

Eixo Temático ET-06-006 - Energia

## **INCORPORAÇÃO DE ENERGIA SOLAR A UMA BOMBA DE CALOR PARA DESUMIDIFICAÇÃO E AQUECIMENTO DO AR**

Anderson Felipe Chaves Fortes<sup>1</sup>, Maria Mayara Souza Grilo<sup>2</sup>, Raoni Pinheiro Gonzaga de Souza<sup>2</sup>, Luiz Moreira Coelho Junior<sup>2</sup>, Monica Carvalho<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. anderson.fortesem@ifpi.edu.br; <sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, Campus I. Cidade Universitária, s/n - Castelo Branco - João Pessoa - Paraíba - CEP 58051-970. maria.mayara@cear.ufpb.br, ecosolarenergiasrenovaveis@gmail.com, luiz@cear.ufpb.br, monica@cear.ufpb.br.

### **RESUMO**

Este trabalho analisou a viabilidade econômica na incorporação de painéis fotovoltaicos para suprir a eletricidade consumida pelo compressor de uma bomba de calor. Apoiando-se no dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para alimentação do compressor (1,25 kW) de uma bomba de calor usada para desumidificação e aquecimento do ar, utilizaram-se os critérios da avaliação econômica como a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e o Período de Retorno de Capital (PRC). Observou-se que o sistema fotovoltaico apresentou baixos custos de manutenção e operação, vida útil estimada em 25 anos, no entanto ainda são caracterizados pelo elevado custo de investimento inicial. Ficou evidente que cada estudo de viabilidade deve contar com seu cenário técnico (localização geográfica do sistema, conexão à rede elétrica ou não), econômico (custo do sistema, taxas de juros praticadas, valor e tipo da tarifa de eletricidade) e legal (normativa em vigor, sistema de compensação).

**Palavras-chave:** Bomba de calor; Análise econômica; Energia solar; Pannel fotovoltaico.

### **INTRODUÇÃO**

As bombas de calor são utilizadas em processos de secagem de alimentos (por meio do aquecimento e desumidificação do ar circulante) e proporcionam melhores condições de operação, pois permitem um melhor controle da temperatura e umidade do ar. São ótimas alternativas para substituir os secadores convencionais, por promover redução no consumo de energia, melhor eficiência energética e menor impacto ambiental (Fortes et al., 2016).

A configuração experimental da bomba de calor está localizada no Centro de Energias Alternativas Renováveis (CEAR), da Universidade Federal da Paraíba (UFPB, João Pessoa). A bomba de calor opera com fluido refrigerante R22e é utilizada para fins de aquecimento e desumidificação do ar. O sistema é constituído por dois trocadores de calor, compressor, dispositivo de expansão e ventilador. Os estudos de Grilo et al. (2016) e Fortes et al. (2016) incluem a configuração preliminar (que já sofreu alterações), as alterações implementadas e em curso, bem como sugestões de modificações futuras.

Em busca de corroborar com os o trabalho desenvolvidos por Grilo et al. (2016) e Fortes et al. (2016), que realizaram análises termodinâmicas de uma bomba de calor, este trabalho oferece uma perspectiva econômica às análises existentes. Partindo do princípio de que a instalação de painéis fotovoltaicos oferece menores custos mensais e menores emissões de gases de efeito estufa, os trabalhos dos autores focarão em aspectos ambientais e econômicos para proporcionar outro ponto de vista às tradicionais análises.

Tradicionalmente, dentre os critérios determinísticos de viabilidade econômica, os mais usuais são a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Presente Líquido (VPL) e Período de Retorno de Capital (também conhecido pelo termo em Inglês, Payback).

## **OBJETIVO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar sob ponto de vista econômico a incorporação de painéis fotovoltaicos para suprir a eletricidade consumida pelo compressor de uma bomba de calor, a partir de uma configuração fornecida por uma empresa de energias renováveis.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **A Bomba de Calor**

A bomba de calor (Figura 1) utilizada foi construída e vem sendo desenvolvido experimentos no Laboratório de Sistemas de Refrigeração e Adsorção, do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR), da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa-PB).

Esta bomba de calor tem a finalidade de promover a secagem de produtos agrícolas por meio da circulação de ar quente e seco, e opera em ciclo aberto. Os componentes da bomba de calor são: ventilador, condensador, compressor, evaporador e dispositivo de expansão.

Operando em sistema aberto o sistema succiona ar ambiente que atravessa o evaporador onde passa por um processo de desumidificação, em seguida o ar com menor teor de umidade atravessa o condensador onde é aquecido. O sistema tem por objetivo obter ar em condições de temperatura, umidade e vazão necessárias para promover secagem de produtos alimentícios.

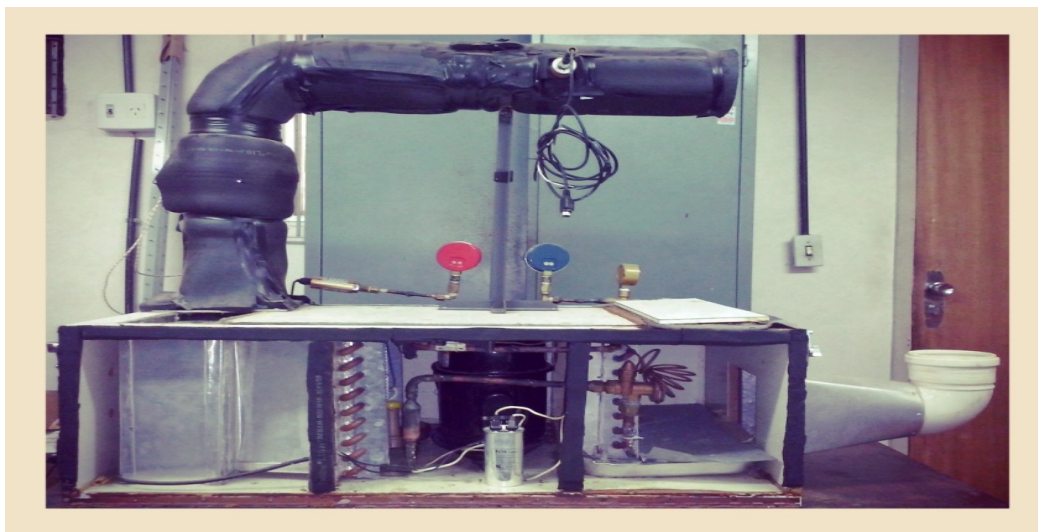


Figura 1 Bomba de calor utilizada nos experimentos. Fonte: LUIZ, 2007.

### Sistema Fotovoltaico

Considerou-se a bomba de calor operando 8 horas diárias, 30 dias por mês, totalizando 2.920 horas anuais de operação com potência de 1.25 kW e uma estimativa de consumo energético anual de 3600 kWh.

O dimensionamento do sistema fotovoltaico corresponde a uma planta solar de 1.82 kWp, que deve gerar 327,6 kWh/mês (3931,2 kWh/ano), considerando-se um período solimétrico de 6 horas/dia para a cidade de João Pessoa/PB.

Painéis solares Axitec AC-260P/156-60S foram selecionados, estes apresentam eficiência de conversão de 16.0%, potência nominal de 260 Wp e área de 1.63 m<sup>2</sup> (AXITEC, [201-]). O sistema fotovoltaico é caracterizado por microgeração distribuída, pois apresenta potência instalada menor ou igual a 75 kW, operando mediante sistema de compensação regulamentado por pela resolução 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (BRASIL, 2012). Para conversão da corrente contínua produzida pelo sistema em corrente alternada sincronizada com a rede foi selecionado inversor de frequência Fronius Galvo com potência nominal de 2.0 kWp (FRONIUS, 2011). A Tabela 1 apresenta os componentes do sistema e serviço de instalação com seus respectivos custos.

Tabela 5 Componentes do sistema fotovoltaico para bomba de calor.

Equipamento	Quant.	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Painel Solar AxitecAC-260P/156-60S	7	760,00	5320,00
Inversor FroniusGalvo 2.0	1	5905,00	5905,00
Estrutura de fixação dos painéis no telhado	7	99,00	693,00
Cabo Solar Flexível 6mm com isolamento de 1kVa	30	4,20	126,00
Par de conector MC4 com proteção IP67	2	27,90	55,80
Caixa de proteção AC e CC com dispositivo anti-furto	1	780,00	780,00
Sistema de Monitoramento	1	980,00	980,00
Aterramento triangular	1	130,00	130,00
Serviço de Instalação	1	1800,00	1800,00
<b>CUSTO TOTAL DO SISTEMA (R\$)</b>			<b>15789,80</b>

Apesar de apresentar um custo inicial ainda elevado, observa-se que o custo de sistemas fotovoltaicos tem caído substancialmente[Feldman *et al*(2014);Chunget *al* (2015); Davidson *et al* (2014);James *et al* (2013); Marigo e Candelise (2013)].

**Resolução Normativa nº482/2012.** Publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 17 de abril de 2012, a Resolução Normativa nº482/2012estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e define o sistema de compensação de energia elétrica (BRASIL, 2012).

Segundo Delgado (2015), a Resolução Normativa nº482/2012regulamentou a implantação do sistema de compensação de energia elétrica, onde o montante de energia gerado pela unidade pode ser injetado na rede de fornecimento convencional, cuja responsabilidade é da empresa distribuidora de energia.

Em 2015, a ANEEL ampliou as possibilidades para mini e microgeração distribuída, que começaram sua vigência em março de 2016, e será permitido o uso de

qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada (BRASIL, 2015a). Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, os créditos podem ser utilizados nos 60 meses seguintes (BRASIL, 2015b).

Mais detalhes podem ser consultados diretamente na normativa (BRASIL, 2012; BRASIL, 2015a), e em Delgado (2015), que compara o instituto do modelo regulatório brasileiro com o da Espanha, onde a geração distribuída está mais consolidada, sendo uma ferramenta útil para a compreensão e tentativa de aperfeiçoamento do modelo regulatório brasileiro.

### **Análise econômica**

A análise de viabilidade econômica foi realizada com base nos indicadores econômicos Período de Retorno de Capital (PRC), Valor Presente Líquido (VPL), e Taxa Interna de Retorno (TIR).

**Valor Presente Líquido (VPL).** Segundo Pindyck e Rubinfeld (2006), o critério do VPL corresponde a uma comparação entre o investimento realizado e o valor presente dos fluxos de caixa líquidos futuros que se espera obter pelo investimento. O VPL pode ser calculado pela Eq. 1:

$$VPL = -C + \sum_{n=1}^t \left[ \frac{L_n}{(1+R)^n} \right] \quad (1)$$

Onde, C representa o investimento inicial,  $t$  representa a quantidade de períodos de análise de viabilidade do investimento (normalmente a vida útil do equipamento),  $L_n$  o lucro obtido no tempo  $n$ , e  $R$  representa a taxa de desconto, também denominada taxa mínima de atratividade (TMA) ou custo de oportunidade do capital a investir.

Segundo Kopittke e Casarotto Filho (2000), a TMA é a taxa a partir da qual o investidor considera que está obtendo ganhos com o investimento. Em geral a definição da TMA se baseia em taxas de investimentos de baixo risco como poupança, taxas de títulos públicos, taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia), etc. (HOCHHEIM, 2002). Segundo Mishan e Quah (2007).

A taxa mínima de atratividade foi definida como a SELIC que é uma taxa nominal (N). Deve se observar a necessidade de se trabalhar com uma taxa de desconto real (R) levando em conta os efeitos da inflação (I). Petters e Dong (2016) definem a taxa real conforme Eq. 2.

$$R = \frac{N-I}{1+I} \quad (2)$$

A taxa SELIC e o índice de inflação foram definidos com base em dados históricos obtidos respectivamente no site da Receita Federal do Brasil (BRASIL, 2016a) e no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (BRASIL, 2016b) para o período de janeiro de 1995 a setembro de 2016. Resultando em uma taxa SELIC equalizada anual de 17,5175%, um índice de inflação equalizado anual de 7,3364%. O fluxo líquido/lucro para um dado ano  $n$  é definido conforme Eq. 3.

$$L_n = Ec_n + Res_n - Ret_n - Man_n - Dep_n \quad (3)$$

Onde  $Ec_n$  representa a economia anual devido à geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico para o ano  $n$ ,  $Res$  representa o valor residual de algum equipamento que venha a ser substituído no ano  $n$ ,  $Rel_n$  o custo associado a um reinvestimento caso haja necessidade de troca no ano  $n$ ,  $Man_n$  representa o custo de manutenção anual associado ao sistema fotovoltaico,  $Dep_n$  representa a depreciação anual do sistema fotovoltaico.

Para o cálculo de  $Ec_n$  considera-se um usuário enquadrado na modalidade tarifária convencional de baixa tensão, classe B3 (Comercial Serviços e Outros) cuja tarifa sem encargos praticada atualmente pela concessionária é de 0,379596 R\$/kWh (BRASIL, 2015c), submetido ainda a uma alíquota de 25% de ICMS(ENERGISA, 2016), e uma estimativa de 7% de incidência relativa à PIS e COFINS, a tarifa é corrigida conforme Eq. 4 (BRASIL, 2013), que aplicada na Eq. 5 permite a determinação de  $Ec_n$ .

$$T_c = \frac{T}{1 - (ICMS + PIS + COFINS)} \quad (4)$$

$$Ec_n = T_{c_n} \cdot E_{g_n} \quad (5)$$

Onde  $E_{g_n}$  corresponde à energia gerada pelo sistema fotovoltaico no tempo  $n$  em kWh. Partindo do princípio de que as faturas de energia elétrica são mensais as economias devido à geração de energia elétrica deverão também ser mensais. Observe que para o início do primeiro ano o valor presente descontado das receitas associadas a economia em faturas de energia dos meses subsequentes pode ser definido pela Eq. 6.

$$Ec_{ano=1} = \sum_{n=1}^{12} \frac{Ec_n}{(1+r)^n} \quad (6)$$

Onde  $r$  representa a taxa mínima de atratividade real ao mês podendo ser definida conforme Eq. 7.

$$r = (1 + R)^{\frac{1}{12}} - 1 \quad (7)$$

Logo  $Ec_{anual}$  representa o somatório dos fluxos associados à economia nas faturas de energia do primeiro ano, devido à geração do sistema fotovoltaico, em valor presente descontado para início do ano. Considerando que esta análise levará em conta 25 anos ou 300 meses se torna mais simples realizá-la anualmente. A título de exemplo, o valor presente da receita anual associada a geração do sistema no segundo ano poderá ser calculado como  $Ec_{ano=1}$  descontado um ano à taxa  $R$ . Considerou-se um aumento anual de 5% ( $IRT$ ) na tarifa energética, valor baixo quando comparado aos reajustes tarifários aplicados pelas concessionárias do estado da Paraíba do período de 1997 à 2012 (BRASIL, 2016c). O fabricante sugere ainda uma redução de eficiência dos módulos fotovoltaicos linear de 12% em 25 anos, equivalente à uma perda de eficiência de 0,48%/ano ( $P_{ef}$ ) (AXITEC, 2016) o somatório dos valores presentes das receitas

anuais devido à geração de energia do sistema para o período de 25 anos é calculado conforme Eq. 8.

$$EC_{25} = \sum_{n=1}^{25} \frac{EC_{ano=n} \cdot [(1+IRT)^n - 1] \cdot [(1-P_{sf})^{n-1}]}{[(1+R)^n - 1]} = EC_{ano=1} \cdot \sum_{n=1}^{25} \left[ \frac{(1+IRT)(1-P_{sf})}{(1+R)} \right]^{n-1} \quad (8)$$

A análise econômica considerou a depreciação anual ( $Disp$ ) de cada componente do sistema ao longo de sua vida útil ( $V_{util}$ ). Para tanto foi admitido um valor residual ( $V_{res}$ ) de 0% até 15% do valor de aquisição ( $V_{aq}$ ) para cada componente. A Eq. 9 define a depreciação anual.

$$Disp = \frac{V_{aq} - V_{res}}{V_{util}} \quad (9)$$

Com relação ao custo de manutenção, empresas consultadas sugerem que para o sistema conectado à rede o custo de manutenção é mínimo, envolvendo apenas limpeza dos painéis e verificação de cabeamento. Ainda assim, para este trabalho, optou-se por admitir um custo anual de manutenção de R\$ 300,00 referentes a duas visitas de um técnico para a realização de manutenção preventiva.

**Taxa Interna de Retorno (TIR).** Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que determina o ponto de equilíbrio em um investimento; é então a taxa de juros que faz  $VPL = 0$  (i.e., não existe nem prejuízo, nem lucro: ponto de equilíbrio) (ELETROBRÁS *et al.*, 2008).

**Período de Retorno de Capital (PRC).** O Período de Retorno de Capital (PRC), também conhecido por *payback* é, o critério mais aplicado e difundido em análises de viabilidade econômica, devido a facilidade de sua aplicação (ELETROBRÁS *et al.*, 2008). O PRC é interpretado como um importante indicador do nível de risco de um projeto de investimento (ASSAF NETO, 2009). O PRC não permite comparar o retorno entre dois investimentos, mas é um método bastante utilizado como um limite para determinadas tipos de projetos (COSTA, 2012).

O PRC simples corresponde ao tempo no qual o somatório dos fluxos de caixa se torna igual ao investimento inicial. Teoricamente, o investimento é aceitável se o *payback* for menor do que o período de vida útil do investimento. No entanto, segundo Ross *et al* (2013), se interpretado de maneira literal a análise por *payback* simples pode levar erros de decisão na hora de investir. Isso ocorre principalmente pelo fato de o *payback* simples não levar em conta a variação do valor do dinheiro com o tempo, o custo de oportunidade de capital e os fluxos de caixa obtidos após o período de *payback*.

Uma alternativa ao PRC simples é o PRC descontado, que corresponde ao *payback* simples com fluxos de caixa descontados até o tempo zero. Para este trabalho será utilizado o PRC descontado na análise do investimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de viabilidade econômica considerou diversos fatores, e.g., capacidade do sistema a ser instalado, custos de instalação (equipamentos, instalação,

projetos), tarifa de energia local, previsibilidade do aumento desta fatura de energia, consumo energético da edificação, custos com manutenção que, embora sejam baixos, influenciam no tempo de retorno, impostos cobrados pela energia solar gerada, tempo de depreciação dos materiais.

Estima-se que o sistema produza 327,6 kWh/mês. A estimativa de consumo da bomba de calor é de 300 kWh/mês, no entanto serão contabilizados os 327,6 kWh/mês pois o excedente pode ser convertido em créditos a serem utilizados no abatimento de consumo de outros equipamentos do local onde o sistema fotovoltaico esteja instalado, ou em local diverso de onde o sistema fotovoltaico esteja instalado desde que se enquadre como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto ou ainda ser convertido em créditos que podem ser utilizados para abatimento de fatura de até 60 meses subsequentes conforme Resolução Normativa N° 687/15 (BRASIL, 2015a).

A inclusão dos tributos na tarifa energética resultou em uma tarifa corrigida de 0,558229 R\$/kWh. Com base na estimativa de energia produzida mensalmente pelo sistema estima-se uma economia mensal de R\$ 182,88 na fatura de energia do proprietário. Para um dado ano base, a economia mensal na fatura foi descontada ao início do ano com base na taxa real mensal, conforme mostra Tabela 2, resultando em um valor presente de economia anual de R\$ 2090,10.

Tabela 6 Economias mensais na fatura descontadas ao início do ano.

Valor Presente da Receita Mensal (R\$)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
181,50	180,13	178,78	177,43	176,10	174,77	173,46	172,15	170,86	169,57	168,30	167,03
Valor Presente Anual (R\$)										2.090,10	

O valor de 2.090,10 será corrigido anualmente por uma estimativa de reajuste de tarifa energética de 5% ao ano e uma perda de eficiência na geração do sistema de 0,48% a ano. A tabela 3 apresenta a estimativa de vida útil e valor residual considerados para cada componente, resultando em uma depreciação anual de R\$ 955,26.

Tabela 3 Vida útil e depreciação de componentes do sistema fotovoltaico.

Equipamento	QTD	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)	Valor Residual (%)	Valor Residual (R\$)	Vida Útil (Anos)	Depreciação Anual (R\$)
Painéis Solares Axitec	7	760	5320	15	798	25	180,88
Inversor Fronius	1	5905	5905	5	295,25	10	560,975
Estrutura de fixação	7	99	693	5	34,65	25	26,334
Cabos Solares Flexíveis	30	4,2	126	5	6,3	10	11,97
Pares de conectores	2	27,9	55,8	5	2,79	10	5,301
Caixa de proteção AC e CC	1	780	780	5	39	10	74,1
Sistema de Monitoramento	1	980	980	5	49	10	93,1
Aterramento triangular	1	130	130	0	0	50	2,6
Depreciação Anual do Sistema (R\$)							955,26

Observa-se a partir da Tabela 3 com base na vida útil dos componentes observa-se que no décimo e vigésimo ano existe a necessidade de um reinvestimento, bem como a geração de receita por valor residual. No décimo ano o reinvestimento é avaliado em R\$ 7.846,8 e a receita por valor residual é de R\$ 392,32, que devem ser descontados até o tempo zero resultando respectivamente em R\$ 3.170,58 e R\$ 158,53. No vigésimo ano, de forma análoga, existirá um reinvestimento avaliado em R\$ 7.846,8 e receita devido ao valor residual de R\$ 392,32, que descontadas ao tempo zero resultam respectivamente em R\$ 1.281,10 e R\$ 64,06. No vigésimo quinto ano existirá receita devido à valor residual de equipamentos que ainda se encontram no meio de sua vida útil, avaliados em R\$ 4.952,22, que descontados ao tempo zero representam uma receita de R\$ 513,94. A Tabela 4 apresenta os fluxos de caixa descontados ao tempo zero.

Tabela 4 Fluxos de caixa descontados ao tempo zero.

Fluxos de Caixa Presentes (R\$)						
Tempo (anos)	Investimento	Receita Energia	Receita Residual	Manutenção	Depreciação	Fluxo Líquido
0	-15789,80					-15789,80
1		2090,10		-274,01	-872,50	943,59
2		1994,86		-250,27	-796,91	947,67
3		1903,95		-228,59	-727,87	947,49
4		1817,19		-208,79	-664,81	943,59
5		1734,38		-190,70	-607,22	936,47
6		1655,35		-174,18	-554,61	926,56
7		1579,91		-159,09	-506,56	914,26
8		1507,92		-145,30	-462,68	899,93
9		1439,20		-132,72	-422,59	883,89
10	-3170,58	1373,62	158,53	-121,22	-385,98	-2145,63
11		1311,02		-110,72	-352,54	847,76
12		1251,28		-101,12	-322,00	828,15
13		1194,26		-92,36	-294,10	807,79
14		1139,84		-84,36	-268,62	786,85
15		1087,89		-77,05	-245,35	765,49
16		1038,32		-70,38	-224,10	743,85
17		991,00		-64,28	-204,68	722,04
18		945,84		-58,71	-186,95	700,18
19		902,74		-53,63	-170,75	678,36
20	-1281,10	861,60	64,06	-48,98	-155,96	-560,38
21		822,34		-44,74	-142,45	635,16
22		784,87		-40,86	-130,11	613,90
23		749,10		-37,32	-118,84	592,95
24		714,96		-34,09	-108,54	572,34
25		682,38	513,94	-31,13	-99,14	1066,05

O somatório dos fluxos líquidos descontados ao tempo zero para um período de 25 anos gera um VPL positivo de R\$ 208,52o que torna o investimento aceitável. A TIR foi avaliada em 9,6297% a.a. O PRC descontado resultou em 24,8 anos, que é um tempo um pouco abaixo do período de análise do investimento. Com relação à taxa de desconto (TMA) foi utilizada uma taxa real em função da taxa nominal SELIC e índice de inflação IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo), que foram



definidos com base em taxas efetivas equalizadas aplicadas no Brasil do período de 1995 a 2016. Observa-se que a taxa SELIC atual é de 13,9% a.a. (Banco Central do Brasil, 2016), que é menor do que a taxa SELIC considerada (17,51%) o que tornaria o investimento mais viável.

Utilizando painéis de 245 Wp no Rio de Janeiro, o trabalho de Miranda (2014) utilizou 16 painéis e obteve TIR de 12,3%. De acordo com Reis, Valverde e Mendonça (2015), os aumentos recentes das tarifas de energia elétrica no Brasil ainda não tornaram a micro geração distribuída através de tecnologia fotovoltaica instalada em uma residência viável economicamente. A isenção do ICMS na aquisição do sistema seria considerada como fundamental para tornar esse tipo de projeto viável atualmente (REIS et al., 2015). No estudo de Amaral (2011), todas as unidades de microgeração analisadas inseridas no regime geral apresentam indicadores financeiros desfavoráveis, evidenciando a falta de viabilidade econômica neste regime remuneratório em Portugal.

Apesar das oportunidades, há obstáculos institucionais e tributários para o desenvolvimento dessa fonte de energia. Tiwarie Dubei (2010) afirmam que a análise técnico-econômica de sistemas fotovoltaicos depende principalmente do investimento inicial, custo operacional e de manutenção, vida útil do sistema e seu valor residual. Observa-se que sistemas fotovoltaicos apresentam em geral baixos custos de manutenção e operação, vida útil estimada em 25 anos, no entanto ainda são caracterizados pelo elevado custo de investimento inicial.

O custo inicial do investimento em painéis fotovoltaicos ainda é bastante elevado, no entanto nos últimos anos tem se observado uma queda exponencial no custo dos módulos fotovoltaicos o que pode fazer com que em breve o investimento em sistemas fotovoltaicos tenha grande aceitação. É importante que se considere nas análises a necessidade de re-investimentos. Para este momento, observa-se ainda uma necessidade de políticas governamentais de incentivo a implementação de microgeração e minigeração de energia elétrica com base em energia solar fotovoltaica. A redução de impostos incidentes sobre a aquisição de componentes do sistema pode tornar o sistema mais viável e será de grande valia ao país, tendo em vista que pode reduzir a demanda sobre o sistema nacional de energia elétrica, permite uma diversificação matriz energética nacional com uma maior representatividade da energia solar fotovoltaica, redução da emissão de gases nocivos ao meio ambiente, principalmente com a redução da atuação de termoeletricas, contribui com redução de perdas no transporte de energia elétrica, etc.

Ao investidor (comercial, industrial), vale a pena observar que a implementação de energia solar fotovoltaica não trará apenas benefícios associados às faturas de energia elétrica. O sistema pode ser utilizado em estratégias de marketing e criação de uma imagem sustentável em relação ao seu mercado consumidor. Fica clara a necessidade de se enfatizar que cada análise de viabilidade deve contar com seu cenário técnico (localização geográfica do sistema, conexão à rede elétrica ou não), econômico (custo do sistema, taxas de juros praticadas, valor e tipo da tarifa de eletricidade) e legal (normativa em vigor, sistema de compensação).

## COMENTÁRIOS FINAIS

Este trabalho apoiou-se no dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para alimentação do compressor (1,25 kW) de uma bomba de calor usada para desumidificação e aquecimento do ar, para realizar sua análise econômica.

Com relação à tarifação de energia elétrica observa-se que para clientes operando com tarifas energéticas mais baratas do que o proposto o sistema tenderá a deixar de ser viável economicamente. Considerar a influência das bandeiras tarifárias pode gerar resultados melhores com relação à viabilidade do investimento. O índice de reajuste tarifário considerado (5%) pode estar subvalorizado no país, principalmente com o aumento da participação de geração termoeletrica no Brasil. Uma perspectiva de maior IRT torna o projeto mais viável.

Com relação à eficiência do sistema, deve se observar que só foi considerada a perda de eficiência dos módulos fotovoltaicos. Observa-se ainda a necessidade de se considerar dados mais precisos e detalhados sobre a irradiação solar do local onde será implantado o sistema, principalmente para um investidor adepto de uma estrutura tarifária não-convencional, onde haverá compensação de energia em horário fora de ponta e horário de ponta, sendo necessário estimar a produção diária para cada um destes períodos.

Trabalhos futuros dos autores incluem a consideração *a priori* das perdas associadas a temperatura de operação dos módulos, sujeira, erros de fabricação, transporte de energia no cabeamento do sistema e eficiência máxima do inversor de frequência para dimensionamento do sistema. Análises de sensibilidade serão realizadas a fim de se definir a influência da estrutura tarifária do investidor e do sistema de bandeiras tarifárias. Também se considerará a pegada de carbono associada ao sistema fotovoltaico, em trabalhos voltados a inclusão da Avaliação de Ciclo de Vida como critério de análise ambiental.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Projeto Universal, nº 475879/2013-9 e Bolsa de Produtividade em Pesquisa, nº 303199/2015-6).

## REFERÊNCIAS

AMARAL, A.N. **Estudo da viabilidade económica da instalação de sistemas de colectores solares fotovoltaicos em edifícios residenciais**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2011.

ASSAF NETO, A. **Finanças Corporativas e Valor**. São Paulo: Atlas, 2009.

AXITEC. AXI power. 60 células / policristalino. [201-]. Módulos fotovoltaicos de alto rendimento Disponível em: <[http://www.axitecsolar.com/data/document\\_files/DB\\_60zlg\\_poly\\_power\\_MiA\\_BR.pdf](http://www.axitecsolar.com/data/document_files/DB_60zlg_poly_power_MiA_BR.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2016.

BCB - Banco Central Do Brasil, **Taxa SELIC – Dados Diários**, Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/htms/SELIC/SELICdiarios.asp>>. Acesso em: 11 nov. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução Normativa N° 482, de 17 de Abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. 2012.

BRASIL. ANEEL. **Por dentro da conta pública de energia**: informação de utilidade pública. 6. ed. – Brasília. 2013.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015**. 2015a.

BRASIL. ANEEL. **ANEEL amplia possibilidades para micro e minigeração distribuída**. 2015b. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=8955&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90)>. Acesso em: 20 maio 2016.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Homologatória nº 1858, de 27 de Fevereiro de 2015**. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ANEXO\\_%20EPB\\_reh20151858.pdf](http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ANEXO_%20EPB_reh20151858.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2016.

BRASIL. ANEEL. **Submódulo 6.8 do Programa de Regulação Tarifária (PRORET)**. 2015d. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolucao\\_Homologatoria.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolucao_Homologatoria.pdf)>. Acesso em 09 nov. 2016.

BRASIL. Receita Federal do Brasil. **Taxa de Juros SELIC**. 2016a. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-SELIC>>. Acesso em: 12 out. 2016.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Series Históricas IPCA**. 2016b. Disponível em: <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Precos\\_Indices\\_de\\_Precos\\_ao\\_Consumidor/IPCA/Serie\\_Historica/ipca\\_SerieHist.zip](ftp://ftp.ibge.gov.br/Precos_Indices_de_Precos_ao_Consumidor/IPCA/Serie_Historica/ipca_SerieHist.zip)>. Acesso em: 12 out. 2016.

BRASIL. ANEEL. **Atos Regulatórios - Reajuste Tarifário**. 2016c. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ReajusteTarifario/default\\_aplicacao\\_reajuste\\_tarifario.cfm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ReajusteTarifario/default_aplicacao_reajuste_tarifario.cfm)>. Acesso em: 17 nov. 2016.

CHUNG, D. et al. **US Photovoltaic Prices and Cost Breakdowns: Q1 2015 Benchmarks for Residential, Commercial, and Utility-Scale Systems**. NREL Technical Report, In Preparation, 2015.

COSTA, D. J. A. V. **Aplicação de conceitos da análise econômica financeira de investimentos em uma cafeteria**. Maceió: Fundação Getulio Vargas, 2012.

DAVIDSON, C. et al. **US Residential Photovoltaic (PV) Systems Prices, Q4 2013 Benchmarks: Cash Purchase, Fair Market Value, and Prepaid Lease Transaction Prices**. National Renewable Energy Laboratory, 2014.

ELETROBRÁS. **Análise econômica de investimento: guia básico**. Brasília : IEL/NC, 2008

ENERGISA. Home>Informações>Taxas Prazos e Normas>Tipos de Tarifas. 2015. <<http://www.energisa.com.br/empresa/Paginas/poder-publico/taxas-prazos-e-normas/tributos-impuestos-encargos.aspx>>. Acesso em: 09 nov. 2016.

FATOUH, M. et al. Herbs drying using a heat pump dryer. **Energy Conversion and Management**, v. 47, n. 15, p. 2629-2643, 2006.

FELDMAN, D. et al. **Photovoltaic (PV) pricing trends**: historical, recent, and near-term projections. 2014.

FORTES, A. F. F. et al. Análise termodinâmica de uma bomba de calor para desumidificação e aquecimento de ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 2016, João Pessoa. Anais... João Pessoa: UFPB, 2016.

FRONIUS GALVO. Carregadores de Bateria / Tecnologia de Soldagem / Energia Solar. 2011. Disponível em: <[http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-C212C700-3F740C22/fronius\\_brasil/\\_Galvos\\_\\_772962\\_snapshot.pdf](http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-C212C700-3F740C22/fronius_brasil/_Galvos__772962_snapshot.pdf)>. Acesso em: 09 nov. 2016.

GRILO, M. M. S. et al. Energy efficiency considerations for an experimental heat pump used for air heating and dehumidifying purposes. IN: CONGRESO INTERNACIONAL DE REFRIGERACIÓN, CLIMATIZACIÓN Y ENERGÍAS RENOVABLES, 10., 2016, La Havana. Anais... La Havana: CubaIndustria, 2016.

JAMES, T.; FELDMAN, D.; MARGOLIS, R. **Japan's Solar Photovoltaic (PV) Market**: an analysis of residential system prices. National Renewable Energy Laboratory-NREL. 2013. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60419.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2016.

KOPITTKE, B. H.; CASAROTTO FILHO, N. **Análise de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2000.

LUIZ, M. R. **Heat pump for air desumidification and heating (In Portuguese)**. M.Sc. thesis, Federal University of Paraíba, João Pessoa, Paraíba, Brazil, 2007.

MARIGO, N.; CANDELISE, C. What is behind the recent dramatic reductions in photovoltaic prices? The role of china. **Economia e Política Industriale**, 2013.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

MISHAN, E. J.; QUAH, E. **Cost-benefit analysis**. Routledge, 2007.

PETTERS, A. O.; DONG, X. **An Introduction to Mathematical Finance with Applications**. 2016.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. **Microeconomia**. 6. ed. São Paulo: Pearson, 2006.

REIS, V. V.; VALVERDE, A. R.; MENDONÇA, R. S. S. Viabilidade econômica de um projeto de micro geração fotovoltaica residencial no ambiente de compensação de energia elétrica. In: CONGRESSO ONLINE - ADMINISTRAÇÃO, 12., 2015, Anais..., [s.l.]. [s.l.]: Instituto Pantex de Pesquisa, 2015.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. **Corporate Finance**. 10. ed. São Paulo: McGraw Hill, 2013.

SILVA, R. M. **Energia solar no Brasil**: dos incentivos ao desafios. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas da Consultoria Legislativa, 2015. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

TIWARI, G. N.; DUBEY, S. **Fundamentals of photovoltaic modules and their applications**. Royal Society of Chemistry, 2010.