partido do edifício utilize elementos que se destaquem por contraste entre materiais, alturas e formas.

Em Curitiba, o planejamento urbanístico de uso e ocupação do solo estimulou a intensa densificação de algumas regiões, restringindo a insolação e a ventilação em edificações. Conseqüentemente, são vários os exemplos de edifícios que possuem pouco acesso tanto à luz difusa diurna quanto à radiação solar direta, o que acaba por limitar a utilização de sistemas fotovoltaicos nessas áreas. Portanto, sob o ponto de vista urbanístico fica clara a necessária intervenção da lei para estabelecer padrões específicos para a inserção de um edifício fotovoltaico no tecido urbano. Nos casos analisados, apenas um apresenta vantagem nesse sentido, por possuir pátio de estacionamento no térreo, o que garante afastamento dos edifícios vizinhos, além de ampliar a visibilidade do transeunte. É necessária a especificação de zonas potenciais para a implantação desses empreendimentos, com desempenho próximo do ótimo, restringindo as alturas limítrofes, bem como os afastamentos. A legislação urbana, através desses parâmetros, também começaria a contribuir para o destaque do edifício fotovoltaico por solicitar um entorno diferenciado, marcado pela implantação livre e pelo aumento gradual em altura do gabarito das edificações vizinhas.

5. CONCLUSÃO

A integração de sistemas fotovoltaicos a edifícios existentes provou ser tarefa complexa, já que nem todos os fatores considerados como: insolação ideal, destaque e integração do sistema e divulgação conseguem ser simultaneamente atendidos. O ideal seria que a integração de sistemas fotovoltaicos fosse prevista desde o início do projeto, orientando-o ao acesso solar ideal sem prejuízo da eficiência, além de um partido arquitetônico que possa garantir destaque e integração aos painéis. Isso quer dizer que além da revisão profunda de caráter conceitual a que esses edifícios devem ser submetidos, com o propósito de buscar a sustentabilidade no uso dos recursos naturais, concomitantemente, haveria também uma mudança na maneira de projetar, já que a intenção obriga a busca de melhores soluções arquitetônicas e urbanas, correspondendo tanto à funcionalidade quanto ao apelo estético.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL (2005) - Agência Nacional de Energia Elétrica. *Atlas de energia elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 29 mar.

_____. (2005a). *Informações do setor elétrico*. Disponível em : <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 29 mar.

_____ (2005b). *Matriz de energia elétrica*. Disponível em : <<http://www.aneel.gov.br>> Acesso em: 29 mar.

AONDE VAMOS (2005). *Alagoas em destaque na utilização de energia solar*. Disponível em: <<http://www.aondevamos.eng.br/boletins/edicao01.htm>> Acesso em: 28 mar.

COLLE, S. (1998) *Atlas de irradiação solar do Brasil*. Brasília: Labsolar/UFSC – INMET.

IEA (2005a) - International Energy Agency. *Country information*. Disponível em: <<http://www.oja-services.nl/iea-pvps/countries.htm>> Acesso em: 27 mar.

_____ (2005b). *Solar office doxford international*. Disponível em: <<http://www.oja-services.nl/iea-pvps/cases>> Acesso em: 28 mar.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. *Arranjos produtivos locais e o novo padrão de especialização regional da indústria paranaense na década de 90*. Curitiba: IPARDES, 2003. 95 p.

GELINSKI, G. (2005) *Pirâmide de vidro*. Revista Finestra, São Paulo, n.19, 2004a. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura497.asp>> Acesso em: 25 mar.

_____ (2005). *Tetos e tapetes de luz*. Revista Finestra. São Paulo, n.39, 2004b. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/arquitetura564.asp>> Acesso em: 25 mar.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (2005). Secretaria de Energia, da Indústria Naval e do Petróleo. *Energia solar fotovoltaica proporcionando desenvolvimento para as comunidades isoladas do Estado do Rio de Janeiro*. Disponível em: <<http://www.seinpe.rj.gov.br/Home-Gera/Paraty.htm>> Acesso em: 27 mar.

GOULART, S., LAMBERTS, R., FIRMINO, S.(1998). *Dados climáticos para projeto e avaliação energética em 14 cidades brasileiras*. 2a. edição. Rio de Janeiro: PROCEL/Eletróbrás.

LAUKAMP, H.; TOGGWEILER, P. (1994) *Photovoltaik an Gebäuden*. In: BEGLEITBUCH ZUM SEMINAR “PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN”, Freiburg, p.539-581.

OLIVEIRA, S. H. F. (2005) *Geração distribuída de eletricidade; inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no Estado de São Paulo*. São Paulo, 2002. 198 f. Tese (Doutorado em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.energia.usp.br/lfs/teses/Tese_Sergio.pdf> Acesso em: 29 mar.

PMC (2000) PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *Uso do solo*: legislação. Curitiba.

_____ (2005). Bairros em números. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/pmc/curitiba/bairros/bairro.asp?bcod=12&codgrupo=7>> Acesso em: 27 mar.

SHOPPING MUELLER (2005). Institucional. Disponível em: <<http://www.shoppingmueller.com.br/cfd/oshopping.asp>> Acesso em: 27 mar.

THYSSENKRUPP-SOLARTEC (2005). *Das größte Solartec-Projekt Europas ist eine Fassade*. Disponível em: <<http://www.thyssen-solartec.com/aktuell/eurofassade.html>> Acesso em: 28 mar.

TOLMASQUIM, M. T.(Coord). et al. (1998) *Tendências da eficiência elétrica no Brasil: indicadores de eficiência energética*. Rio de Janeiro: Coppe/Energe/Procel,.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY (2005). *Million solar roofs*. Disponível em: <<http://www.millionsolarroofs.com>> Acesso em: 28 mar.