

ANÁLISE ECONÔMICA DA MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Francisco Anisio Vidal Baggio – francisco.baggio@snef.com.br

Instituto de Educação Tecnológica (IETEC) – Mestrado Engenharia e Gestão de Processos e Sistemas
Energ Power Ltda. / SNEF Brasil

Resumo. *Este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade econômica da implantação de micro e mini geração distribuída de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos em diferentes cenários. São apresentados os aspectos financeiros que influenciam na tomada de decisão do investidor como, por exemplo, os investimentos iniciais, custo evitado e despesas futuras. Para a análise da viabilidade foram utilizadas técnicas de modelagem dinâmica de sistemas com o software VENSIM Os resultados obtidos foram satisfatórios para alguns cenários, confirmando a necessidade de medidas de incentivos por parte do governo para assegurar a expansão desse segmento.*

Palavras-chave: *Minigeração Fotovoltaica, Energia Solar, Viabilidade Econômico-financeira.*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica é fundamental para o crescimento econômico da nação. Primeiro deve-se expandir a oferta de energia para que a meta do crescimento seja alcançada. A geração de energia elétrica deverá acompanhar o crescimento da demanda, e investimentos em fontes de energia limpa renovável são fundamentais para reduzir a geração de custo elevado, devido principalmente às fontes termoelétricas.

Energia renovável é aquela originária de fontes naturais que possuem a capacidade de regeneração (renovação), ou seja, não se esgotam. Como exemplos de energia renovável, podemos citar: energia solar, energia eólica (dos ventos), energia hidráulica (dos rios), biomassa (matéria orgânica), geotérmica (calor interno da Terra) e mareomotriz (das ondas de mares e oceanos). As fontes de energias renováveis, no geral, causam um pequeno impacto ambiental (poluição, desmatamento), tornando-as excelentes alternativas ao sistema energético tradicional, principalmente no cenário atual de luta contra a poluição atmosférica e ao aquecimento global. Atualmente, a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis constitui uma tendência verificável em diversos países, inclusive com a concessão de incentivos à geração distribuída de pequeno porte.

A geração fotovoltaica vem crescendo no Brasil atualmente pois é inesgotável, gera energia limpa, de forma silenciosa, não poluente, e pode ser integrada à arquitetura das edificações. A viabilidade econômica de uma planta de geração elétrica fotovoltaica depende principalmente do preço de aquisição da energia ofertado pela concessionária (custo evitado), dos investimentos realizados por kWh, custo financeiro do capital investido e nível de irradiação solar do local. Outras variáveis também afetam a rentabilidade, como o tempo de instalação da planta, o nível de depreciação da capacidade instalada, os custos de manutenção, peças de reposição e seguros.

Geração Distribuída (GD) é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do (s) consumidor(es) independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Os estímulos à geração distribuída justificam-se pelos potenciais benefícios que tal modalidade pode proporcionar ao sistema elétrico: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a redução de perdas e a diversificação da matriz energética.

A Resolução Normativa no 482/2012 da ANEEL possibilita utilizar o sistema de compensação de energia elétrica, na qual a unidade consumidora pode gerar energia elétrica em escala de microgeração ou minigeração. A energia gerada que exceder ao consumo da unidade pode ser injetada na rede da distribuidora local como forma de empréstimo gratuito e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados. Para efeitos de diferenciação, a microgeração distribuída refere-se a uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 quilowatts (kW), enquanto que a minigeração distribuída diz respeito às centrais geradoras com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 megawatt (MW).

A atratividade econômica da micro e minigeração está intrinsecamente relacionada às tarifas de energia elétrica convencional, já que o benefício, do ponto de vista financeiro, para o micro/minigerador é o custo evitado para a compra de energia elétrica convencional. Por meio da técnica de Dinâmica de Sistemas (DS) é possível adquirir um alto grau de conhecimento das variáveis técnicas e econômicas que compõem um sistema de geração de energia, contribuindo favoravelmente para tomada de decisão. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica da implantação de micro e minigeração distribuída de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos em diferentes cenários. Para a análise da viabilidade foi utilizada técnicas de modelagem dinâmica de sistemas com o software VENSIM-PLE (Personal Learning Edition) que é uma versão gratuita do Vensim, da Ventana Systems, Inc. para uso exclusivo pessoal na Educação (www.vensim.com).

2. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar energia elétrica por meio de células fotovoltaicas. Estas células são feitas de materiais capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica (efeito fotovoltaico), sendo o silício o material atual mais utilizado para este fim. O efeito fotovoltaico acontece quando a luz solar, através de seus fótons, é absorvida pela célula fotovoltaica. A energia dos fótons da luz é transferida para os elétrons que então ganham a capacidade de movimentar-se. O movimento dos elétrons, por sua vez, gera a corrente elétrica. As células fotovoltaicas podem ser dispostas em diversas formas, sendo a mais utilizada a montagem de painéis ou módulos solares. A Fig. 1 apresenta a estrutura básica da geração distribuída com compensação de energia cujas fontes primárias são: painel de células fotovoltaicas e turbina eólica.



Figura 1 – Sistema de Compensação de Energia

(Fonte: ANEEL – Caderno temático ANEEL – Micro e Mini Geração Distribuída)

Além dos painéis fotovoltaicos, também se utilizam filmes flexíveis, com as mesmas características, ou até mesmo a incorporação das células em outros materiais, como o vidro. As diferentes formas com que são montadas as células se prestam à adequação do uso, por um lado maximizando a eficiência e por outro se adequando às possibilidades ou necessidades arquitetônicas.

Em aplicações para suprimentos de pequenas demandas, os módulos são instalados em posição fixa, orientados para o hemisfério norte (módulos instalados no hemisfério sul) com inclinação segundo a latitude do local e perfil de demanda. Em projetos de maior porte, pode-se tornar viável economicamente instalar sistema seguidor do movimento do sol de acordo com a hora do dia e com o dia do ano.

Uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada a rede elétrica é composta de vários itens, sendo os principais: painéis solares, sistema de fixação ao envoltório da construção, sistema conversor CC-CA (inversores), cabos elétricos, proteção elétrica (fusíveis e disjuntores), proteção contra descargas atmosféricas e caixas de conexão.

O Brasil possui um ótimo índice de radiação solar, principalmente no nordeste brasileiro. Isto coloca o local entre as regiões do mundo com maior potencial de energia solar. A realização de projetos de sistemas solares exige o conhecimento da energia coletada pelo plano de abertura dos painéis fotovoltaicos. Estações solarimétricas fornecem dados de radiação solar.

O Fator de Capacidade representa o nível de atividade de uma usina em determinado período, ou seja, é a energia efetivamente produzida por uma usina dividida pela produção que teria funcionando em sua capacidade nominal durante todo o período. Este fator depende da localidade e é função da irradiação diária média (kWh/m².dia). Em Minas Gerais a irradiação solar diária média é de aproximadamente 5,23 kWh/m².dia e o fator de capacidade próximo de 16,3%.

A Energia Anual Gerada pelo sistema solar pode ser expressa por:

$$EG = P \times FC \times 8760 \text{ h/ano} \times DI \text{ (kWh)}$$

Onde:

EG – Energia anual gerada (kWh)

P – Potência instalada (kWp)

FC – Fator de capacidade do sistema (INS/24)

DI – Disponibilidade do sistema (número de horas/ano em que o sistema está disponível)

O rendimento das placas fotovoltaicas, dos inversores e perdas nos cabos devem ser avaliados pois estes influenciam significativamente na energia final disponibilizada. O sombreamento, inclinação e a orientação também são fatores que influenciam na energia disponibilizada.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da planta fotovoltaica estudada e premissas básicas

A localização da planta fotovoltaica é um item importante no estudo, pois o fator de capacidade é em função do nível de irradiação do local. O estudo foi realizado para diferentes fatores, propiciando análise para diferentes regiões.

O empreendimento analisado no estudo de caso foi denominado Planta Fotovoltaica Hipotética, dotada de painéis solares com capacidade total de 100kWp.

O prazo para implantação de uma planta fotovoltaica afeta o cronograma de desembolso financeiro e por consequência o resultado da análise econômico-financeira. Foi considerada a execução em 3 meses para a implantação da planta.

Além do prazo, foram adotados também para este estudo de caso os seguintes valores:

- Fator de Capacidade: variável entre 0,14 e 0,18.
- Conexão com a rede elétrica da distribuidora local: Baixa Tensão.
- Percentual de depreciação anual do sistema fotovoltaico: 1% ao ano.
- Taxa de juros do financiamento - real (nominal - inflação) para o investimento: 5 % ao ano.
- Valor financiado: Total do investimento.
- Vida Útil e Amortização: 20 anos.
- Perda nos Inversores: 4,5%.
- Perda Fiação: 1%.
- Perda proveniente ajuste de posição: 1%.
- Disponibilidade do sistema: 99,7% (manutenção preventiva realizada em horário noturno, 1 dia de falha ao ano).
- Custo manutenção mensal: R\$ 10/kW.
- Custo mensal reposição peças (ou seguro): R\$ 5/kW.
- Custo evitado da energia ofertada pela concessionária: variável entre R\$ 0,52/kWh e R\$ 0,88/kWh.

3.2 Análise econômica

Considerando as premissas e perspectivas desenvolvidas, foram estimados os Fluxos de Caixa futuros da planta, fundamentais para a determinação do Custo Evitado, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

Para se estabelecer a viabilidade econômico-financeira de um projeto fotovoltaico é necessário também que se leve em conta os fatores de potência instalada (kW), energia média (kW médios), tarifa de energia da concessionária (R\$/kWh), valor total do investimento (R\$), taxa de juros do financiamento e custo de operação e manutenção (R\$/kWh).

Usualmente, a análise de viabilidade do empreendimento adota o método do fluxo de caixa descontado através do qual são calculados o VPL, a TIR e o Payback. O objetivo principal é detectar a viabilidade ou não deste projeto e propor alternativas que propiciem a melhoria dos resultados.

Investimentos Iniciais

Após avaliação do interesse no investimento na geração fotovoltaica, análise de viabilidade econômica e obtenção da aprovação dos recursos financeiros, temos os investimentos que farão a planta fotovoltaica sair do papel e se tornar um empreendimento de fato. Para desenvolvimento deste trabalho utilizamos dados baseados em estudos, catálogos e cotações.

O orçamento total de uma planta fotovoltaica pode ser dividido em cinco partes: custo do espaço de instalação, do sistema solar (Kit), do Projeto de Instalação, Instalação e Adequações da Instalação (medição bidirecional, quadros de paralelismo, cabos de energia, ...). A Tab. 1 abaixo apresenta os custos estimados deste investimento.

Tabela 1- Custos estimados para a planta fotovoltaica de 100kWp

Aquisição Espaço de instalação	R\$ 0,00
Custo Kit Solar	R\$ 470.000,00
Projeto	R\$ 61.000,00
Adequação Instalação Elétrica Existente	R\$ 11.400,00
Instalação do Sistema Solar	R\$ 33.600,00
TOTAL	R\$ 576.000,00

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Consideramos neste estudo que não será necessário aquisição de área para instalação do sistema solar (utilização de espaço disponível, a exemplo telhado da edificação).

Custo Mensal

Após o sistema entrar em funcionamento teremos custos mensais de manutenção, peças de reposição ou seguro e pagamento da parcela de financiamento (amortização e juros). Na Tab. 2 abaixo é apresentado os custos estimados.

Tabela 2 - Custos estimados mensais para a planta fotovoltaica de 100kWp

Combustível	NA
Parcela de Financiamento	R\$ 3.766,10
Manutenção	R\$ 1.000,00
Reposição peças (ou seguro)	R\$ 500,00
TOTAL	R\$ 5.266,10

Fonte: Desenvolvido pelo autor.

Impostos e Taxas

Considerou-se isenção de impostos de ICMS e PIS/CONFIS no sistema de compensação de Energia (Convênio ICMS/CONFAZ 6/2013).

3.3 Modelo e simulações

Para elaboração deste estudo de caso foi realizada a modelagem do sistema de micro e minigeração distribuída e posteriormente programada com o software VENSIM.

O software VENSIM, é baseado em técnica de Dinâmica de Sistemas (DS), que possibilita adquirir um alto grau de conhecimento dos elementos que compõem o sistema estudado, contribuindo favoravelmente para tomada de decisão.

O modelo contempla os principais parâmetros que influenciam nos resultados, entre eles:

- Potência Instalada (kW)
- Investimento Kit Solar (R\$)
- Serviços de Instalação (R\$)
- Serviços de Adequação nas Instalações (R\$)
- Projeto (R\$)
- Taxa de Juros (%)
- Vida Útil (anos)
- Parcela de Financiamento
- Custo de Peças (ou seguro)
- Custo de Manutenção mensal
- Fator de Capacidade
- Potencia Disponibilizada
- Tx. de Perda Anual (envelhecimento)
- Perda nos Inversores
- Perda na Fiação
- Energia Disponibilizada
- Preço Energia Concessionária (custo evitado)
- Energia Consumida
- Energia Necessária
- Fatura Concessionária

Esta modelagem propicia a obtenção para diferentes cenários, a Economia Mensal (custo Evitado) que após ser contabilizado cumulativamente propicia a obtenção do Valor Presente Líquido (VPL).

A Fig. 2 mostra o diagrama da programação com o software VENSIM com os elementos que compõem o estudo de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos.

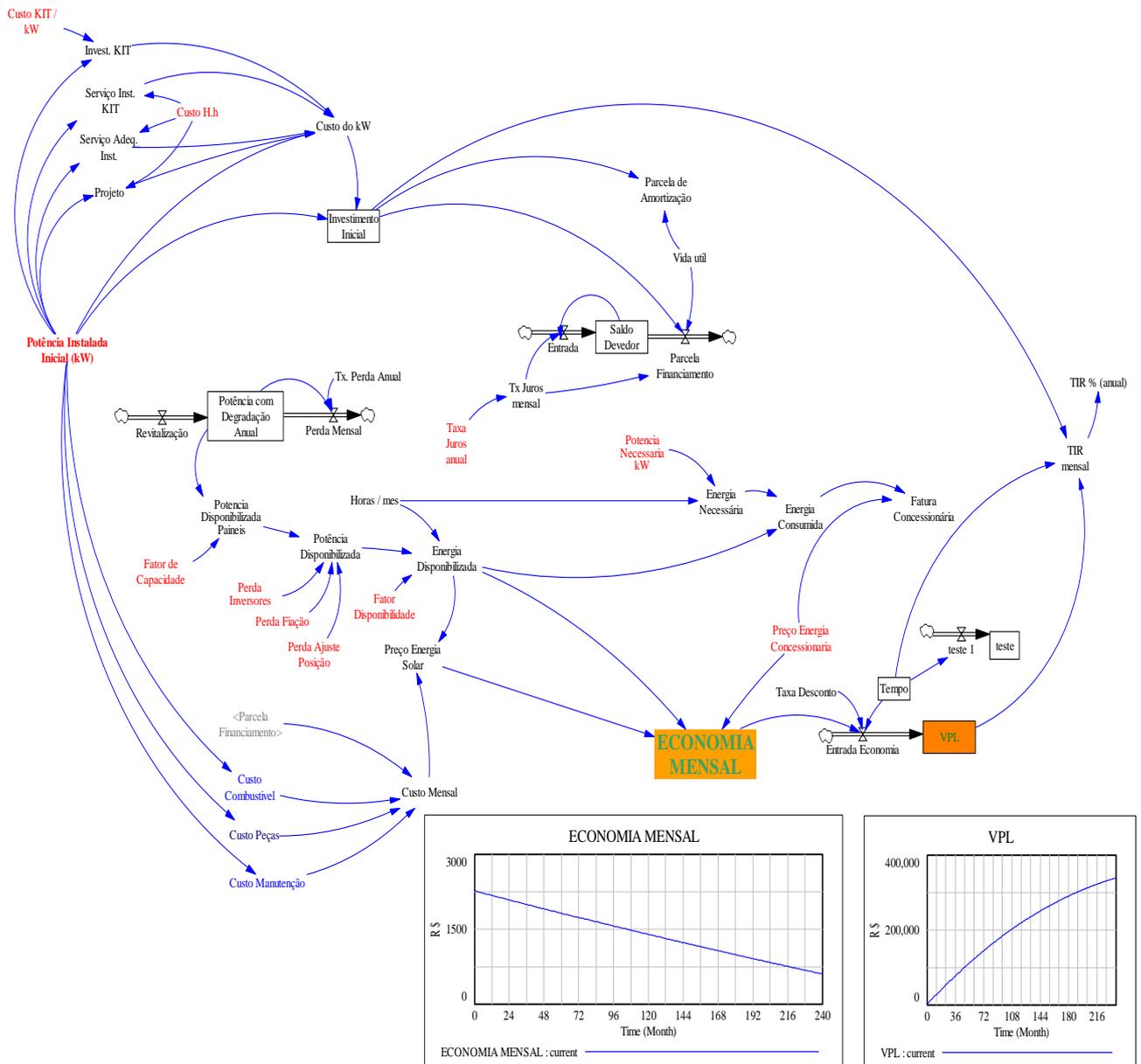


Figura 2 – Principais elementos que compõem o estudo de viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos (Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Fig. 3 abaixo contém os resultados da simulação considerando taxa de juros do capital financiado em 5% a.a. acima da inflação e sem aumento tarifa da concessionária (somente correção pela inflação – IPCA) para diferentes fatores de capacidade. Como pode ser observado foi obtido VPL positivo para Fatores de Capacidade acima de 0,14, em situações onde o custo evitado superior a ~ R\$ 0,64 / kWh.

Na Fig. 4 abaixo são apresentados os resultados da TIR (taxa interna de retorno) para diferentes fatores de capacidade, sem considerar aumento tarifa da concessionária. É possível visualizar que as Taxas de Retorno são interessantes para tarifas acima de R\$ 0,64 / kWh mesmo em regiões com baixo Fator de Capacidade (FC>0,14).

A Fig. 5 abaixo contém os resultados da simulação considerando fator de capacidade de 0,16 (FC=0,16) e taxa de juros do capital financiado em 5% acima da inflação para diferentes condições de reajuste tarifa da concessionária descontados a inflação (IPCA). Como pode ser observado foi obtido VPL positivo para cenário de reajuste negativo da tarifa (desconto de 1% a.a.), inclusive para tarifas baixas (~ R\$ 0,61 / kWh).

Na Fig. 6 abaixo são apresentados os resultados da TIR (taxa interna de retorno). É possível visualizar que as Taxas de Retorno são interessantes para tarifas acima de R\$ 0,58 / kWh, mesmo no cenário de ocorrência de reajuste negativo da tarifa de energia da concessionária (desconto de 1% a.a.).

A Fig. 7 abaixo contém os resultados da simulação considerando fator de capacidade de 0,16 (FC=0,16) sem reajuste real de tarifa da concessionária para diferentes taxas de juros do capital financiado em % a.a. acima da inflação. Como pode ser observado foi obtido VPL positivo para alguns cenários, comprovando a existência de grande sensibilidade à taxa de juros praticada.

De maneira geral, os resultados das simulações demonstram que com a isenção do ICMS sobre a energia compensada, aplicação de taxas de juros reduzidas, e instalação de painéis fotovoltaicos em regiões de elevado índice de irradiação solar já apresentam ganhos financeiros.

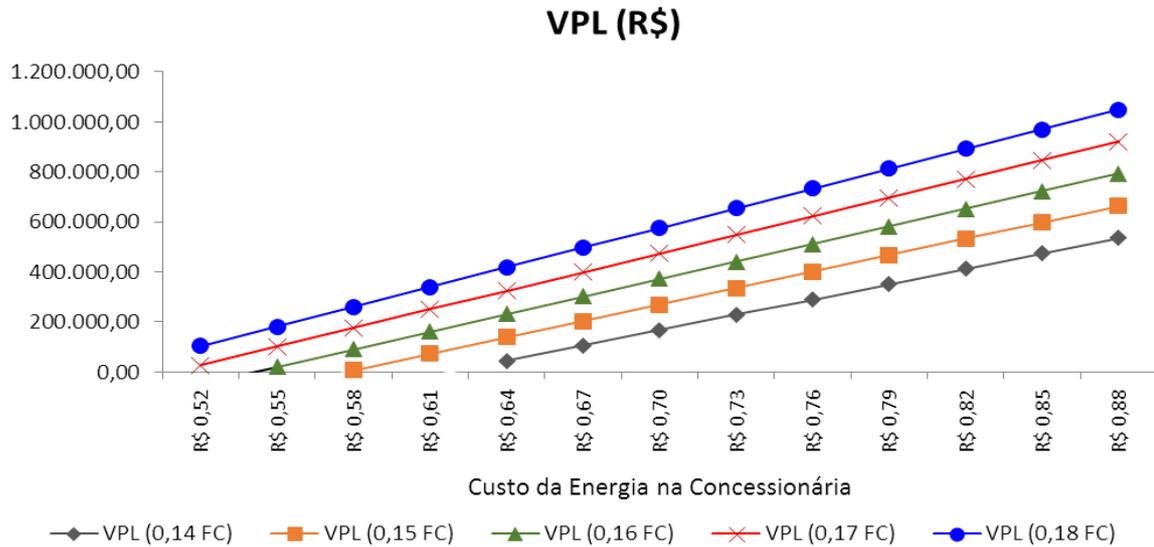


Figura 3 – VPL para financiamento com taxa de 5% a.a, sem reajuste real de tarifa em locais para diferentes fatores de capacidades
(Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

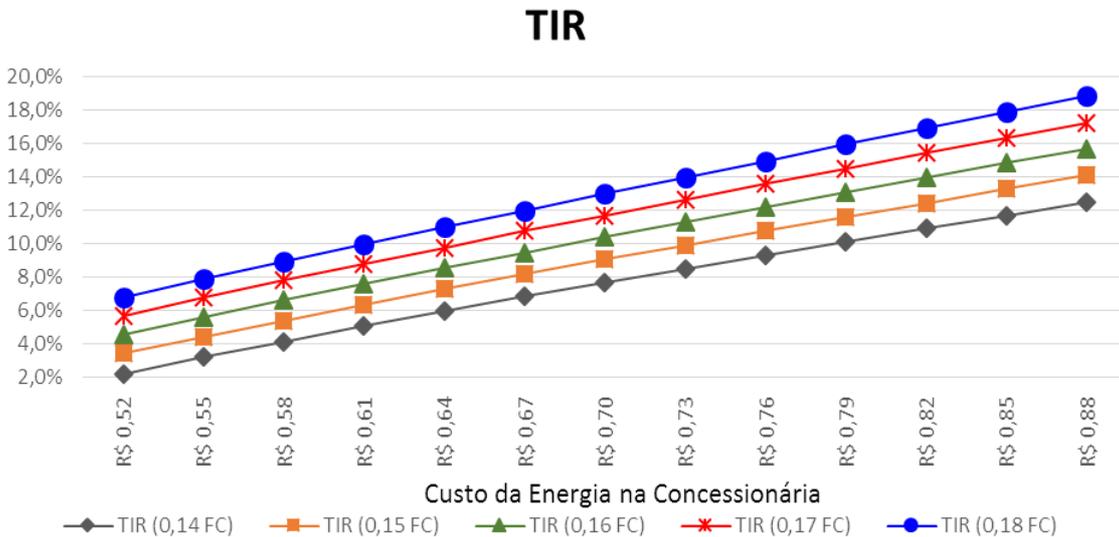


Figura 4 – TIR sem reajuste real de tarifa para diferentes fatores de capacidade
(Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

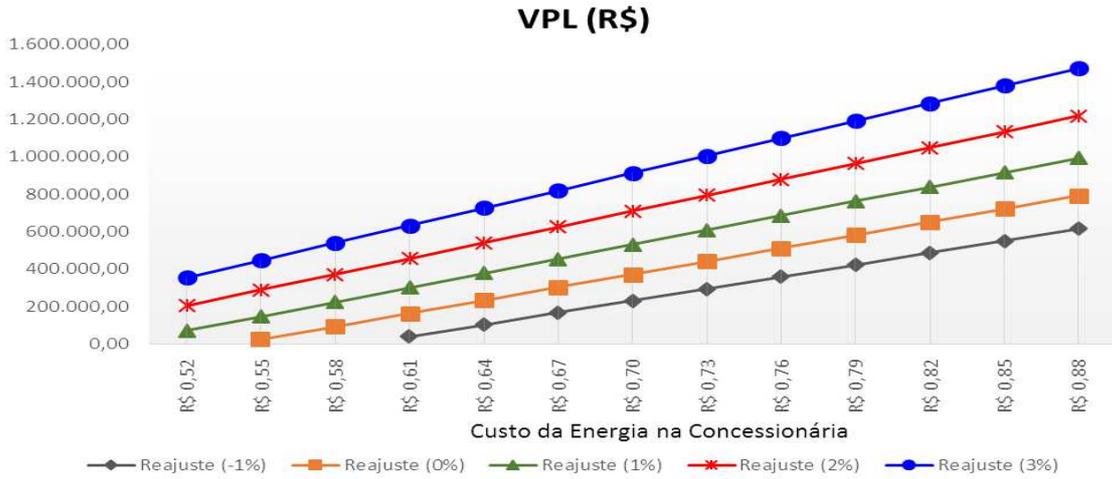


Figura 5 – VPL para região com fator de capacidade de 0,16 (FC=0,16) e financiamento com taxa de 5% a.a, para diferentes condições de reajuste de tarifa da concessionária.
(Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

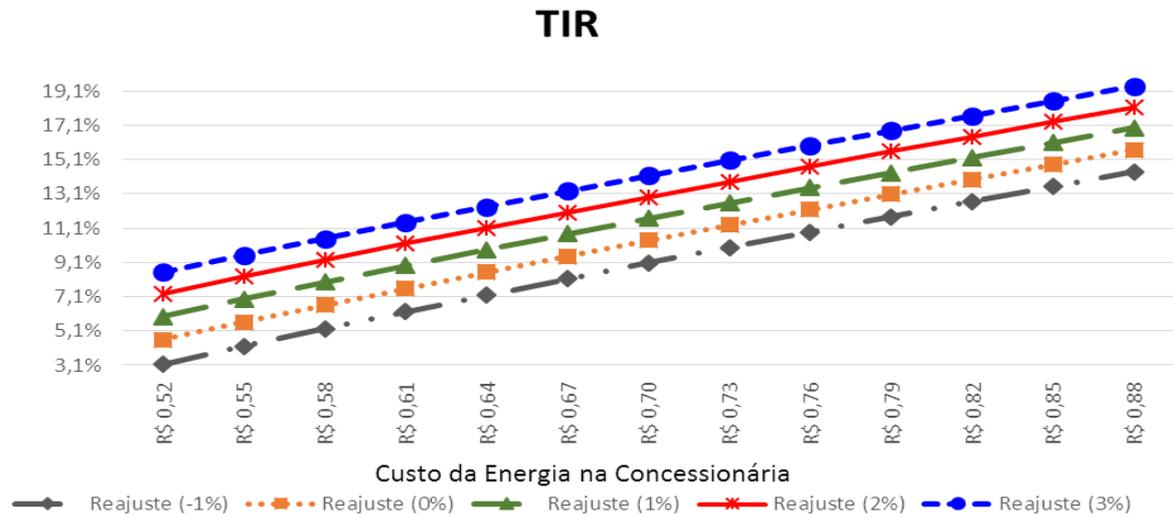


Figura 6 – TIR para região com fator de capacidade de 0,16 (FC=0,16) para diferentes condições de reajuste de tarifa da concessionária.
(Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

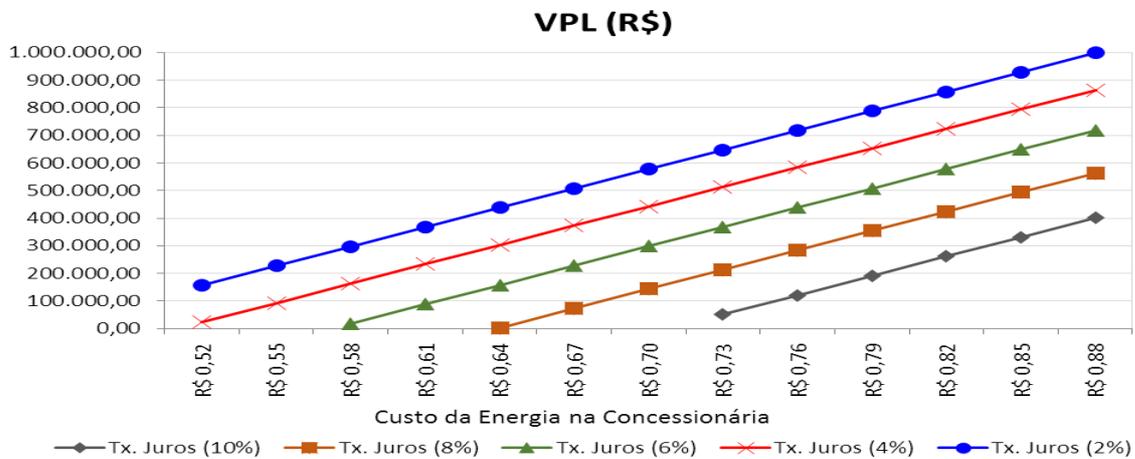


Figura 7 – VPL para região com fator de capacidade de 0,16 (FC=0,16) sem reajuste real da tarifa da concessionária, para taxas de juros do capital financiado em % a.a. acima da inflação
(Fonte: Desenvolvido pelo Autor)

5. CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que investimentos na geração distribuída utilizando painéis fotovoltaicos em sistemas de baixa tensão já apresentam resultados atrativos para fatores de capacidade acima de 0,14, principalmente em casos onde é propiciado isenção de tributação do ICMS sobre a energia compensada, ou seja, casos onde a tarifa de custo evitado é superior a R\$ 0,64 / kWh.

São necessárias medidas governamentais para incentivo deste setor, pois a geração fotovoltaica é inesgotável, gera energia limpa, de forma silenciosa, não poluente, e pode ser integrada à arquitetura das edificações. Assim, tornam-se necessárias mudanças nas políticas e diretrizes definidas pelo Conselho Nacional de Política Energética, que possui dentre suas atribuições, a função de promover a atração de investimentos na produção de energia e a utilização de fontes renováveis de energia.

Em resumo, para a viabilização na geração elétrica fotovoltaica e atração de investimentos no setor, se torna necessária e urgente a otimização na concepção dos sistemas fotovoltaicos (adequação das instalações para recepção da geração distribuída), incentivos governamentais (principalmente quanto a impostos) e melhoria nas condições de financiamento (redução das taxas de juros) praticadas.

REFERÊNCIAS

- ABINEE, Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, 2015. *Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica* - Brasil, São Paulo.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2014. *Cadernos Temáticos ANEEL: Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia Elétrica* - Brasil, Brasília.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. *Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012* - Brasil, Brasília.
- CONFAZ, Conselho Nacional de Política Fazendária, 2013. Convênio ICMS Nº 6, de 05 de abril de 2013 – Brasil
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética, 2014. Nota técnica DEA 19/14: Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos - Brasil, Rio de Janeiro
- García, J. M., 2009. *Theory and Practical Exercises of System Dynamics*
- GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. PEA-2420 Produção de Energia – Brasil, São Paulo.
- Ruther, R, 2004. Edifícios Solares Fotovoltaicos. pp. 39-40

ECONOMIC ANALYSIS OF MICRO AND MINI DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRICITY ENERGY USING PHOTOVOLTAIC PANELS

Abstract. *This study aims to assess the economic feasibility of the implementation of micro and mini distributed generation of electricity from photovoltaic panels in different scenarios. It considers the financial aspects that influence the decision-making of investors as, for instance, initial investments, the avoided costs and future expenses. For feasibility analysis were used dynamic modeling techniques of systems with VENSIM software. The results were satisfactory for some scenarios, confirming the need of stimulus actions by the government to ensure the expansion of this segment.*

Key words: *Photovoltaic Mini generation, Solar Energy, Feasibility Economic and Financial.*