

VIABILIDADE ECONÔMICA E ENERGÉTICA DE JANELAS FOTOVOLTAICAS: ESTUDO DE CASO PARA CUIABÁ

Alexandre Silveira, UNIFAL, alesilveira72@gmail.com

Andrea Paula Ferreira, UNIFAL, E-mail: andrepaulaferreira@unifal-mg.edu.br

Luiz Eugênio Scomparin, Universidade Federal do Mato Grosso, lescomparin@gmail.com

João André Contreras Braga, UNIFAL, E-mail: joao_andre_15@hotmail.com

Resumo: O objetivo deste trabalho é determinar as possibilidades do emprego de janelas fotovoltaicas integradas à fachada de edifício comercial com arquitetura representativa existente na cidade de Cuiabá, Estado de Mato Grosso, considerando o potencial de geração de energia e a viabilidade econômica. Após seleção da região da cidade com maior número de edifícios comerciais com grandes áreas de fachada envidraçada, foram escolhidos os edifícios que compõem a sede do Tribunal Regional do Trabalho (TRT) como objeto de estudo. Foram determinados os potenciais de geração fotovoltaica para dois tipos de módulos fotovoltaicos que poderiam substituir os painéis de vidros das fachadas do edifício. Os custos do sistema fotovoltaico foram determinados com a aplicação do método dos custos substituídos para *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV). Com base no valor da tarifa vigente de energia elétrica paga pelo consumidor, no custo do sistema fotovoltaico e no potencial de geração fotovoltaica, foi calculada a tarifa equivalente da energia fotovoltaica para cada fachada do edifício e comparada com a tarifa paga pelo consumidor. 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 apenas 7% maior que o da instalação de janelas de vidro, o que permite concluir que a opção de instalação de painéis fotovoltaicos é viável econômica e energeticamente, maximizando a eficiência energética do edifício

Palavras-chave: *BIPV – Building Integrated Photovoltaic; Energia fotovoltaica; Arquitetura fotovoltaica; Energias renováveis.*

ENERGY AND ECONOMIC VIABILITY OF PHOTOVOLTAIC WINDOWS: CASE STUDY FOR CUIABÁ

Abstract: The paper's objective is to determine the possibilities of the use of photovoltaic windows integrated in facade of the trade buildings with representative architecture in the Cuiaba City, considering the potential of power generation and replaced costs. After selection of the city region with the largest number of commercial buildings with large areas of glass facade, the TRT's headquarters was selected as study object. Were determined the potential of photovoltaic generation for two types of photovoltaic modules that could replace the glass panels of the building facades. The system PV cost were determined by applying the cost method for BIPV's replaced. Based on the value of the electricity tariff paid by the consumer, the cost of the photovoltaic system and the potential for photovoltaic generation, tariff equivalent was calculated for each of the photovoltaic facade of the building and compared with the fare paid by the consumer. The buildings selected for the study have large areas of glass facades with appropriate conditions to receive photovoltaic panels, which would generate approximately 3.5% of energy consumed annually with cost 7% higher than the glass windows installation, allowing conclude that photovoltaic panels installation is economic and energy viable, maximizing the efficiency of the building.

Keywords: *BIPV – Building Integrated Photovoltaic; Energia fotovoltaica; Arquitetura fotovoltaica; Energias renováveis.*

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas evidenciam 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, p. 76).

A conversão fotovoltaica é considerada por alguns autores como uma das mais desejadas fontes 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, p. 61); “[...] é essencial promover o uso de tecnologias solares, que são renováveis por natureza.” (GOLDEMBERG e VILLANUEVA, 2003, p. 207).

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, ampliando a sustentabilidade e a eficiência energética, agregando valores aos edifícios.

Apesar das qualidades apontadas e vantagens da geração fotovoltaica, um dos grandes entraves para a popularização da tecnologia é o alto custo de implantação dos sistemas. Entretanto, pesquisas 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, foram quantificados neste estudo a geração de energia e os custos envolvidos na implantação de um sistema fotovoltaico interligado à rede com módulos fotovoltaicos transparentes e opacos, substituindo janelas de edifícios públicos que funcionam em horário comercial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho considerou-se edifícios comerciais, como objeto de estudo, devido à coincidência entre o pico de consumo de energia elétrica nestes edifícios e os horários de maior intensidade de radiação solar.

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

Foram selecionados três edifícios que compõem o conjunto de edifícios sede do Tribunal Regional do Trabalho. Os edifícios selecionados apresentam significativa área vítrea 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 semitransparentes 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.

A determinação dos dados de radiação foi feita utilizando-se o programa computacional gratuito Radiasol (UFRGS, 2008) e para determinação dos preços de mercado dos módulos fotovoltaicos, foram consultados os representantes comerciais das indústrias (BENEDITO, 2009).

Na definição do custo de instalação do sistema fotovoltaico em substituição às 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.

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

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção dos edifícios

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

O conjunto do TRT possui três blocos: o edifício da Corte, o edifício dos Plenários e o edifício do Fórum Trabalhista conforme indicado nas Figuras 1 a 4.

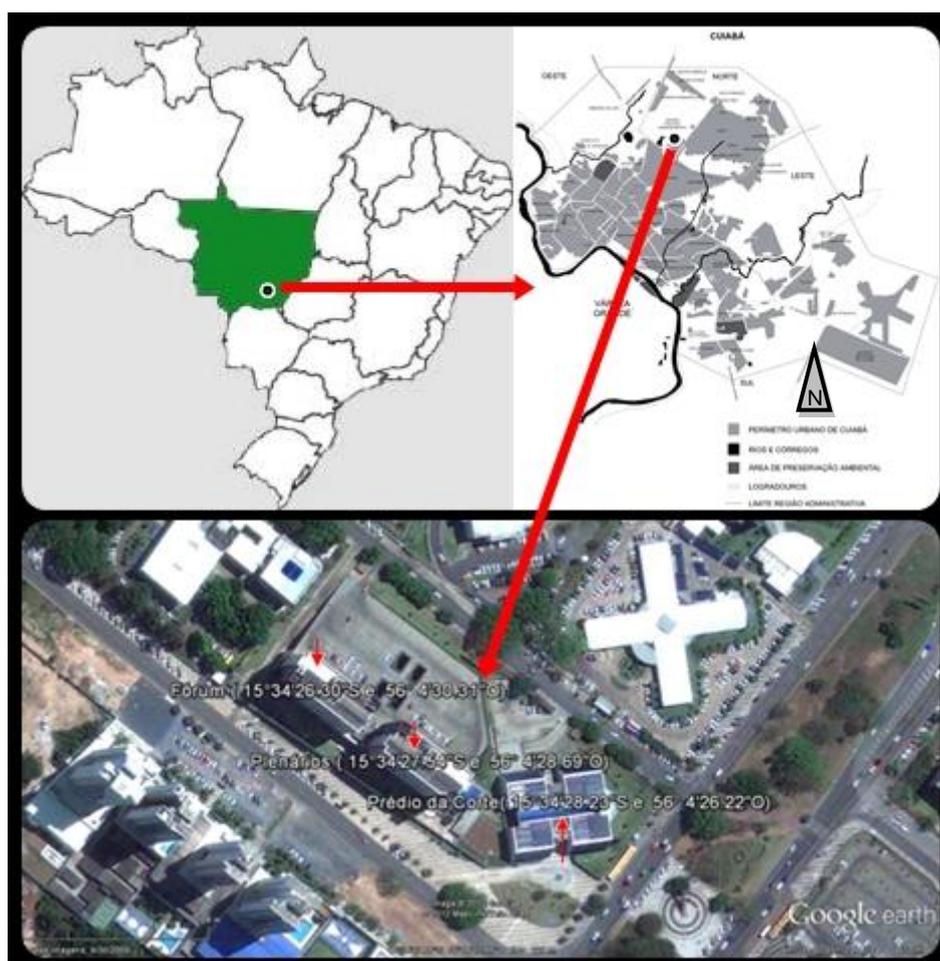


Figura 1 - Localização TRT 23ª Região.

Fonte: Google Earth®



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



Figura 3 - Fachada sul do Prédio da Corte
Fonte: Luiz Eugenio Scomparin



Figura 4 - Prédio do Fórum Trabalhista à esquerda e o dos Plenários à direita
Fonte: Luiz Eugenio Scomparin

3.2 Levantamento das áreas

Através da análise do projeto arquitetônico obtiveram-se as áreas de vidro estudadas. O prédio da Corte possui área total envidraçada de 968,8 m², sendo 242,2 m² para cada um dos quatro panos de vidro. Portanto 484,4 m² a norte e 484,4 m² a sul. Os prédios dos Plenários e do Fórum possuem em suas fachadas principais (sudoeste e nordeste), 817,2 m² de área envidraçada, totalizando 1.634,4 m². A área de fachada envidraçada do Conjunto do TRT totaliza 2.603,2 m².

3.3 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 a mais indicada para aplicações em superfícies verticais ou próximas disso, devido às 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, foi decisivo para a escolha. Também foi relevante para a escolha, a menor sensibilidade do rendimento dos módulos a-Si ao aumento da temperatura e a disponibilidade comercial de módulos a-Si semitransparentes (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 27 Wp, do fabricante alemão Schott Solar (SCHOTT SOLAR, 2009). Ambos os produtos são montados em vidro laminado com espessura de 10 a 13,5 mm 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.



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

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

No modelo ASITHRU-30-SG semitransparente adotado, a película foto-geradora já vem aplicada sobre um vidro laminado aumentando 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.

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.

Os módulos fotovoltaicos selecionados possuem garantia de funcionamento de no mínimo 80% de sua capacidade nominal pelo período de 20 anos, fornecida pelo fabricante.

3.4 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:

$$\text{Número de Módulos} = \text{Área da Fachada} \div \text{Área do Módulo} \quad (01)$$

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

$$\text{Área Útil} = \text{Número de Módulos} \cdot \text{Área do Módulo} \quad (02)$$

O que resultou em 4336 módulos e 117.072 Wp.

A conexão à rede de sistemas de produção de energia elétrica de pequeno porte, até 5 MW, 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 às perdas relativas à sujeira, conversão CC/CA, e outras que correspondem a 25% do rendimento ideal (ZILLES, 2009 e BENEDITO, 2009).

$$E_{fv} = (\text{Área Útil} \cdot E_f) \cdot Y_r \cdot PR \quad (03)$$

$$E_{fv} = \text{Potência Nominal} \cdot Y_r \cdot PR \quad (04)$$

Em que E_f corresponde à eficiência do módulo, no caso igual a 4,5%; Y_r 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 vítrea foram aplicadas as equações 01 e 02, obtendo-se para os 817,2 m² do prédio do Fórum, igualmente para o prédio das Plenárias, 1361 módulos e 36.747 Wp. Para o prédio da Corte os valores resultaram em 484,2 m², 807 módulos e 21.789 Wp, para cada orientação.

A partir do programa computacional 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 prédio da Corte. Para os prédios do Fórum e das Plenárias, de fachada envidraçada com inclinação de 90° e desvio de 38° e -142°, os valores obtidos foram respectivamente 2,58kWh/m² e 1,98kWh/m².

Com os valores da radiação média definidos, aplicou-se a equação 04.

Para o prédio da Corte obteve-se os valores de geração fotovoltaica diária de 60 kWh e 41,3 kWh. Para o Prédio do Fórum os valores de 71,1 kWh e 54,5 kWh.

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

3.5 Energia Elétrica Demandada

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

3.6 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 a 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.

3.7 Custo do Sistema Fotovoltaico

A partir de consultas realizadas junto aos representantes comerciais de fabricantes de módulos fotovoltaicos semitransparentes de filme fino de silício amorfo com base de vidro laminado de 10 mm de espessura, obteve-se valores comerciais entre 400 e 800 dólares americanos por metro quadrado de módulo, incluídos os custos de frete, que resultou em U\$8 a U\$17/Wp.

Adicionando ao valor dos módulos as tarifas incidentes para nacionalização, 12% de imposto de importação e 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 semitransparentes.

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

A manutenção necessária para o sistema interligado à rede de energia convencional é calculada 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, portanto, desconsidera-se este custo.

Quanto aos serviços e materiais necessários para instalação elétrica dos módulos fotovoltaicos, considerou-se dissolvidos nos custos da instalação elétrica do edifício, que hipoteticamente, estaria em fase de construção.

Para a instalação de um sistema com 117.072 Wp 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 fotovoltaico com módulos opacos nas janelas dos blocos dos edifícios considerados seria de U\$503.135,70.

O custo do sistema fotovoltaico com módulos semitransparentes 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 10 mm 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 semitransparentes e U\$34.775,73 para os módulos opacos.

O custo do sistema fotovoltaico com módulos semitransparentes 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.

3.8 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), assim 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 a fim de comparação com o custo da energia elétrica fornecida pela concessionária 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 concessionária 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 Prédio do Fórum, 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/KWh² para a fachada -7° e U\$0,17/KWh para a fachada 173°. Para o edifício Prédio do Fórum, 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 semitransparente 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.

3.9 Custo energia fotovoltaica x custo energia convencional

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

O custo total de instalação das janelas fotovoltaicas semitransparentes 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 2602 m² de janelas fotovoltaicas dos blocos gerariam 227 KWh/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.

² Conversão da tarifa de Real para Dólar Americano usando cotação divulgada pelo Banco Central do Brasil em 23/07/2009, sendo U\$1,00 igual à R\$1,89.

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 U\$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 (R\$/KWh)	0,45
Tarifa média faturada (U\$/KWh)	0,24
Energia FV gerada (KWh/dia)	227
Energia FV gerada (KWh/mês)	6.810
Custo de instalação do sistema FV opaco	34.775
Garantia do módulos (meses)	240
Consumo de energia evitado por mês (KWh)	1.634
Tempo de retorno (meses)	22
Lucro (U\$)	356.300

4. CONCLUSÕES

No caso estudado, as fachadas não têm a inclinação ou orientação mais 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, 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 semitransparentes 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 termoeletrica para atender o aumento da demanda.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Relatório de tarifas médias por classe de consumo e região. 2009. Disponível em: < www.aneel.gov.br >. Acesso em: dez. 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. 2002. Dissertação – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GOLDEMBERG, J. ;VILLANUEVA, L. D. Revista Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. 2 ed. 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. 2007. Tese – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2007.

RÜTHER, R. Edifícios solares fotovoltaicos. 2004. Editora UFSC/LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

REIS, L. B. dos e SILVEIRA, S. (orgs). Revista Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável. 2ª edição. 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.

SAINT GOBAIN. Comunicação por telefone com o representante de vendas para o Estado de Mato Grosso em Janeiro de 2010.

SANTOS, I. P.. Integração de Painéis Solares Fotovoltaicos em Edificações Residenciais e sua Contribuição em um Alimentador de Energia de Zona Urbana Mista. 2009. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Florianópolis, 2009.

SCHOTT SOLAR. ASI Glass – Integrated Architecture. Arquivo digital em pdf. Disponível em: <<http://www.schottsolar.com/global/products/bipv/schott-asi-glass.html>>. Acesso em: Fev.2009.

SUNTECH. MSK See Thru. Disponível em: <http://www.suntech-power.com/products/docs/catalogs/MSK_SeeThru_EN_v3_28Oct2008_lo.pdf>. Acesso em: 10 Nov. 2008.

UFRGS, Laboratório de Energia Solar. Radiasol. Software gratuito disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>> Acesso em: 30 Out. 2008.