

## **ESTUDO DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO NA IMPLANTAÇÃO DE DIFERENTES SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS NA ZB 2**

**Isabel Piúma Gonçalves (1); Eduardo Grala da Cunha (2); Paulo Afonso Rheingantz (3)**

(1) Mestranda, Arquiteta e Urbanista, isabelpiumag@hotmail.com, PROGRAU - UFPEL, Rua Benjamin Constant, nº 1359 – Pelotas/RS, (53)32845500

(2) Doutor, Prof. Arquiteto e Urbanista, eduardogralacunha@yahoo.com.br, PROGRAU - UFPEL, Rua Benjamin Constant, nº 1359 – Pelotas/RS, (53)32845500

(3) Doutor, Prof. Arquiteto e Urbanista, parheingantz@gmail.com, PROGRAU - UFPEL, Rua Benjamin Constant, nº 1359 – Pelotas/RS, (53)32845500

### **RESUMO**

A discussão sobre fontes limpas de geração de energia é um tema atual e relevante no contexto nacional, valorizando e justificando pesquisas que incentivam e demonstram a aplicação de sistemas de geração de energia limpa, divulgando os seus custos e respectivas análises econômicas. Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo averiguar a relação custo-benefício da implantação de painéis fotovoltaicos na cobertura e na fachada de um edifício de escritórios em altura na cidade de Pelotas, zona bioclimática brasileira 2, a partir da simulação computacional e da análise econômica do investimento. As estratégias metodológicas propostas envolvem a revisão de literatura, caracterização do objeto de estudo, dimensionamento e escolha dos módulos fotovoltaicos, simulação computacional dos sistemas de geração de energia fotovoltaica, análise econômica dos investimentos, compilação dos resultados e redação final. Uma das principais conclusões obtidas com essa pesquisa é a análise do retorno do investimento (*payback*) dos sistemas de geração de energia fotovoltaicos, considerando duas situações diversas: painéis implantados na cobertura e os painéis nas fachadas. Nesse sentido, o estudo de caso apresentou-se indubitavelmente vantajoso quando os painéis são instalados na cobertura, apresentando um tempo de retorno do investimento de 18,38 anos (*payback* simples) e inviável financeiramente quando testados nas fachadas, com um tempo de retorno de 66,83 anos (*payback* simples).

Palavras-chave: geração fotovoltaica, simulação computacional, análise econômica.

### **ABSTRACT**

The discussion on clean sources of energy generation is a current and relevant topic in the national context, valuing and justifying research that encourages and demonstrates the application of clean energy generation systems, disclosing their costs and respective economic analysis. In this context, the purpose of this study is to investigate the cost-effectiveness of the installation of photovoltaic panels in the roof and facade of a high-rise office building in the city of Pelotas, Brazilian bioclimatic zone 2, based on computational simulation and economic analysis of investment. The proposed methodological strategies involve the literature review, characterization of the study object, design and choice of photovoltaic modules, computational simulation of photovoltaic energy generation systems, economic analysis of investments, compilation of results and final writing. One of the main conclusions obtained with this research is the analysis of the payback of photovoltaic systems, considering two different situations: panels implanted on the roof and panels on the facades. In this sense, the case study was undoubtedly advantageous when the panels were installed on the roof, presenting a return on investment of 18,38 years (simple payback) and not financially feasible when tested on the facades, with a return time of 66,83 years (simple payback).

Keywords: photovoltaics, computer simulation, economic analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o *Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century* (REN21, 2016), o setor energético mundial experimentou recentemente o maior aumento anual de capacidade, com crescimento acentuado em todas as regiões. A energia eólica e a solar fotovoltaica tiveram ganhos recordes pelo segundo ano consecutivo, representando 77% das novas instalações e a energia hidrelétrica obteve a maior parte restante. De acordo com os indicadores de energias renováveis (REN21, 2016), em 2014 verificou-se a geração de 177 GW de energia solar fotovoltaica e no ano de 2015, a capacidade de geração de energia aumentou para 227 GW.

No contexto nacional, devido à privilegiada incidência de radiação solar, o Brasil tem um potencial extraordinário para aproveitamento e geração de energia fotovoltaica. De acordo com o relatório síntese do Balanço Energético Nacional (EPE, 2016), em 2015 a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira ficou entre as mais elevadas do mundo. Entretanto, a energia solar ainda representa uma parcela muito pequena das fontes renováveis utilizadas na matriz elétrica brasileira, com representatividade nula no ano de 2014 (0%) e 0,01% no ano de 2015. A geração de energia elétrica proveniente da fonte solar representou apenas 59 GWh no ano de 2015, de uma geração total de 581.486 GWh, e 16 GWh no ano de 2014, em relação a um total de 590.542 GWh. Em relação à micro geração de energia, a fonte solar registrou a produção de 20 GWh no ano de 2015. Com a ascendente necessidade de geração de energia por fontes limpas e renováveis e eficiência energética das edificações, o estudo sobre sistemas fotovoltaicos além de pertinente torna-se emergencial tanto no âmbito da comunidade acadêmica como no mercado da construção civil.

A partir da Crise do Petróleo a preocupação com a eficiência energética das edificações desencadeou a necessidade de mudança de paradigmas a respeito do consumo de energia. No Brasil, essa questão adquiriu maior relevância após o “Apagão” em 2001.

Em 2001, o Brasil apresentou déficit entre geração e consumo de energia elétrica tendo culminado no maior racionamento de energia elétrica da história do país, em termos de abrangência e redução de consumo, tendo duração de junho de 2001 a fevereiro de 2002, resultou em uma acentuada queda no consumo de energia elétrica, influenciando direta ou indiretamente em todos os setores da economia brasileira (BARDELIN, 2004, p. 15).

Em abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) aprovou a Resolução Normativa nº 482, possibilitando a micro geração ou a mini geração de energia elétrica e o uso do sistema de compensação de energia com a concessionária local (*net metering*). Essa estratégia serve como incentivo à instalação dos sistemas fotovoltaicos, tornando-os ainda mais atrativos do ponto de vista econômico. Além da possibilidade da edificação gerar sua própria energia, o sistema fotovoltaico permite que o edifício produza mais do que consome, criando “créditos” com a concessionária de energia. Caso a geração de energia fotovoltaica seja maior que o consumo, o excedente passa a ser injetado na rede elétrica. Em contrapartida, quando o consumo é maior que a geração de energia fotovoltaica, a energia utilizada provém da concessionária de rede elétrica. Assim, o valor da fatura de energia a ser pago corresponde ao balanço entre a energia produzida injetada na rede e a energia elétrica consumida oriunda da concessionária local.

No mês de dezembro de 2015, o Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (PROGD), com o objetivo de impulsionar o desenvolvimento da geração de energia distribuída, com base em fontes renováveis, nas edificações residenciais, industriais, comerciais e escolares. Dentre as principais medidas propostas pelo Programa, destacam-se: o apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com recursos e taxas atrativas para obras que visam a eficiência energética e a geração distribuída de energia em hospitais e escolas federais; o estudo sobre a possibilidade de venda da energia excedente produzida por fontes renováveis no mercado livre de energia; incentivos às indústrias de produção de equipamentos e tecnologias utilizadas na geração de energia por fontes renováveis; entre outras.

Em março de 2016, novas políticas públicas foram implementadas com o intuito de estimular a geração de energia por fontes renováveis. Uma dessas medidas consiste na isenção de alguns encargos como PIS/Cofins e ICMS, onde o consumidor só precisa pagar o montante relativo à diferença entre a energia consumida e a energia gerada. Além disso, foi criada a expressão “geração compartilhada”, que funciona como uma cooperativa onde a energia produzida é descontada das faturas dos seus membros. Outra alteração importante ocorrida em março de 2016, é a mudança na validade dos créditos de trinta e seis meses para sessenta meses.

Em relação à energia solar, um sistema fotovoltaico completo é constituído por módulos (painéis solares), baterias, inversores, além dos componentes necessários para fixação dos painéis e controle do

sistema. O sistema fotovoltaico apresenta diversas vantagens, entre elas, a baixa manutenção, a possibilidade de instalação de baixa potência (W) até elevadas potências (GW) e a sua característica modular, possibilitando a ampliação do sistema conforme a necessidade.

A tecnologia fotovoltaica integrada à edificação apresenta-se como uma opção inteligente de geração energética próximo ao ponto de consumo, não ocupando área extra e não interferindo negativamente no entorno em que se encontra. Pelo contrário, a utilização dessa tecnologia, tanto sobreposta à estrutura existente quanto sendo o próprio material de vedação, só acrescenta valor estético à edificação. Arquitetos com visão compreendem que o objetivo do bom projeto não é simplesmente criar um edifício esteticamente agradável – os edifícios do futuro devem ser ambientalmente responsáveis também (SICK; ERGE, 1996, apud ZOMER, 2008, p. 94).

Entre as principais vantagens do sistema, está a sua versatilidade, que possibilita que seja instalado em coberturas, claraboias, fachadas, brises e até mesmo nos vidros, maximizando assim as possibilidades para o projeto de novas edificações e permitindo a implantação em edificações existentes.

Assim, os sistemas de geração de energia fotovoltaicos configuram excelentes estratégias para “retrofit” de edifícios existentes, possibilitando a obtenção de edificações mais eficientes energeticamente dentro do contexto urbano já edificado. Entretanto, ainda existe uma grande barreira cultural em relação ao preço dessa tecnologia, pois embora os valores já tenham diminuído consideravelmente, o sistema fotovoltaico ainda é reconhecido pelos custos elevados. Dessa forma, é imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que demonstrem a relação custo-benefício desse investimento em diferentes cenários urbanos, desmistificando e incentivando o uso de fontes limpas e alternativas de geração de energia.

Pereira et al. (2006) desenvolveram o Atlas Brasileiro de Energia Solar, onde demonstram a grande potencialidade do Brasil como gerador de energia solar fotovoltaica. Nesse estudo foram apresentados os valores de irradiação solar global incidente em todo o território brasileiro durante o ano, além de comparações com outros países desenvolvidos que apresentam valores de irradiação solar inferiores e maiores incentivos à geração de energia solar.

Os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1500-2500 kWh/m<sup>2</sup>) são superiores aos da maioria dos países da União Européia, como Alemanha (900-1250 kWh/m<sup>2</sup>), França (900-1650kWh/m<sup>2</sup>) e Espanha (1200-1850 kWh/m<sup>2</sup>), onde projetos para aproveitamento de recursos solares, alguns contando com fortes incentivos governamentais, são amplamente disseminados (PEREIRA et al., 2006, p. 31).

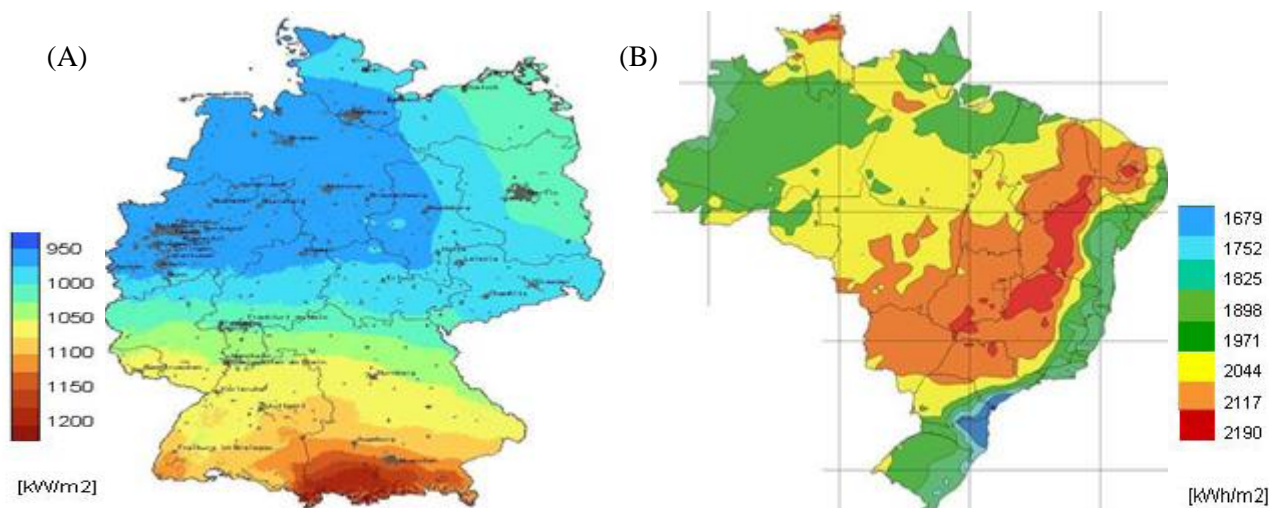


Figura 1: Mapas da irradiação solar na Alemanha (A) e irradiação solar no Brasil (B) (RÜTHER et al., 2013)

Com o extraordinário potencial do Brasil para geração de energia solar, o desenvolvimento e a difusão dessa tecnologia vem crescendo a olhos vistos, mas ainda há muito a ser explorado e aperfeiçoado. Além das condições climáticas locais que propiciam o uso de sistemas fotovoltaicos, é importante salientar pesquisas que apresentam as vantagens e especificidades dessa tecnologia.

Ruther (2004) expõe uma série de vantagens para o sistema elétrico provenientes da instalação de painéis solares fotovoltaicos integrados ao sistema de distribuição. Dentre elas, destacam-se: diminuição das perdas por transmissão e distribuição de energia; redução dos custos com linhas de transmissão e distribuição; além dos geradores fotovoltaicos apresentarem mínima capacidade ociosa de geração de energia, quando estrategicamente distribuídos.

Vartiainen et al. (2015) descrevem importantes questões relacionadas à energia fotovoltaica no contexto europeu, dentre elas o valor do sistema. Segundo o estudo, divulgado pelo “*European Technology and Innovation Platform Photovoltaics*”, o preço dos módulos fotovoltaicos diminuiu abruptamente nos últimos anos. Entre os anos de 2008 e 2012, o preço médio de venda apresentou uma queda de quase 80%. Ademais, o aumento do volume de mercado vem tornando o processo mais eficiente e reduzindo os custos.

Ferreira (2009) estuda as variações na produtividade de energia solar em função da orientação solar, de eventuais sombreamentos e ângulo de inclinação dos painéis, latitude e irradiação solar local e sugere uma análise preliminar antes da escolha do local para implantação dos painéis.

Apolônio (2014) pondera que o avanço tecnológico dos sistemas fotovoltaicos, aliado aos grandes investimentos de alguns países como a Alemanha, Japão, China, Itália, entre outros, vem tornando a energia solar cada vez mais acessível, com a queda dos preços para obtenção e manutenção dos sistemas. Associado a isso, o contexto atual de incentivo à exploração de fontes renováveis de energia e diversificação da matriz geradora, a preocupação com o ecossistema, além da própria demanda energética, fomentam cada dia mais conquistas nessa área.

## **2. OBJETIVO**

Averiguar a relação custo-benefício da implantação de painéis fotovoltaicos na cobertura e na fachada de um edifício de escritórios em altura existente na zona bioclimática brasileira 2, a partir da simulação computacional e da análise econômica do investimento.

## **3. MÉTODO**

O método da presente pesquisa é experimental, mediante a simulação computacional e a análise econômica dos investimentos. Apresenta sua metodologia caracterizada em sete etapas: revisão de literatura, caracterização do objeto de estudo, dimensionamento e escolha dos módulos fotovoltaicos, simulação computacional dos sistemas de geração de energia fotovoltaica, análise econômica dos investimentos, compilação dos resultados e redação final.

### **3.1. Caracterização do objeto de estudo**

O objeto de estudo, o edifício de escritórios Panoramic Center, com quatorze pavimentos, localizado no centro da cidade de Pelotas-RS, zona bioclimática brasileira 2 (NBR 15220-03: 2005). Sua escolha foi precedida de uma amostragem das edificações em altura no centro, em uma microrregião reconhecida pelo comércio intensivo. A escolha recaiu sobre o Panoramic Center em função de suas características arquitetônicas e de sua forma, da ocupação nos primeiros pavimentos e da torre recuada em todas as faces. Esses aspectos são condizentes com as definições do II e III Plano Diretor de Pelotas, e se caracteriza como uma tipologia arquitetônica representativa da configuração urbana proposta pelo Plano Diretor. A escolha também considerou a análise do fator de forma e do fator altura da edificação.

Em termos de radiação e potencial para aproveitamento da energia solar, o edifício está situado em uma área geográfica com elevada incidência solar, além de não ter grandes obstruções que causem sombreamentos consideráveis no quadrante norte. A captação de radiação solar no hemisfério sul comumente recomenda a orientação exatamente ao norte e uma inclinação dos painéis de acordo com a latitude. No caso da cidade de Pelotas, a melhor orientação para os painéis fica a 31° de deslocamento em relação ao norte, coincidindo com a latitude local. Além disso, a cobertura da edificação apresenta uma área adequada para a implantação dos painéis fotovoltaicos.

Os quatorze pavimentos são ocupados por trinta e sete salas comerciais com usos distintos – como por exemplo, consultório odontológico, escritório de advocacia, consultório médico, farmácia, etc. Para a simulação de eficiência energética foram realizadas entrevistas com os usuários para identificar os padrões de uso e ocupação, bem como o número de pessoas por sala, horário de funcionamento, equipamentos instalados, sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

### **3.2. Dimensionamento e escolha dos módulos fotovoltaicos**

Para a implantação do sistema fotovoltaico foi necessário escolher dentre os módulos existentes no mercado, o que é disponibilizado na região ou na cidade onde o prédio está localizado. Assim sendo, foi escolhido o módulo policristalino da *Canadian Solar*, modelo CS6P-260P, com eficiência de 16,79%, sendo classificado com nível A de acordo com as exigências do INMETRO.

A seguir foi preciso dimensionar e verificar a melhor localização dos painéis a serem instalados na cobertura, com base em um estudo desenvolvido pela equipe do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética da UFPEL – LABCEE (BELTRAME et al., 2016).

Para a implantação dos módulos fotovoltaicos nas paredes externas, optou-se por instalar os painéis somente nas fachadas com maior irradiação solar, orientadas para o quadrante norte. Ademais, foi realizado um estudo no “*software*” Radiasol, como forma de verificar o potencial de radiação solar das fachadas nordeste e noroeste (Figura 2 e Figura 3), escolhidas para implantação dos módulos fotovoltaicos, e o potencial de radiação solar da cobertura inclinada (Figura 4).

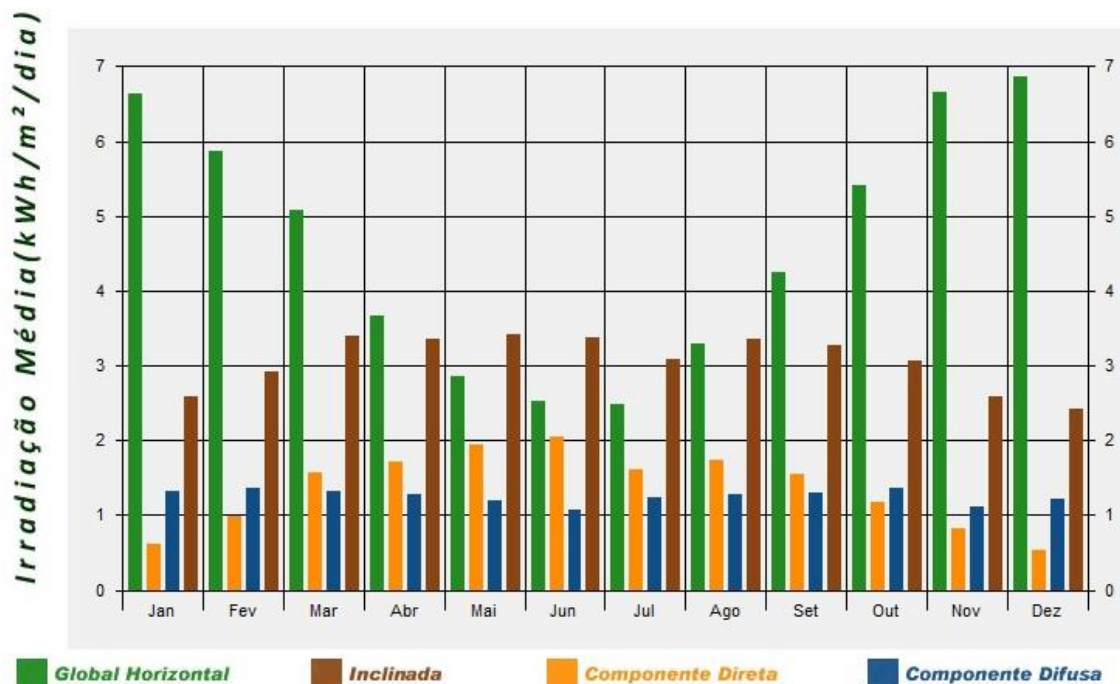


Figura 2: Gráfico das radiações incidentes sobre a fachada nordeste (RADIASOL 2. Laboratório de Energia Solar, UFRGS, 2009)

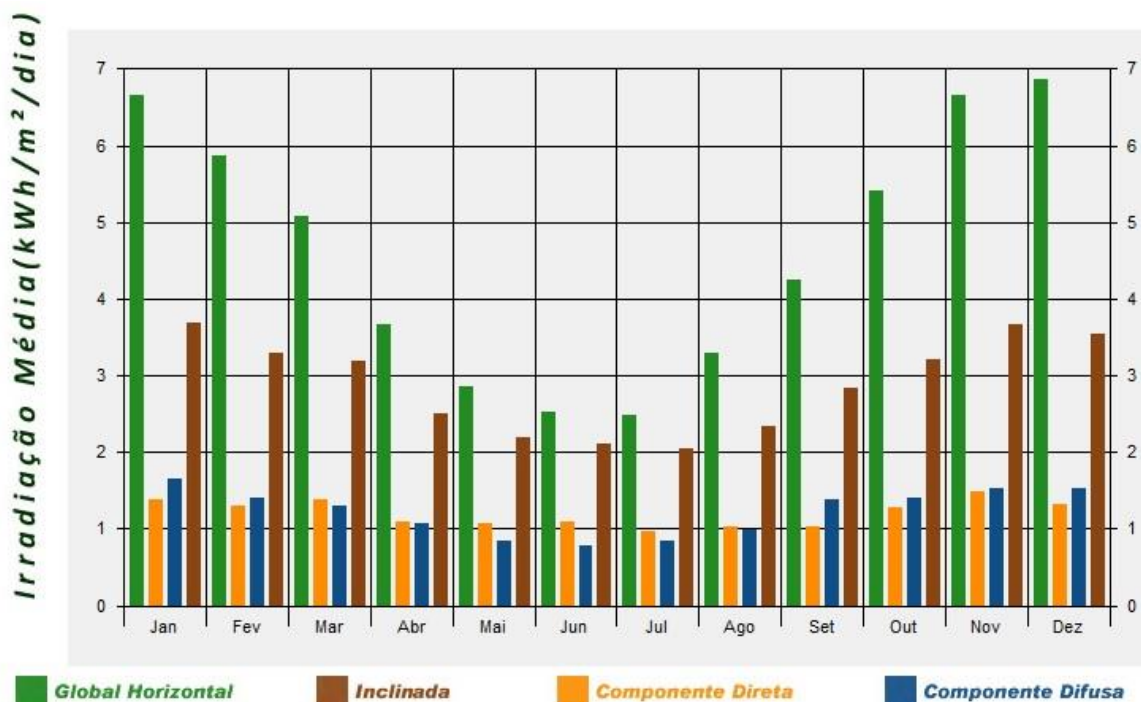


Figura 3: Gráfico das radiações incidentes sobre a fachada noroeste (RADIASOL 2. Laboratório de Energia Solar, UFRGS, 2009)

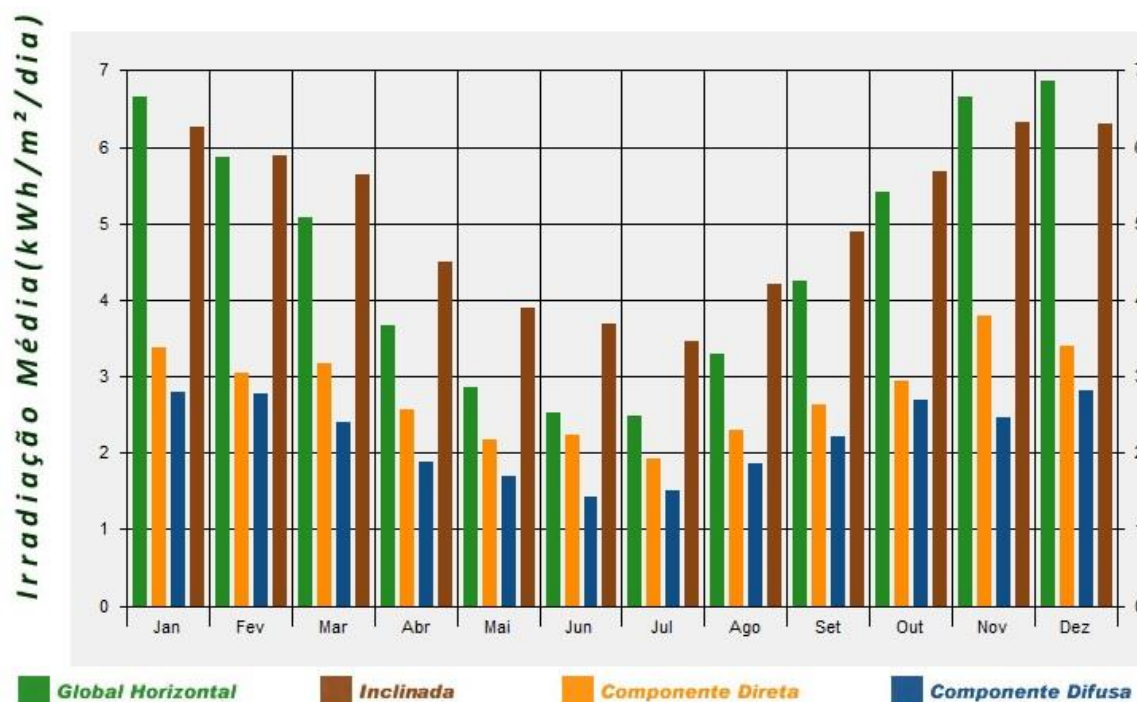


Figura 4: Gráfico das radiações incidentes sobre a cobertura inclinada (RADIASOL 2. Laboratório de Energia Solar, UFRGS, 2009)

Na etapa seguinte foram verificados o desempenho dos sistemas no edifício de análise e o potencial de geração de energia em ambos os casos (cobertura e fachada fotovoltaica).

### 3.3. Simulação computacional dos sistemas de geração de energia fotovoltaica

A simulação computacional do estudo de caso foi realizada no *EnergyPlus* 8.3, com modelagem no *Sketchup* 2015. Após a modelagem, as informações levantadas nas entrevistas foram devidamente configuradas no IDF Editor. Posteriormente, a simulação computacional é realizada por intermédio do *EP Launch*. Essa fase de simulação de eficiência energética contempla duas propostas: inserção do painel fotovoltaico na cobertura e sua implantação nas fachadas mais expostas à radiação solar.

#### 3.3.1. Implantação de painéis fotovoltaicos na cobertura

Para a simulação dos painéis na cobertura, inicialmente eles foram modelados no *Sketchup* 2015 (Figura 5) e posteriormente configurados os dados do painel, como eficiência e potência, no IDF Editor. Logo, a simulação foi realizada no *EP Launch*. Os painéis instalados totalizaram a área de 83,75 m<sup>2</sup>, os quais foram dispostos aproveitando a inclinação existente das lajes impermeabilizadas da casa de máquinas e reservatórios, além dos painéis instalados sobre a cobertura de fibrocimento. Os resultados da simulação dizem respeito ao consumo de energia da edificação e à geração de energia obtida com o sistema fotovoltaico.

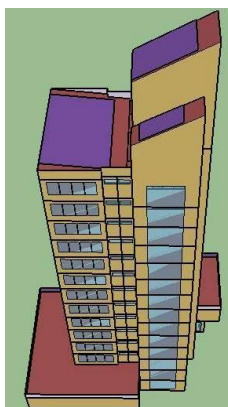


Figura 5: Disposição dos painéis fotovoltaicos na cobertura

#### 3.3.2. Implantação de painéis fotovoltaicos na fachada

A implantação dos painéis nas fachadas seguiu o mesmo método utilizado para a simulação dos painéis na cobertura. No estudo para a instalação nas fachadas, foram utilizados painéis com as mesmas especificações dos painéis propostos para a cobertura, ocupando uma área de 530,99 m<sup>2</sup> - área consideravelmente maior do que a necessária para os painéis instalados na cobertura. Isso ocorre em função do aproveitamento das superfícies opacas das fachadas, que são consideravelmente maiores que a área da cobertura disponível (Figura 6).

Após a etapa de modelagem e simulação energética, os resultados de geração de energia passam a ser analisados e procede-se a análise econômica dos investimentos propostos.

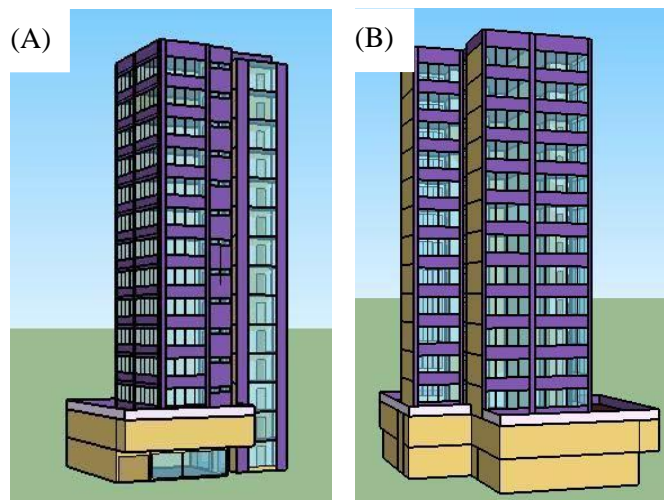


Figura 6: Disposição dos painéis nas fachadas noroeste (A) e nordeste (B)

### 3.4. Análise econômica do investimento

Com o propósito verificar a relação custo-benefício da implantação do sistema fotovoltaico na cobertura e nas fachadas, foram utilizados como critério de análise econômica o *payback* simples, o *payback* descontado e o Custo de Energia Conservada.

O *payback* é um indicador do tempo de retorno do investimento, em anos. O *payback* simples é obtido pela fração do investimento realizado sobre o custo anual de energia economizada (Equação 1). Ele possibilita analisar o tempo de recuperação do investimento e, sua principal vantagem é a facilidade de cálculo. Entretanto, ele não considera o valor do dinheiro ao longo do tempo.

$$PB_s = \frac{I}{CA}$$

Equação 1

Onde:

PBs = *payback* simples (anos)

I = investimento realizado (R\$)

CA = custo anual da energia economizada (R\$/ano)

O *payback* descontado também analisa o prazo de retorno do capital investido. É muito semelhante ao *payback* simples, porém considera o valor do dinheiro ao longo do tempo. Como forma de considerar a variação monetária, foi estipulada a incidência da taxa anual relativa ao Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), para mensurar o real valor da economia obtida.

O Custo da Energia Conservada (CEC) representa outro índice importante para a análise econômica. O seu valor é obtido a partir de uma equação, apresentada por Carlo (2008), que relaciona fatores como custos, energia economizada, vida útil e taxas de desconto (Equação 2).

$$CEC = \left( \frac{TCC}{\Delta E} \right) \times \left\{ \frac{d}{[1 - (1 + d)^{-n}]} \right\}$$

Equação 2

Onde:

CEC = custo da energia conservada (R\$/kWh)

TCC = custo (R\$) de implementação da medida de conservação de energia (MCE)

$\Delta E$  = energia economizada em comparação a um caso-base (kWh/ano)

n = vida útil da MCE (anos)

d = taxa de desconto em base anual comparada ao Índice Nacional de Custo da Construção (INCC - IBGE)

#### 4. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa dizem respeito à fração de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos na cobertura e nas fachadas, além da análise econômica dos investimentos com a verificação do tempo de retorno do capital. Assim sendo, a simulação de eficiência energética dos painéis fotovoltaicos na cobertura apresentou uma economia de 15.962,35 kWh/ano, enquanto os painéis na fachada resultaram em uma economia na ordem de 27.839,78 kWh/ano (Tabela 1). Ao considerar o valor atualizado do kWh, é possível constatar monetariamente a economia obtida em um período de doze meses (Figura 7).

Tabela 1 – Análise econômica do investimento

Sistema Fotovoltaico	Economia (kWh/ano)	Valor do kWh	Economia (R\$)
Painéis na cobertura	<b>15.962,35</b>	0,39699	<b>R\$ 6.336,89</b>
Painéis na fachada	<b>27.839,78</b>	0,39699	<b>R\$ 11.052,11</b>

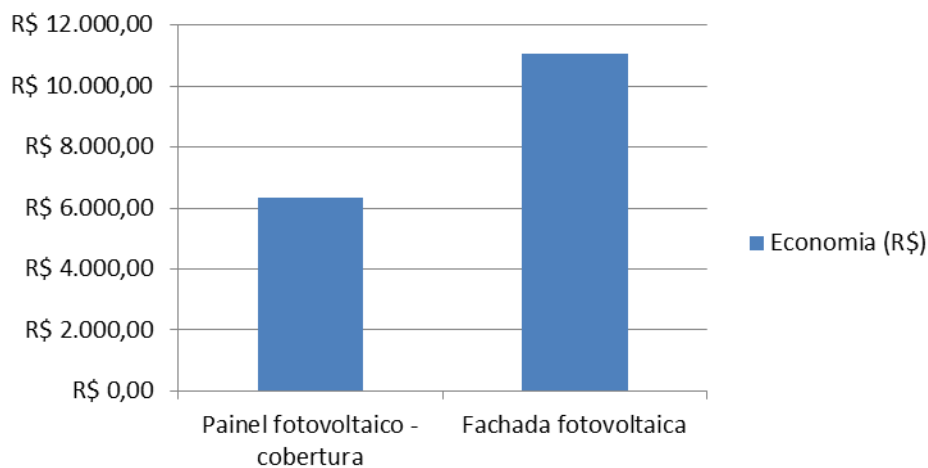


Figura 7: Economia de energia anual obtida com o sistema fotovoltaico

O critério utilizado para análise do *payback* está diretamente relacionado com a vida útil dos sistemas propostos. Para que a medida apresentada seja vantajosa, o *payback* deve ser inferior à vida útil do mecanismo proposto. Para obtenção dos valores de *payback* foi necessário realizar um orçamento junto à empresa local especializada em painéis fotovoltaicos em Pelotas-RS, a fim de mensurar o investimento. No presente estudo, a análise do *payback* simples apresentou valores expressivamente díspares (Tabela 2):

Tabela 2 – Análise do *payback* simples

Sistema Fotovoltaico	Investimento (R\$)	Economia Gerada (R\$)	<i>Payback</i> simples (anos)



Painéis na cobertura	116.500,23	6.336,89	<b>18,38</b>
Painéis na fachada	738.632,34	11.052,11	<b>66,83</b>

Como o uso do *payback* simples desconsidera o valor do dinheiro ao longo do tempo, também foi analisado o *payback* descontado, que considera a variação monetária inerente ao processo (Tabela 3). No presente trabalho foi considerada a incidência da taxa do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) sobre o valor da economia gerada. Dessa forma, a economia descontada foi obtida por meio da equação:

$$Ed = Eg - (Eg \times Tsinapi)$$

Equação 3

Logo o *payback* descontado foi calculado utilizando a mesma fórmula do *payback* simples (Equação 1). Essa análise utiliza o mesmo critério de avaliação do *payback* simples, considerando a vida útil do sistema em questão.

Tabela 3 – Análise do *payback* descontado

Sistema Fotovoltaico	Investimento (R\$)	Economia Gerada (R\$)	Taxa (Sinapi)	Economia Descontada (R\$)	<i>Payback</i> descontado (anos)
Painéis na cobertura	116.500,23	6.336,89	0,0664	5.916,12	<b>19,69</b>
Painéis na fachada	738.632,34	11.052,11	0,0664	10.318,25	<b>71,59</b>

O último resultado apresentado é a análise do custo da energia conservada (CEC), outro importante indicador de análises econômicas (Tabela 4). Rosenfeld (1996, *apud* Carlo, 2008) relata que para um investimento ser atrativo economicamente, o CEC deve ser menor que o valor de um kWh de energia. No presente trabalho foi utilizado o valor do kWh para edificações comerciais, fixado em 0,39699 de acordo com os dados da CEEE referentes ao mês de janeiro de 2017, desconsiderando os impostos. Assim sendo, a análise do CEC demonstrou que os investimentos seriam mais atrativos se o valor do CEC fosse menor que o valor do kWh. Nesse sentido, é importante ressaltar a constante variação no valor da energia atualmente e que os valores utilizados para o preço do kWh não consideraram os impostos existentes.

Tabela 4 – Análise do Custo da Energia Conservada

Sistema Fotovoltaico	TCC (R\$)	$\Delta E$ (kWh/ano)	n (anos)	d	CEC (R\$/kWh)	Valor do kWh	CEC/Custo kWh
Painéis na cobertura	116.500,23	15.962,35	30	0,0743	0,61	0,39699	<b>1,55</b>
Painéis na fachada	738.632,34	27.839,78	30	0,0743	2,23	0,39699	<b>5,62</b>

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo reforçou a importância do desenvolvimento de tecnologias de geração de energia limpa, destacando o uso da energia solar fotovoltaica. Os resultados apresentados permitiram concluir que o sistema fotovoltaico instalado na cobertura de um edifício de escritórios apresentou uma boa relação custo-benefício, com prazo de retorno do investimento inferior à vida útil do sistema. Em relação à implantação dos painéis fotovoltaicos nas fachadas do mesmo prédio, estes apresentaram-se inviáveis sob o ponto de vista econômico. Com a vida útil do sistema estipulada em trinta anos, as análises de *payback* demonstraram que a instalação dos painéis na cobertura configuraram um bom investimento (19,69 anos – considerando o *payback* descontado). Em relação ao custo da energia conservada (CEC), a análise demonstra que o investimento dos painéis na cobertura poderia ser melhor sob o ponto de vista econômico se o CEC obtido fosse menor que o valor do kWh. Com a demanda e crescente expansão dessa tecnologia, os preços tendem a cair ainda mais, tornando esses investimentos cada vez mais atrativos. Assim sendo, a análise econômica apresentada foi

fundamental para compreender melhor os custos e o tempo de retorno para investir em sistemas de geração de energia fotovoltaica, demonstrando as potencialidades e os desafios da implantação do sistema.

Ao analisar a geração de energia obtida, os painéis fotovoltaicos na fachada geraram mais energia devido à área de painéis ser consideravelmente maior. Entretanto, ao considerar o investimento mais oneroso devido à maior área de painéis instalados nas fachadas, é possível verificar que a fachada fotovoltaica apresentou uma pior relação custo-benefício, gerando menos energia em razão do sombreamento dos painéis e menor tempo de exposição à radiação solar direta no caso estudado. Logo, os painéis fotovoltaicos na cobertura tornam-se mais vantajosos indubitavelmente. Isso pode ser justificado pelo posicionamento e orientação adequada dos painéis instalados na cobertura, com melhor aproveitamento da radiação solar durante mais tempo, sem obstruções e sombreamentos consideráveis. A forma da edificação também contribuiu para o sombreamento das fachadas em questão, fato que poderia ser minimizado no estudo de outras tipologias construtivas.

Assim sendo, a pesquisa demonstrou uma faceta ainda pouco explorada no âmbito da sustentabilidade e da eficiência energética, com a proposta de uma análise econômica de sistemas fotovoltaicos inseridos em uma edificação comercial existente. Ademais, demonstrou as especificidades do sistema fotovoltaico, enaltecendo as diferenças e as vantagens do correto posicionamento dos painéis. Logo, o estudo serve como incentivo para a disseminação do uso de fontes renováveis de energia, mais especificamente o desenvolvimento da tecnologia de geração de energia fotovoltaica, além de esclarecer aspectos importantes sobre esses sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.org.br>
- APOLÔNIO, D. M. **Energia Solar Fotovoltaica Conectada à Rede de Energia Elétrica em Cuiabá: Estudo de Caso** (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá – MT, 2014, 149 p.
- BARDELIN, C. E. A. **Os efeitos do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001 e 2002 com ênfase no consumo de energia elétrica** (Dissertação de Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004, 113p.
- BELTRAME, C. M.; DALBEM, R.; MENDONÇA, O. **Análise da viabilidade de geração de energia solar fotovoltaica em edifícios comerciais: estudo de caso para a cidade de Pelotas – RS** (Trabalho acadêmico desenvolvido na disciplina de Edifícios Solares Fotovoltaicos, ministrada pela Prof. Isabel Salamoni, no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PROGUAU/UFPEL). 2016. 6p.
- CARLO, J. C. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. Florianópolis, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.
- CEEE – Companhia Estadual de Energia Elétrica. **Tarifas e Custos dos Serviços**. Disponível em: <[http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/Tabela\\_Tarifas\\_Custos\\_de\\_Servicos\\_84812.pdf](http://www.cee.com.br/pportal/cee/Archives/Upload/Tabela_Tarifas_Custos_de_Servicos_84812.pdf)>.
- Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2016: Ano base 2015**. Relatório Síntese. Rio de Janeiro: EPE, 2016.
- FERREIRA, M. A. M. A. **A eficiência energética na reabilitação de edifícios** (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009, 178 p.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Tabela de eficiência energética - Sistema de energia fotovoltaica - módulos - edição 01/2016**. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)>. Acessado em: fev. 2017.
- PEREIRA, E.; MARTINS, F.; ABREU, S.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.
- Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century. **Renewables 2016 Global Status Report**. Paris: REN21 Secretariat, 2016.
- RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Ed. da UFSC/Labsolar, 2004.
- RÜTHER, R.; SALAMONI, I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v. 4, n. 1, 2013.
- VARTIAINEN, E.; MASSON, G.; BREYER, C. PV LCOE in Europe 2014-30. **European PV Technology Platform, Technical Report**. 2015.
- ZOMER, C. D. **Usina solar fotovoltaica integrada a uma edificação urbana: o maior gerador solar do hemisfério sul**. E-co\_Logicas: Concurso de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética, Santa Catarina: Instituto Ideal, 2008.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à CAPES e ao CNPq a concessão das bolsas de estudos.