



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

Energia fotovoltaica em edifícios mato-grossenses: viabilidade econômica e energética de janelas fotovoltaicas

Andrea Paula Ferreira (1), Luiz Eugênio L. Scomparin (2), Gisele Carignani (3)

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil. E-mail:

andreascomparin@yahoo.com.br

(2) Curso de Arquitetura e Urbanismo, UFMT, Brasil. E-mail: scomparin@gmail.com

(3) Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UNEMAT, Brasil. E-mail: carignani@hotmail.com

Resumo: Determinar, sob o aspecto do potencial de geração de energia e dos custos envolvidos, as possibilidades do emprego de janelas fotovoltaicas integradas à fachada de edifício comercial com arquitetura representativa existente na cidade de Cuiabá, é o objetivo deste trabalho. Método: Pesquisa bibliográfica e de campo para levantamento fotográfico, seleção de edifícios representativos, análise dos edifícios selecionados quanto à área de envidraçamento, seleção de tecnologias fotovoltaicas adequadas, determinação da área para aplicação dos painéis fotovoltaicos, mensuração da geração de energia elétrica para as variáveis locais, determinação dos custos da instalação fotovoltaica e do custo da energia consumida, determinação do custo substituído, qualificação da energia produzida em relação à demandada. Resultados: os edifícios selecionados para o estudo apresentam grandes áreas de fachadas envidraçadas com condições adequadas para receber painéis fotovoltaicos, que permitiriam gerar aproximadamente 3,5% da energia consumida anualmente, por um custo 7% maior que o da aplicação da vedação de vidro, permitindo concluir que a opção de instalação de painéis fotovoltaicos é viável econômica e energeticamente, maximizando a eficiência energética do edifício.

Contribuições/Originalidade: desmitificar através de avaliações sistematizadas e confiáveis o emprego da tecnologia fotovoltaica, ampliar o campo de conhecimento de profissionais responsáveis pela concepção e projeto de edifícios, contribuir para o fortalecimento das pesquisas na área de energias renováveis na região.

Palavras-chave: BIPV; Energia fotovoltaica; Arquitetura fotovoltaica; Energias renováveis.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por energia elétrica no Brasil foi muito significativo nas últimas três décadas, acusando um crescimento de 700% em 25 anos. A tendência de crescimento da demanda se verifica em todo mundo (REIS e SILVEIRA, 2001).

Características como as supracitadas, justificam a consideração da energia elétrica como uma das principais matrizes energéticas do mundo moderno e portanto, “(...) a questão do setor elétrico é parte fundamental de qualquer estratégia visando ao desenvolvimento sustentável da humanidade” (REIS e SILVEIRA, 2001, p39).

A conversão fotovoltaica é considerada como a mais promissora e desejada fonte de energia para o futuro, tanto no Brasil quanto no mundo: “(...) A geração solar fotovoltaica pode ser considerada como a forma mais atraente para o Brasil e para o mundo a médio e longo prazo.” (REIS e SILVEIRA, 2001, p61); “(...) é essencial promover o uso de tecnologias solares, que são renováveis por natureza.” (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003, p207).

São evidenciados por pesquisas não só as qualidades da energia fotovoltaica, como também uma aura de tecnologia ineficiente e caríssima, adequada somente para aplicações onde a energia convencional não poderia ser empregada. O potencial de uso real da tecnologia deve ser desmitificado: “Cobrindo-se o lago de Itaipu com módulo solares de filmes finos comercialmente disponíveis, (...) seria possível gerar o dobro de energia gerada por Itaipu, ou o equivalente a 50% da eletricidade consumida no Brasil.”(RÜTHER, 2004, p76)

Sistemas fotovoltaicos integrados aos edifícios e interligados a rede convencional de energia elétrica (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Eletrobrás, 2003), são evidenciados como uma ótima alternativa de suprimento energético.

Os sistemas fotovoltaicos podem funcionar como complementares ao sistema convencional ou principal de energia elétrica, fornecendo eletricidade para rede de distribuição em horários de pouca demanda. Tal arranjo torna desnecessário o armazenamento da energia em baterias, diminuindo significativamente custos totais, minimizando drasticamente a manutenção e aumentando a vida útil dos sistemas.

A área e o peso reduzido dos módulos fotovoltaicos permitem sua aplicação como parte integrante de edificações (SANTOS, 2009), em telhados, substituindo revestimento de paredes, como elementos de sombreamento, como brise-soleil e mesmo em substituição de fechamentos transparentes como janelas e panos de vidro.

O uso de células fotovoltaicas como materiais de construção abre novos caminhos para o setor de construção civil em direção de uma melhor eficiência energética e da sustentabilidade, agregando valores aos edifícios.

Apesar das qualidades apontadas e vantagens da implementação da geração fotovoltaica, um dos grandes entraves para a popularização da tecnologia é o alto custo de implementação dos sistemas, mas estudos evidenciam que a paridade tarifária entre a energia gerada por fonte fotovoltaica e a convencional será atingida já na próxima década em diversas regiões do Brasil, mesmo sem incentivo financeiro (SALAMONI, MONTENEGRO e RÜTHER, 2008).

Buscando verificar a viabilidade de implantação imediata de geradores fotovoltaicos com menor custo possível, neste estudo foi quantificada a geração de energia e os custos envolvidos que seriam decorrentes da implantação de um sistema fotovoltaico interligado à rede com módulos fotovoltaicos transparentes e opacos substituindo janelas de edifícios públicos que funcionam em horário comercial na cidade de Cuiabá.

2 OBJETIVO

Determinar a capacidade de geração fotovoltaica e a viabilidade econômica do emprego de janelas fotovoltaicas incorporadas a edifício de uso público em Cuiabá.

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa considerou-se edifícios públicos, pois o pico de consumo de energia elétrica nestes edifícios coincide com os horários de maior insolação e com os horários de maior geração de energia por sistemas fotovoltaicos (JARDIM, 2007).

A identificação dos possíveis edifícios públicos alvos para a aplicação do sistema fotovoltaico se deu primeiramente, delimitando-se a região da cidade com maior concentração de edifícios públicos com fachadas envidraçadas. A região delimitada foi a do Centro Político Administrativo. Foi feito o reconhecimento visual, concomitante com levantamento fotográfico e posterior seleção dos edifícios objeto do estudo.

Foram selecionados três edifícios que compõem o Conjunto de edifícios sede do Tribunal Regional do Trabalho. Os edifícios selecionados apresentam significativa área vítreia na fachada; acesso fácil ao projeto de arquitetura e ao histórico de consumo de energia elétrica e; considerável importância no contexto arquitetônico da cidade e da região.

Para a seleção da tecnologia fotovoltaica a ser adotada para os cálculos, o critério adotado foi a compatibilidade da tecnologia para ser usada em arranjos integrados as fachadas dos edifícios. A tecnologia selecionada, módulos semi-transparentes de filme fino de silício amorfo (a-Si), pode ser usada em *retrofits* de edifícios sem exigir alterações ou adições substanciais na estrutura ou organização espacial destes.

Para a determinação dos dados de radiação foi utilizado o software gratuito Radiasol (UFRGS, 2008).

Para determinação dos preços de mercado dos módulos fotovoltaicos, foram consultados os representantes comerciais das indústrias (BENEDITO, 2009).

Para a definição do custo de instalação do sistema em substituição à janelas, foi considerado o custo do metro quadrado do sistema fotovoltaico segundo o método de custos substituídos, em que o custo do material de construção substituído pelos módulos fotovoltaicos é descontado do custo do módulo. Este método se aplica à BIPVs, *Building Integrated Photovoltaic*, ou Sistemas Fotovoltaicos Integrados ao Edifício.

A aplicação do método dos custos substituídos é adequada para edifícios em fase anterior à construção, etapa em que não foram adquiridos ou instalados os materiais a serem substituídos pelos módulos fotovoltaicos. Os edifícios selecionados para estudo estão finalizados e em uso, o que não invalida esta pesquisa, que assume uma direção hipotética e conveniente para a determinar as consequências, principalmente econômicas, do uso de um sistema fotovoltaico integrado à edifícios existentes na cidade de Cuiabá.

Para mensuração do consumo de energia no edifício e do custo da energia convencional, foram utilizadas as informações constantes em contas de energia elétrica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Seleção dos edifícios

Através do reconhecimento visual e levantamento fotográfico, foram selecionados seis edificações que atendiam os requisitos determinados.

Em uma segunda etapa, a de levantamentos das informações referentes ao projeto arquitetônico, buscou-se os setores responsáveis pela manutenção dos prédios e detentores dos projetos arquitetônicos e outros dados relevantes à pesquisa. O insucesso na obtenção de informações técnicas sobre os edifícios levou à limitação do estudo aos edifícios componentes do Conjunto do Tribunal Regional do Trabalho 23ª Região (TRT).

O TRT possui três blocos. Sendo o Prédio da Corte na qual estão localizadas as salas dos desembargadores e será chamado de “PC”. E possui mais dois blocos idênticos, a leste é Fórum Trabalhista, onde estão localizados os plenários, e do seu lado está toda a parte administrativa do Conjunto, na qual serão chamados de “PF”. O Conjunto está localizado no entroncamento da Avenida Historiador Rubens de Mendonça e Rua do Contorno Oeste.



Figura 1 - Localização TRT 23^a Região.
Fonte: Google Earth.



Figura 2 - Prédio da Corte (PC) - Fachada Norte, 242,20 m² de vidro em cada face.
Fonte: Luiz Eugênio Scomparin.



Figura 3 - Fachada sul do Prédio da Corte (PC).
Fonte: Luiz Eugenio Scomparin



Figura 4 - Prédio do Fórum Trabalhista a esquerda e o Administrativo a direita (PF).
Fonte: Luiz Eugenio Scomparin

4.2 Levantamento das áreas

Através da análise do projeto arquitetônico obtiveram-se as áreas de vidro que seriam estudadas, definindo-as como sendo as com maiores valores, continuas e livres de sombreamento projetados por qualquer anteparo.

O PC possui área envidraçada de 242,20 m² cada um dos quatro panos de vidro, totalizando 968,80 m². Sendo 484,4 m² a norte e 484,40 m² a sul. Já os prédios do PF possuem em suas fachadas principais (sudoeste e nordeste), ambas com 817,16 m² de área envidraçada. Totalizando 1.634,32 m². A área de fachada envidraçada do Conjunto do TRT tem 2.603,12 m².

4.3 Seleção da tecnologia fotovoltaica

A tecnologia das células fotovoltaicas escolhida foi a de silício amorfo hidrogenado, a-Si, que pode ser empregada em filmes finos sobrepostos em substratos de vidros ou outras superfícies e integrados aos edifícios. A tecnologia a-Si é o mais indicado para aplicações em superfícies verticais ou próximas disso, devido as suas características de conversão que implicam menos perdas, se comparadas às outras tecnologias, quando expostos à incidência de radiação solar difusa. O custo relativamente baixo, comparado ao silício cristalino, apesar de menor eficiência, foram decisivos para a escolha. Também foram considerados os fatos desta ser flexível, adaptando-se a superfície, de apresentar aparência estética mais atraente, de ser possível a confecção em modelos semitransparentes e o seu rendimento não sofrer grandes interferências devido ao aumento da temperatura (RÜTHER, 2004).

Nas linhas comerciais de módulos fotovoltaicos foram identificados dois produtos similares: a linha See Thru da fabricante Suntech apresenta transparência de 5 ou 10%, com dimensão padrão de 98 por 95 cm² e 50 e 42 Wp¹ (SUNTECH, 2008); o modelo ASI THRU - 30 - SG - módulo solar de filme fino semitransparente, 10% de transmissão, com dimensão padrão de 60 por 100 cm² e 27Wp, da fabricante alemão Schott Solar (SCHOTT SOLAR, 2009). Ambos produtos são montados em vidro laminado com espessura de 10 a 13,5mm e dimensões que variam de 0,6 a 1,2 m².

Para o trabalho foi selecionado o módulo ASI THRU 30 SG da Schott Solar.

Não existem produtos com esta tecnologia de fabricação nacional.

¹ Wp – Watt pico, unidade de potência empregada para energia fotovoltaica que expressa a produção de energia fotovoltaica para condições padronizadas de temperatura, pressão e radiação.



Figura 5a e 5b – módulo ASI THRU 30SG, modelo selecionado para o estudo. Fonte: Catálogo do fabricante.

Tal modelo possui potência nominal de 27Wp, rendimento em torno de 4,5% e área de 0,6m² por módulo.

No modelo ASITHRU-30-SG semitransparente adotado, a película foto-geradora já vem aplicada sobre um vidro laminado aumentado à segurança do Conjunto e dos usuários dos edifícios. Como especificações técnicas este possui potência nominal de 27 Wp, 0,60 m² de área e espessura de 10 mm. Os módulos fotovoltaicos selecionados possuem garantia de funcionamento a ao menos 80% de sua capacidade nominal pelo período de 20 anos, fornecida pela fábrica.

4.4 Quantificação da energia gerada

Como fonte de dados de índices da radiação utilizou-se do programa Radiasol, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que fornece dados a cerca da radiação incidente média diária sobre um plano medido em kWh/m²/dia.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico foi realizado em função da área envidraçada disponível em cada fachada considerada e da área do módulo fotovoltaico selecionado, como é mostrado a seguir:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Área da fachada}}{\text{Área do módulo}} \quad (\text{Eq.01})$$

A área do módulo escolhido é de 0,6m².

$$\text{Área útil} = \text{Número de módulos} \times \text{Área do módulo} \quad (\text{Eq.02})$$

O que resultou em 4336 módulos e 117.072Wp.

A conexão à rede de sistemas de produção de energia elétrica de pequeno porte, até 5MW, é permitida, mediante solicitação de registro, pela Resolução ANEEL 112/1999.

A quantidade de energia fotovoltaica gerada foi obtida em função da radiação média diária (kWh/m²/dia), da área útil onde serão instalados os módulos e da eficiência destes. Será aplicado ao resultado um multiplicador da produtividade de referência correspondente à perdas relativas à sujeira, conversão CC/CA, e outras que correspondem a 25% do rendimento ideal (ZILLES, 2009 e BENEDITO, 2009).

$$Ef_v = (\text{Área útil} \times Ef) \times Yr \times PR \quad (\text{Eq.03})$$

$$Ef_v = \text{Potência nominal} \times Yr \times PR \quad (\text{Eq. 04})$$

Onde Ef corresponde à eficiência do módulo, no caso igual a 4,5%; Yr corresponde ao número de horas de sol “pico” equivalentes, expressa pela relação entre a radiação global local média e a radiação à STC; e PR a produtividade de referência de sistemas em funcionamento, 0,75%.

Cabe ainda ressaltar que esses valores poderiam ser maximizados se fossem computadas áreas como de cobertura.

A fim de se definir o número de painéis a serem utilizados em cada superfície vítreas foram aplicadas as Eq.01 e Eq.02, obtendo-se para o PF 816,6m², 1361 módulos e 36.747Wp, para PC 484,2m², 807 módulos e 21.789Wp, para cada orientação.

A partir do programa Radiasol, foi fornecido para a inclinação de 69° e desvio azimutal de -7° para fachada mais a norte e 173° para a mais a sul, o valor da radiação média diária de 3,67kWh/m² e 2,53kWh/m² respectivamente para o PC. E para o PF, inclinação a 90° e desvio de 38° e -142° os valores de 2,58kWh/m² e 1,98kWh/m² respectivamente.

Tendo os valores da radiação média definidos, aplicou-se a eq.04.

Para o PC obteve-se os valores de geração fotovoltaica diária de 60kWh e 41,3kWh. Para o PF os valores de 71,1kWh e 54,5KWh.

A média diária de energia fotovoltaica gerada no Conjunto seria de 227KWh, a mensal de 6810KWh e anual de 81.720KWh.

4.5 Energia Elétrica Demandada

O histórico de consumo do Conjunto do TRT do ano de 2009 registra consumos máximos nos meses de abril com 250.350KWh, outubro com 220.857KWh e dezembro com 222.778KWh, com total de consumo no ano de 2.381.464KWh e uma média mensal de 198.455KWh consumidos.

O consumo de ponta representa 5% da energia consumida no Conjunto e 27,8% do valor da conta de energia elétrica.

A instalação de sistemas fotovoltaicos junto a alimentadores de áreas predominantemente comercial e de serviços contribui significativamente para a diminuição da demanda de ponta, pois a geração da energia fotovoltaica coincide com os horários de maior consumo nestas áreas (JARDIM, 2007). O horário definido como período de Consumo de Ponta para o Conjunto do TRT é de 17h30min às 20h30min, horário em que o recurso solar não está disponível, o que praticamente impossibilita a contribuição do sistema fotovoltaico.

4.6 Tarifas da Concessionária

A tarifação da energia elétrica para consumidores do Grupo A, consumidores de alta tensão, é diferenciada sazonalmente, com valores diferentes para a energia consumida nos horários de concentração da demanda e fora destes horários, denominados Consumo de Ponta e Consumo Fora de Ponta, e também para períodos de estiagem e de cheia.

Em dezembro de 2009 a tarifa praticada pela distribuidora local de energia elétrica para consumidores do Grupo A foi de R\$1,17/KWh para consumo de ponta e R\$0,17/KWh para consumo fora de ponta. São ainda cobrados na conta de energia deste grupo de consumidores taxa de demanda e reativo que correspondem a aproximadamente 16% do valor final da fatura de energia elétrica. Para totalização da fatura de energia elétrica são computados os impostos. Para o Conjunto do TRT, a tarifa calculada em função do consumo total e custo total faturado da energia consumida foi de R\$0,45/KWh em média, ou U\$0,24/KWh usando a cotação do Dólar divulgado pelo Banco Central do Brasil em 23/07/2009, de R\$1,89. A tarifa de ponta média faturada foi de tarifa média de consumo de ponta de U\$0,58/KWh.

A variação da tarifação em função do período de estiagem ou cheia, não é representativo no montante da fatura de energia elétrica do Conjunto do TRT.

O horário de Consumo de Ponta para o Conjunto corresponde das 17h30min às 20h30min.

4.7 Custo do Sistema Fotovoltaico

À partir de consultas realizadas aos representantes comerciais de fabricantes de módulos fotovoltaicos semi-transparentes de filme fino de silício amorfo com base de vidro laminado de 10mm de espessura, obteve-se valores entre 400 e 800 dólares americanos por metro quadrado de módulo, que resultou em U\$8 a U\$17/Wp. Adicionando ao valor dos módulos as tarifas incidentes para nacionalização, 12% de imposto de importação, 9,25% de Cofins e PIS, o valor mínimo resultante é de U\$10,7/Wp e U\$485/m². Os módulos fotovoltaicos são isentos de ICMS e IPI (BENEDITO, 2009).

Vale destacar que módulos de filme fino de silício amorfo opacos e com custo consideravelmente menor, U\$3,61/Wp, para módulos nacionalizados, poderiam ser empregados no sistema proposto, intercalados com painéis de vidro que garantiriam a incidência de luz natural no interior do edifício. Estes módulos apresentam a relação de U\$162/m², ou 66% menos que os módulos semi-transparentes.

Para conectar os arranjos de módulos fotovoltaicos, ou painéis fotovoltaicos, à rede de energia convencional seria necessário a instalação de inversores, o que aumentaria os custos em U\$0,72/Wp (BENEDITO, 2009) ou U\$32,4/m², o que resultaria em U\$84.292,84 para o sistema considerado.

A manutenção necessária para o sistema interligado à rede de energia convencional é calculado em 1% do custo de instalação (ZILLES, 2009).

Os painéis substituiriam as janelas convencionais dos edifícios, sendo as estruturas e mão de obra as mesmas necessárias para fixação dos vidros das janelas, sendo portanto desconsiderado este custo. Quanto aos serviços e materiais necessários para instalação elétrica dos módulos, considerou-se dissolvida nos custos da instalação elétrica do edifício, que hipoteticamente, estaria em fase de construção.

Para a instalação de um sistema com 117.072Wp com módulos fotovoltaicos opacos, seria necessário compor um painel com módulos fotovoltaicos intercalados por vidros laminados na proporção de 90% de módulos fotovoltaicos e 10% de vidro. O custo do sistema fotovoltaicos com módulos opacos nas janelas dos blocos dos edifícios considerados seria de U\$503.135,70.

O custo do sistema fotovoltaico com módulos semi-transparentes seria de U\$1.346.275,00.

O custo do vidro laminado refletivo com transparência similar aos módulos fotovoltaicos considerados, 10%, e com espessura de 10mm é de U\$180/m² (SAINT GOBAIN, 2010), o que resulta em um valor de U\$468.360,00 para a área de janela do Conjunto do TRT.

O custo substituído, ou seja, o custo do envidraçamento subtraído do custo do sistema fotovoltaico, seria de U\$877.914,00 para os módulos semi-transparentes e U\$34.775,73 para os módulos opacos.

O custo do sistema fotovoltaico com módulos semi-transparentes e com módulos opacos representa respectivamente um acréscimo de 182,38% e de 7,43% sobre os custos de instalação de janelas com vidro laminado de 10% de transparência.

4.8 Tarifa equivalente da energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica em sistemas BIPV apresenta um custo irrisório de operação e manutenção, sendo por vezes desprezado (ANEEL, 2004), ou estabelecido como 1% do custo de instalação do sistema (ZILLES, 2009), o aporte de recurso financeiro para sistemas fotovoltaicos fica concentrado na aquisição e instalação do sistema, como mencionado anteriormente.

Para o cálculo do custo mensal da energia fotovoltaica para o fim de comparação com o custo da energia elétrica fornecida pela concessionário de distribuição, é necessário determinar o Fator de Capacidade do sistema (ZILLES e OLIVEIRA, 2001 apud BENEDITO, 2009), que representa a energia efetivamente produzida pelo sistema em relação à capacidade instalada. A taxa de desconto referente ao custo de oportunidade será adotada como 5%, aproximadamente o rendimento da poupança.

A Resolução ANEEL 112/1999 que autoriza a conexão à rede de sistemas geradores de eletricidade de pequeno porte, permite que a concessionário cobre uma taxa pela utilização da rede de distribuição. A distribuidora de energia elétrica local não disponibilizou informações sobre os valores da taxa pois não é corrente sua cobrança. A taxa foi desprezada na determinação da tarifa da energia fotovoltaica neste estudo.

Para o Conjunto do TRT os fatores de capacidade para as fachadas -7° e 173° do PC seriam respectivamente de 11,5% e 7,9%; para o PF, fachada 38° e fachada -142°, os valores de fator de capacidade seriam respectivamente 8% e 6,2%. O fator de capacidade médio para o sistema seria de 8,4%. Para sistemas fotovoltaicos instalados na inclinação ótima para Cuiabá, o fator de capacidade poderia atingir 16,8%, o que representaria um ganho de 50% na energia fotovoltaica média gerada no Conjunto e 63% para a fachada menos produtiva.

A tarifa equivalente da energia gerada no sistema fotovoltaico com módulos opacos do PC seria de U\$0,14/KWh para a fachada -7° e U\$0,17/KWh para a fachada 173°. Para o edifício do PF, as tarifas equivalentes da energia fotovoltaica seriam de U\$0,23/KWh para a fachada 38° e de U\$0,28/KWh para a fachada -142°. A tarifa média para o sistema com módulos opacos é de \$0,20/KWh, 13% menor que a tarifa média total de U\$0,23/KWh e 65,6% menor que a tarifa média de consumo de ponta convencional de U\$0,58/KWh.

A energia fotovoltaica gerada corresponde a 3,5% do consumo total no Conjunto do TRT e 66,2% do consumo de ponta no Conjunto.

A tarifa média para o sistema com módulos semi-transparente é U\$3,32/KWh.

Caso não fosse utilizado o custo substituído, a tarifa média da energia fotovoltaica do sistema com módulos opacos seria de U\$1,93/KWh, 232% acima da tarifa média de consumo de ponta.

4.9 Custo energia fotovoltaica x custo energia convencional

O custo substituído da instalação de sistema fotovoltaico nos 2602m² de janela dos blocos de edifícios estudados custaria U\$877.914,00 para os módulos semi-transparentes e U\$34.775,73 para os módulos opacos.

O custo total de instalação das janelas fotovoltaicas semi-transparentes representa um acréscimo de 182,38% sobre o custo de instalação de janelas de vidro laminado refletivo. O custo total de instalação das janelas fotovoltaicas opacas intercaladas por vidro na proporção de 10% representa um acréscimo de 7,43% sobre o custo das janelas de vidro laminado refletivo.

Os 2602m² de janelas fotovoltaicas dos blocos geraria 227KWh/dia, o que representa 3,5% do consumo no Conjunto do TRT e 66,2% do consumo de ponta no Conjunto.

A tarifa da energia fotovoltaica média para o sistema com módulos opacos é de U\$0,20/KWh, 13% menor que a tarifa média de U\$0,23/KWh cobrada pela concessionária de distribuição de energia elétrica e 65,6% menor que a tarifa média de consumo de ponta de U\$0,58/KWh.

Em caso de considerar-se a tarifa de consumo de ponta, a tarifa fotovoltaica média de U\$0,20/KWh equivaleria a 34,4% da tarifa média de consumo de ponta de U\$0,58/KWh. A geração fotovoltaica é coincidente com o período de maior consumo em edifícios comerciais com elevado consumo de aparelhos de condicionamento de ar, como no caso do Conjunto do TRT.

A economia gerada pelo uso dos sistemas fotovoltaicos corresponde a US\$1.634,40/mês para a tarifa média total da energia convencional de U\$0,24/KWh e U\$3.949,80 para a tarifa média de consumo de ponta de U\$0,58/KWh.

Desconsiderando taxas de juros e outros componentes para análise econômica e usando apenas a divisão do custo pela economia gerada, o retorno do investimento no sistema fotovoltaico com módulos opacos seria de 22 meses para a tarifa média total e de 9 meses para a tarifa média de consumo de ponta.

A eficiência dos módulos fotovoltaicos é garantida por 20 anos. Considerando apenas o número de meses de funcionamento garantido dos módulos e os meses necessários para o pagamento do investimento no sistema em uma análise simplificada, o lucro gerado pelo sistema fotovoltaico seria de U\$348.640,00 para tarifa média total e de U\$932.098,65 para tarifa média de consumo de ponta.

Tabela 1 – Custos, geração de energia fotovoltaica e retorno do investimento

tarifa média faturada (U\$/KWh)	0,24	garantia do módulos (meses)	240
energia FV gerada (KWh/dia)	227	consumo de energia evitado por mês (KWh)	1.634
energia FV gerada (KWh/mês)	6.810	tempo de retorno (meses)	22
custo de instalação do sistema FV opaco	34.775	lucro (U\$)	356.300

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÃO FINAL

No caso estudado, as fachadas não têm a inclinação ou orientação mais adequada indicada para painéis fotovoltaicos, o que implica em perdas de geração da ordem de até 63%. Mesmo com todas as perdas mencionadas considerando-se os custos da substituição dos vidros laminados pelos módulos fotovoltaicos durante a fase de construção do edifício e os custos de instalação do sistema fotovoltaico englobados nos custos da construção, a **tarifa média da energia fotovoltaica é menor que a tarifa média da energia fornecida pela rede** e a instalação do sistema fotovoltaico representou um acréscimo de apenas 7,43% do custo de instalação dos vidros das janelas.

O emprego dos sistemas fotovoltaicos é, já nos dias atuais, mesmo sem equipamentos nacionais, financeiramente viável para edifícios públicos com grandes áreas envidraçadas na cidade de Cuiabá desde que substitua elementos construtivos como vidros de janelas ou grandes painéis em orientações adequadas e sem sombreamento.

O método empregado no estudo para análise da viabilidade de implantação de sistema fotovoltaico com módulos semi-transparentes de filme fino de silício amorfo considera somente os custos diretos do sistema e o custo da energia elétrica convencional vendida pela concessionária de energia que

atende a região, sem valorar custos ambientais diretos e indiretos, pois a oneração da degradação ambiental não é corrente e suas bases são ainda insuficientemente definidas. Certamente que, o incremento no grau de sustentabilidade ambiental alcançado através do emprego da geração fotovoltaica não está representado nos custos observados e se fossem, seria irrisório o custo do sistema fotovoltaico em comparação ao sistema convencional, que apesar do grande aporte de energia hidrelétrica, recebe contribuições de energia nuclear e termoelétrica para atender o aumento da demanda.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Relatório de tarifas médias por classe de consumo e região. ANEEL, 2009. Disponível em www.aneel.gov.br, acesso em 11/2009.
- BENEDITO, R. da S. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil , sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. São Paulo: USP, 2009. Dissertação.
- GOLDEMBERG, J. e VILLANUEVA, L. D. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2 ed. revista. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
- JARDIM, C. S. A Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Alimentadores Urbanos Enfocando a Redução do Pico de Demanda Diurno. Florianópolis: UFSC, 2007. Tese.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, Eletrobrás, Cepel. Energia Solar Fotovoltaica: Estágio atual e perspectivas, Congresso Internacional de Energia Renovável - CIER, Recife, agosto de 2003, arquivo digital em pdf disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>, acesso em 10/07/2004.
- RÜTHER, R. Edifícios solares fotovoltaicos. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004.
- REIS, L. B. dos e SILVEIRA, S. (orgs). Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável. 2 ed., São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- SALAMONI, I.; MONTENEGRO, A.; RÜTHER, R. A paridade tarifária da energia solar fotovoltaica para a próxima década no Brasil e a importância de um mecanismo de incentivo. In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E III CONFERÊNCIA REGIONAL LATINO-AMERICANA DA ISES – II CBENS 2008, Florianópolis. Anais...
- SAINT GOBAIN. Comunicação por telefone com o representante de vendas para o Estado de Mato Grosso em 01/2010.
- SANTOS, I. P.. Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em Edificações Residenciais e sua Contribuição em um Alimentador de Energia de Zona Urbana Mista. Florianópolis: UFSC, 2009. Dissertação.
- SCHOTT SOLAR. ASI Glass – Integrated Architecture. Arquivo digital em pdf disponível em <http://www.schottsol.com/global/products/bipv/schott-asi-glass.html>, acesso em 15/02/2009.
- SUNTECH. MSK See Thru. Arquivo digital em pdf disponível em http://www.suntech-power.com/products/docs/catalogs/MSK_SeeThru_EN_v3_28Oct2008_lo.pdf, acesso em 10/11/2008.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS, Laboratório de Energia Solar. Radiasol. Software gratuito disponível em <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>, acesso em 30/10/2008.
- ZILLES, R.. Aula 7. Workshop BIPV – Building Integrated Photovoltaic. Florianópolis: UFSC, 02 a 06 de outubro de 2009. Disponível em www.cti.gov.br/workshop_bipv/. Acesso em 01/2010.