

ANÁLISE TERMOECONÔMICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA IMPLEMENTAÇÃO DE EDIFÍCIOS CLIMATIZADOS NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Stiven Gutemberg Figueira Rolim, sgfr@discente.ifpe.edu.br¹

Lucas Ramos de Souza Lima, lrsl@discente.ifpe.edu.br²

Álvaro Antônio Ochoa Villa, ochoaalvaro@recife.ifpe.edu.br³

Kilvio Alessandro Ferraz, kilvioferraz@recife.ifpe.edu.br⁴

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Av. Prof. bLuís Freire, 500 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545.

Resumo: Utilizando o equipamento chamado ar condicionado, é possível transformar o ar quente do ambiente externo em ar frio utilizando gás refrigerante. Com isso, ambientes que teriam temperaturas elevadas podem obter um conforto térmico através da climatização utilizando esse equipamento. Porém, o consumo de energia gerado pelo ar condicionado é bastante elevado e a energia será proporcional a esse consumo, logo, também será elevado. Com o objetivo de reverter esse quadro, surge a implementação da energia solar fotovoltaica, que é a energia obtida através da conversão da luz em eletricidade por meio do efeito fotovoltaico. Levando em consideração que os módulos fotovoltaicos produzem energia em corrente contínua (CC), e a energia que se consome em residências é corrente alternada (CA), a energia produzida pelas placas solares é mandada para a central de distribuição de energia do respectivo estado, no caso de Pernambuco, a neoenergia Pernambuco. E essa empresa que faz o controle da energia produzida pelas placas. Dessa forma, é calculado a quantidade de carga térmica produzida em uma casa com dois andares e o térreo, para que assim fosse realizado o dimensionamento da casa, para saber a quantidade de ar condicionado que precisa para atingir o conforto térmico de forma otimizada. Na metodologia, foi desenvolvido uma planta baixa de toda a residência utilizando o software do tipo CAD, o AUTOCAD. Logo após tendo as dimensões da casa e todos os parâmetros é calculado a carga térmica por meio do Engineering Equation Solver (EES). Por fim, é realizado o levantamento da quantidade de energia elétrica consumida mensalmente pelos ares condicionados, é calculado a quantidade necessária de placas solares necessária para economia parcial ou total. Analisando e calculando, foi possível chegar nos resultados 54,5% até 100% de economia no consumo de energia elétrica dos ares condicionados, após aplicação do sistema fotovoltaico.

Palavras-chave: Fotovoltaico, Climatização, Conforto Térmico, Economia, Energia.

1. INTRODUÇÃO

A busca de fontes alternativas que permitam sair da dependência da energia hidroelétrica e de combustíveis fósseis tem levado ao desenvolvimento de projetos e tecnologias, que permitam aperfeiçoar os recursos energéticos (Cavalcanti, 2017). Sobre esta consideração, a cogeração/trigeração pode ser uma alternativa na produção simultânea de energia elétrica e térmica (Angrisani et al., 2016).

A importância da refrigeração e climatização para sociedade baseia-se numa necessidade básica do ser humano do conforto. Porém, para satisfazer esta necessidade precisamos de recursos energéticos que nos permitam produzir eletricidade e, portanto, frio para este fim. (EVANSA et al., 2014; GUNGOR et al., 2015).

O melhor aproveitamento da energia tem sido fator essencial para a economia energética e, sobretudo, para evitar a poluição do meio ambiente. O aumento das tarifas elétricas integrado ao alto consumo de energia, e a altos custos de instalação de novas centrais de geração de energia elétrica, tem originado a busca por uma nova concepção energética (Ochoa et al., 2016).

Os setores industrial e residencial têm o maior consumo da energia elétrica, com uma participação de 34,4 % e 20,5% da oferta interna de energia elétrica respectivamente. Dentro do setor residencial, de acordo com a Fig. 1a eletricidade apresenta um consumo de 45,3 %, superior, comparado com o consumo de outras fontes como GLP (26,4%) e lenha (24,6%). A eletricidade no setor residencial é vital no atendimento imediato das necessidades básicas de um domicílio que são o aquecimento de água, a refrigeração, a iluminação, entre outros.

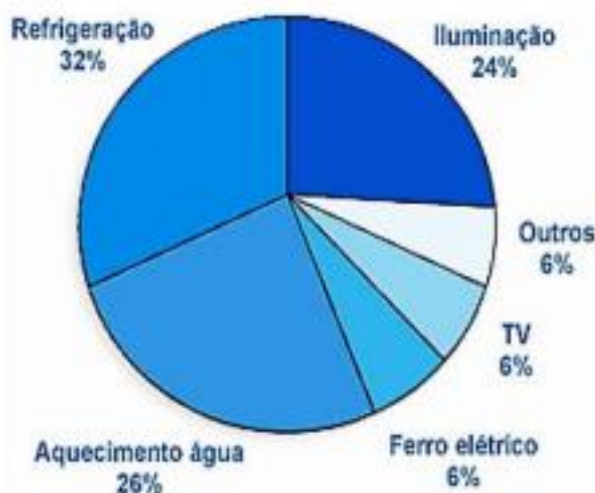


Figura 1. Usos típicos da energia elétrica no setor residencial.

O montante de energia gerada pelo sol é da ordem de 3,8. 1020 MW, relacionando à sua área superficial a quantidade de 63 MW/m². Tal energia é irradiada em todas as direções, e a Terra só recebe uma pequena fração, cerca de 1,7. 1014 KW. Contudo, essa quantidade recebida, num tempo estimado de 84 minutos, é equivalente à quantidade energética demandada pelo homem durante 1 ano (cerca de 900 EJ) (Kalogirou, 2014).

Halmeman et al. (2010) avaliaram a influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos sob diferentes níveis de irradiância solar na cidade de Medianeira, Paraná. O consumo elétrico do sistema foi imposto por uma bomba d'água. Os dados foram coletados num período de um ano e mostraram o decréscimo do rendimento elétrico à proporção que crescia a irradiância solar sobre os painéis.

A Figura 2 mostra níveis de irradiância de 500 a 1000 W/m² foram avaliados, e para o nível de 500 W/m², a eficiência máxima foi de 9,55%, com média de 8,48%. Para o nível de 1000 W/m², a eficiência máxima encontrada foi de 6,03% e a média atingiu o valor de 5,63%.

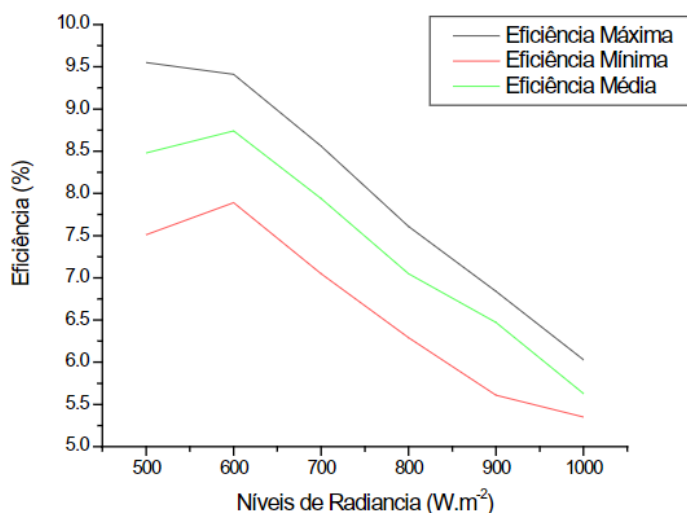


Figura 2. Eficiências Máxima, mínima e média do sistema.

Luzzi (2017) apresenta, em sua monografia, um estudo comparativo baseado na adaptação de um módulo fotovoltaico resultando em um coletor fotovoltaico-térmico e um módulo puramente fotovoltaico idêntico ao adaptado. Foram realizados os testes e as caracterizações dos módulos e, nas medições dentro de um período estimado de 20 dias

no mês de junho, na cidade de Porto Alegre/RS. Os resultados mostraram o módulo híbrido com desempenho superior ao módulo convencional. (Fig. 3)

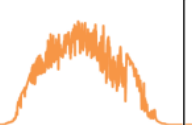
Energia Produzida Horária [Wh]						
Horário	2-jun		15-jun		23-jun	
	PV	PV/T	PV	PV/T	PV	PV/T
5-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6-7	0,2	0,2	0,3	0,3	0,0	0,0
7-8	7,2	7,0	29,5	29,1	1,3	1,2
8-9	30,7	30,5	104,1	107,2	80,7	79,8
9-10	85,7	86,0	138,0	138,2	136,2	136,2
10-11	158,8	159,3	159,4	159,5	165,9	169,1
11-12	196,3	196,9	179,1	177,2	181,6	185,3
12-13	180,7	182,1	158,1	158,1	185,8	188,0
13-14	113,6	113,0	124,6	124,6	176,2	177,5
14-15	69,6	69,3	124,1	124,1	150,8	151,8
15-16	84,7	83,2	58,0	57,7	114,8	114,6
16-17	23,4	23,9	8,6	8,4	58,4	57,3
17-18	0,1	0,1	0,0	0,0	1,1	1,1
18-19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TOTAL	951,0	951,5	1083,9	1084,4	1252,7	1261,9
Perfil de Irradiância Solar Diário [W/m ²]						

Figura 3. Produção de energia elétrica horária.

Ancines (2016) também propõe, em sua dissertação, a comparação entre um módulo fotovoltaico convencional, um módulo híbrido PV/T e um módulo térmico tipo placa plana na cidade de Porto Alegre (RS). Seus resultados demonstraram que a eficiência elétrica de cada módulo teve um aumento de 5,5%, comparando a diferença de energia elétrica gerada ao longo de um ano. O gráfico da Fig. 4 abaixo indica uma diferença de temperatura entre o módulo e o PV/T de 4,5°C e um acréscimo de aproximadamente 1,2% na eficiência elétrica.

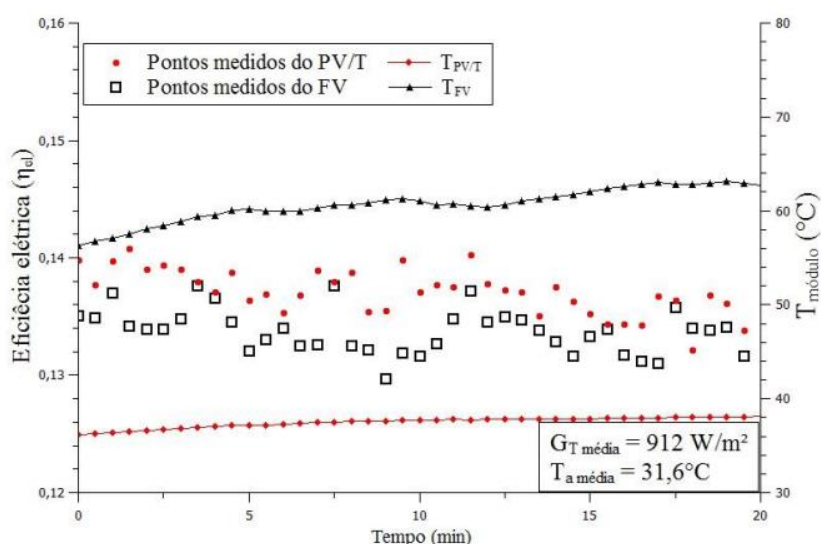


Figura 4. Comparativo entre eficiências e temperaturas nos módulos.

Tendo em vista índices elevados de temperatura na região metropolitana do Recife, a pesquisa teve como objetivo o estudo e desenvolvimento de um modelo termo econômico de sistema de climatização acionado por energia fotovoltaica visando o conforto térmico em prédios, analisando carga térmica de um determinado local e todas as variáveis necessárias para viabilizar o uso da fonte energética renovável.

2. METODOLOGIA

A fim de realizar o dimensionamento energético de uma residência, é necessário que se calcule a quantidade de energia que ela produz, ou seja, a carga térmica da residência. Após obter esse resultado, é possível saber quantos ares-condicionado será necessário para suprir o consumo energético e climatizá-la por completo. Com isso, escolhendo o ar-condicionado a ser utilizado, pode-se calcular o consumo que o mesmo irá produzir mensalmente. Logo, serão implementadas as placas solares para que produza a energia consumida dos ares-condicionado, parcialmente ou totalmente.

2.1 Cálculo de Carga Térmica

Para o cálculo da carga térmica, tem-se a soma do calor sensível interno, o calor latente interno e depois os calores externos sensíveis e latentes. Calor sensível interno: irradiação solar pelos vidros, transmissão (paredes, tetos e pisos), iluminação, equipamentos, pessoas. Calor latente interno: pessoas e equipamentos. Calores sensíveis e latentes: ar externo. Com isso, foi criada uma planilha simplificada no Excel, onde foi possível realizar o cálculo da carga térmica de forma eficiente, com todos os parâmetros necessários para a realização do cálculo.

Tabela 1. Tabela simplificada para realização de carga térmica.

Item	Quant.	Fator de multiplicação			Unidades de refrigeração	
		A Sem Cortinas	B Com Cortinas	C Com Toldos		
1.0 Janelas: Insolação (expostas ao sol) (Conte só as que recebem mais sol)	Área (m ²)	☀ 1	☀ 0,47	☀ 0,28		
a) Norte	0,00	240	115	70	0,00	
b) Nordeste	0,00	240	95	70	0,00	
c) Leste	0,00	270	130	85	0,00	
d) Sudeste	0,00	200	85	70	0,00	
e) Sul	0,00	0	0	0	0,00	
f) Sudoeste	0,00	400	160	115	0,00	
g) Oeste	0,00	500	220	150	0,00	
h) Noroeste	0,00	350	150	95	0,00	
2.0 Janelas: Transmissão (Deve-se somar todas as áreas de mesmo material)	Área (m ²)	Vidro comum ☀ 1,0		Tijolo vidro ☀ 0,5		
	0,00	50		25	0,00	
3.0 Paredes (conte só as que recebem mais sol)	Área (m ²)	Construção Leve ☀		Construção Pesada ☀		
a) Parede externa - Orientação Sul	0,00	13		10	0,00	
b) Parede externa - Outras orientações	0,00	20		12	0,00	
c) Paredes internas (Amb. não refrigerado)	0,00			13	0,00	
4.0 Teto e forro	Área (m ²)					
a) Em laje exposta ao sol sem isolamento	0,00				75	0,00
b) Em laje com 2,5cm de isolamento ou mais	0,00				30	0,00
c) Entre andares	0,00				13	0,00
d) Sob telhado com isolamento	0,00				18	0,00
e) Sob telhado sem isolamento	0,00				50	0,00
5.0 Piso (exceto os diretamente colocado sobre o solo)	m ²				13	0,00
6.0 Número de pessoas no recinto	Qnt					
a) Em repouso	0				75	0,00
b) Em atividade moderada	0				150	0,00
c) Em atividade acelerada	0				750	0,00
7.0 Renovação de ar por pessoa	Qnt					
a) Com renovação de ar	0				150	0,00
b) Com renovação de ar com recuperador de energia entálpico					48	0,00
8.0 Outras fontes de calor	W					
a) Aparelhos Elétricos	0,00				0,86	0,00
b) Forno Elétrico	0,00				0,86	0,00
c) Aparelhos de Grelhar	0,00				0,86	0,00
d) Mesa quente	0,00				0,86	0,00
e) Cafeteiras	0,00				0,86	0,00
	HP					
f) Motores	0,00				645,00	0,00
	Nº Refeições					
g) Alimentos por pessoa	0				16,00	0,00
Iluminação	W					
h) Incandescente	0,00				1,00	0,00
i) Fluorescente	0,00				0,50	0,00
9.0 Portas e vãos constantemente abertos para ambientes não refrigerados	m ²				150	0,00

Com a planilha, foi possível obter a carga térmica total em Kcal, a margem de segurança e a carga térmica total em BTU's que é o importante para o dimensionamento da climatização.

Tabela 2. Resultados dos cálculos de carga térmica na residência.

Carga Térmica Total (Kcal)	20468,00
Margem de segurança (10%)	22514,80
Carga Térmica Total (BTU's)	90059,20
Carga Térmica Total (TR's)	7,50
Carga Térmica Total (kW)	26,37

2.2 Dimensionamento de ar condicionado

Com base nas dimensões da casa e com o cálculo de carga térmica, é possível saber a quantidade de ares-condicionado que a residência irá precisar para atingir o conforto térmico.

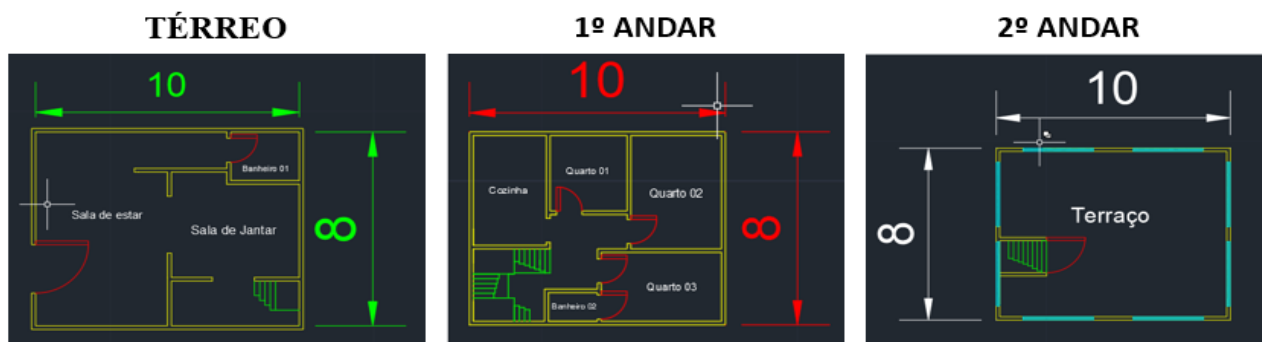


Figura 5. Dimensões da residência.

2.3 Implementação das placas solares

Tendo em vista, a energia com valores elevados a energia solar se faz necessária para viabilizar a utilização dos ares-condicionado para refrigeração de residências.

Utilizando um módulo solar de modelo YL255P-29b para a análise de dados, e assim, saber o quanto será gerado de energia solar e transformado para energia elétrica.



Figura 6. Placa solar modelo YL255P-29b em testes.

2.4 Quantidade e orçamento dos módulos fotovoltaicos

Com o estudo das placas solares, tem-se o objetivo de dimensionar a quantidade de placas necessárias e o orçamento dos módulos.

Tabela 3. Investimento das placas solares e produção de energial mensal.

Produção mensal das Placas Solares		
Economia	1 Residência	10 residências
	10 Placas	100 Placas
Investimento	R\$ 7.500,00	R\$ 75.000,00
Produção de energia	318,88 KWh	3118 KWh
Economia (mês)	R\$ 1.100,00	R\$ 11.000,00
Economia (10 anos)	R\$ 132.000,00	R\$ 1.320.000,00

Com base na Tab. 3, tem-se a quantidade de placas a serem implantadas, o investimento inicial, sua produção de energia mensal, e a economia de curto a longo prazo. O estudo do módulo solar é analisado de forma micro, porém, tem grandes possibilidades de ser expandido para um estudo macro. Ao invés de uma residência, poderia ser um residencial com várias casas ou um condomínio completo.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

Com a carga térmica total aproximadamente 90.000 BTU's e três andares têm-se 30.000 BTU's para cada andar. Logo, a melhor escolha para suprir a necessidade com eficiência e economia, seria um Split 12.000 BTU's, onde foi instalado três por andar.

O consumo de energia desse ar condicionado é de 32,5 KWh, sendo utilizado 8 horas diárias e 20 dias por mês. Utilizando a tarifa mais cara de energia 0,706R\$/KWh, o valor da energia seria de R\$ 122,38 mensais. Sendo nove ares-condicionados, o consumo total é 292,5 KWh e o valor total R\$ 1.101,42.

Dessa forma, é possível saber a quantidade de placas que será necessário para suprir o consumo parcial e total dos ares-condicionados. Além de poder calcular o orçamento das placas solares.

Tabela 4. Informações nominais do módulo solar.

Informações Técnicas do Pannel - Modelo YL255P - 29b			
Eficiência (%)	15,7	Área Superficial (m²)	1,62
Potencia Nominal (W)	255	Produção média mensal (KWh)	31,88
Corrente de curto-circuito (A)	9,01	Tensão Nominal (V)	30
Corrente Nominal (A)	8,49	Máxima tensão de sistema (V)	1000
Tensão de circuito aberto (V)	37,7	Máxima série de fusíveis (A)	15

Logo, foi realizado um levantamento estatístico, do investimento inicial em relação com a economia, levando em consideração apenas uma residência nas condições estabelecidas acima, e foi obtido o retorno do investimento no 8º mês.

Tabela 5. Levantamento da economia x investimento das placas solares.

Economia x Investimento										
MESES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Investimento	-R\$ 7.500	-R\$ 7.500	-R\$ 6.400	-R\$ 5.300	-R\$ 4.200	-R\$ 3.100	-R\$ 2.000	-R\$ 900	R\$ 200	R\$ 1.300
Economia	R\$ 0	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100	R\$ 1.100
Retorno	-R\$ 7.500	-R\$ 6.400	-R\$ 5.300	-R\$ 4.200	-R\$ 3.100	-R\$ 2.000	-R\$ 900	R\$ 200,00	R\$ 1.300,00	R\$ 2.400,00

Adotando uma economia constante, foi realizado um gráfico que cresce de forma linear, representando os meses no eixo X, e a economia no eixo Y.

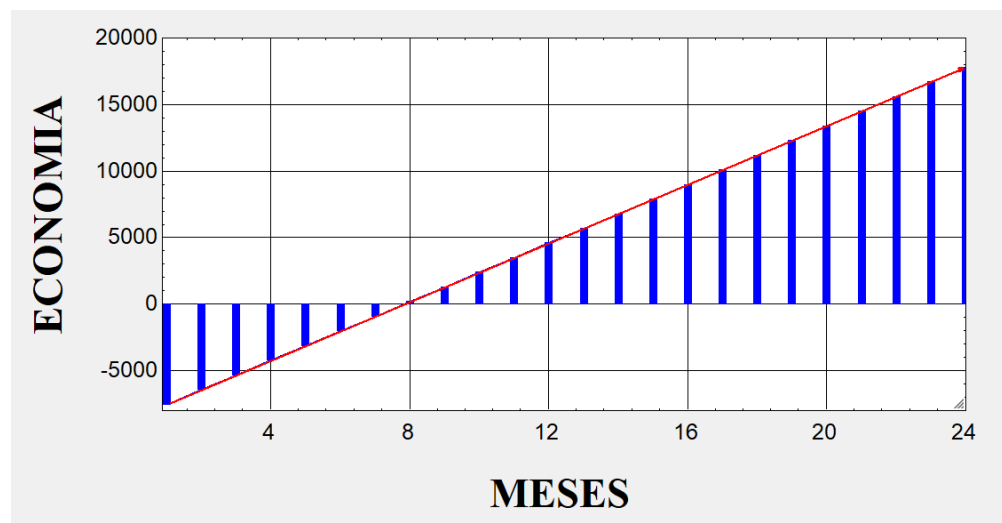


Figura 7. Gráfico financeiro realizado no software EES – Engineering Equation Solver.

4. CONCLUSÃO

O período que foi abordado para a utilização do ar condicionado, foi apenas de 20 dias com 8 horas ao dia. Um período de uso altamente baixo, levando em consideração que a região metropolitana do recife tem um clima com alta temperatura e o mês tem aproximadamente 30 dias. Logo, foi realizado nesses parâmetros para realizar um protótipo micro de climatização com a implementação das placas solares.

De acordo com os dados apresentados, o investimento das placas solares é de R\$ 7.500,00 sem a mão de obra, logo, a energia que se gasta mensalmente é de R\$ 1.100,00 mensais. Portanto, há uma necessidade de controle para um valor elevado de consumo para uma residência.

Conclui-se que, devido ao alto índice de consumo de energia elétrica, cerca de 300 kWh mensais, levando em conta que foram estipulados alguns fatores. Tem-se um gasto mensal de energia elevado (R\$ 1.100,00), com isso a implementação das placas solares para a climatização se torna algo essencial e extremamente benéfico. Contudo, tem-se como base uma residência com três andares, se levarmos em consideração a um residencial com 10 casas iguais a esta, o gasto seria 10 vezes maior, logo a economia também.

Se espera que possa ser adicionado a viabilidade térmica da utilização da placa para o aquecimento de água corrente com o intuito de utilizar em limpezas e para banho quente.

5. AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CONEM 2022 pela oportunidade, ao IFPE por fornecer todos os instrumentos e materiais necessários para realização da pesquisa. Agradeço ao CNPq pela bolsa de produtividade.

6. REFERÊNCIAS

- ANCINES, C.A. *Comparação entre o desempenho de um coletor híbrido térmico fotovoltaico com um coletor plano e um módulo fotovoltaico convencional*. Dissertação de Mestrado. PROMEC, UFRGS, Porto Alegre, 2016.
- ANGRISANI, G., AKISAWA, A., MARRASSO, E., ROSELLI, F., SASSO, M. *Performance assessment of cogeneration and trigeneration systems for small scale applications*. *Energy Conversion and Management*. 125 (2016), 194-208.
- CAVALCANTI, E.J.C. *Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 67 (2017), 507-519.
- GALINDO, A. *Eficiência energética de telhados no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Mecânica, Recife-PE, 2015.
- HALMEMAN, M.C. et al. *A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência de radiação solar*. *Revista Agrogeoambiental*, dezembro de 2010. p.105-110.
- INCROPERA, P. F. et al.; *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*, sexta edição, John Wiley & Sons, 2007
- LUZZI, D.C. *Comparação de desempenho entre coletor híbrido térmico fotovoltaico e módulo fotovoltaico*. Monografia. DEMEC, UFRGS. Porto Alegre, 2017.
- OCHOA, A.A.V., DUTRA, J.C.C., HENRÍQUEZ, J.R.G., DOS SANTOS, C.A.C. *Techno-economic and Exergoeconomic Analysis of micro cogeneration system for a residential use*. *Acta Technology Scientiarum*. 38 (2016), 327-338.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo produzido deste trabalho.

THERMOECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY FOR THE IMPLEMENTATION OF CLIMATE BUILDINGS IN THE METROPOLITAN REGION OF RECIFE

Stiven Gutemberg Figueira Rolim, sgfr@discente.ifpe.edu.br¹

Lucas Ramos de Souza Lima, lrsl@discente.ifpe.edu.br²

Álvaro Antônio Ochoa Villa, ochoaalvaro@recife.ifpe.edu.br³

Kilvio Alessandro Ferraz, kilvioferraz@recife.ifpe.edu.br⁴

Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco, Av. Prof. bLuís Freire, 500 - University City, Recife - PE, 50740-545.

Abstract. Using equipment called air conditioning, it is possible to transform the hot air from the outside environment into cold air using refrigerant gas. Thus, environments that would have high temperatures can obtain thermal comfort through air conditioning using this equipment. However, the energy consumption generated by the air conditioning is quite high and the energy will be proportional to this consumption, therefore, it will also be high. With the objective of reversing this situation, the implementation of photovoltaic solar energy arises, which is the energy obtained through the conversion of light into electricity through the photovoltaic effect. Taking into account that photovoltaic modules produce energy in direct current (DC), and the energy consumed in homes is alternating current (AC), the energy produced by the solar panels is sent to the energy distribution center of the respective state, in the case of Pernambuco, the neoenergy Pernambuco. It is this company that controls the energy produced by the plates. In this way, the amount of thermal load produced in a house with two floors and the ground floor is calculated, so that the sizing of the house could be carried out, to know the amount of air conditioning that it needs to achieve optimal thermal comfort. In the methodology, a floor plan of the entire residence was developed using the CAD-type software, AUTOCAD. After having the dimensions of the house and all the parameters, the thermal load is calculated using the Engineering Equation Solver (EES). Finally, a survey of the amount of electricity consumed monthly by the air conditioners is carried out, the necessary number of solar panels necessary for partial or total savings is calculated. Analyzing and calculating, it was possible to reach the results of 54.5% to 100% savings in electricity consumption of air conditioners, after application of the photovoltaic system.

Keywords: Photovoltaic 1, Climatization 2, Thermal comfort 3, Economy 4, Energy 5.