

IMPLEMENTAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO TRIÂNGULO MINEIRO: UM ESTUDO DE CASO

Rafael Machado – rafael.producao01@gmail.com
Frederico de Sales Benassi– fredericobenassi@gmail.com
João Lucas Hana Frade – jlucashana@gmail.com
Gustavo Otero Prado – prado.gustavo@yahoo.com.br
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Departamento de Engenharia de Produção

Resumo. *O atual cenário energético brasileiro é caracterizado pela alta dependência da energia oriunda das hidrelétricas. No entanto, devido a variações climáticas e as políticas públicas adotadas, tal energia tornou-se insuficiente para sanar a demanda nacional. Tendo em vista as incertezas hídricas, a criação de bandeiras tarifárias e a diminuição no repasse de verbas para universidades, o presente artigo tem como objetivo verificar a capacidade da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) de gerar sua própria energia elétrica através de painéis solares, a viabilidade do projeto e adaptações necessárias para a sua implementação. Para isso, foi feito um levantamento do consumo energético da universidade e das possíveis áreas de instalação dos painéis fotovoltaicos. Logo, utilizando um software de suporte a decisão, a análise de cenários e econômica, atestou-se a viabilidade do projeto e o seu tempo de retorno. Além disso, utilizou-se de técnicas econométricas para compreender o atual cenário local considerando a relação entre as bandeiras tarifárias, o consumo em horário de pico, a demanda energética e o custo da energia. Com a análise dos resultados a proposta foi considerada viável para implantação considerando um tempo de retorno do projeto de 5 anos e 7 meses.*

Palavras-chave: *Energia solar, Econometria, Viabilidade.*

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é hoje um dos maiores produtores e consumidores de energia, tendo como principal meio de produção as fontes hídricas, com 86 mil MW (BEN, 2013). De acordo com dados do Banco Mundial (2014), somadas as contribuições da energia solar e eólica, o Brasil é o que possui maior taxa de utilização de energia renovável entre os países do G20.

Entre o período de 1970 a meados do ano 2000, a matriz energética nacional mudou consideravelmente, gerando redução do uso de lenha, aumento do consumo de bagaço de cana e principalmente, do uso do petróleo e de seus derivados (Lima *et al.*, 2014). O entendimento desse crescimento de fontes energéticas é citado por Bronzatti e Neto (2008) que atrelam a demanda energética de um país com seu crescimento, em específico, com seu Produto Interno Bruto (PIB). No ano de 2004, havia mais de 30 mil sistemas fotovoltaicos isolados instalados no Brasil, com uma perspectiva de aumento considerando a possibilidade de incentivos ou reduções tributárias (Brum, 2013). Lima *et al.* (2014) complementa que a maior dificuldade ainda para a implantação da energia solar fotovoltaica dá-se pelo custo das células. Bronzatti e Neto (2008) preveem que até 2030 a energia oriunda do Sol, ventos e resíduos, apresentarão maior aumento quanto a capacidade na matriz energética, tornando-se responsáveis por 8% da capacidade energética do país.

Considerando este estudo de caso, das opções de energia renováveis plausíveis, maré-motriz, eólica e solar, elimina-se a maré-motriz devida a localização da cidade de Uberaba, e a eólica devido à velocidade dos ventos da região e das dimensões que os parques geradores de energia devem possuir. Sendo assim, o trabalho analisará, de maneira específica, a implementação da energia solar. Logo, o objetivo do presente trabalho é o de verificar a possibilidade de implantação painéis fotovoltaicos na cidade de Uberaba voltada, exclusivamente, para atender a demanda do Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas (ICTE) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de compreender a viabilidade técnica e financeira do projeto, realizou-se análises de cunho climático, da estrutura física, do investimento necessário a ser realizado, e, por fim, do tempo de retorno para tal investimento. Aliado a essa análise, realizou-se um estudo econométrico com a finalidade de compreensão das variáveis impactantes nos custos.

2.1 Análise climática

De acordo com Guena (2007), usinas solares constituídas de células fotovoltaicas possuem rendimento variando entre 3 e 25%. A Fig. 1, ilustra o mapa de incidência solar diária do Brasil. A região de Uberaba, localizada na faixa do mapa que recebe em média 7 horas de insolação por dia, tem uma radiação de $16\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia})$ e, de acordo com os dados da ANEEL, mesmo as regiões com níveis menores de radiação solar, ainda são grandes potenciais de geração de energia através do Sol.

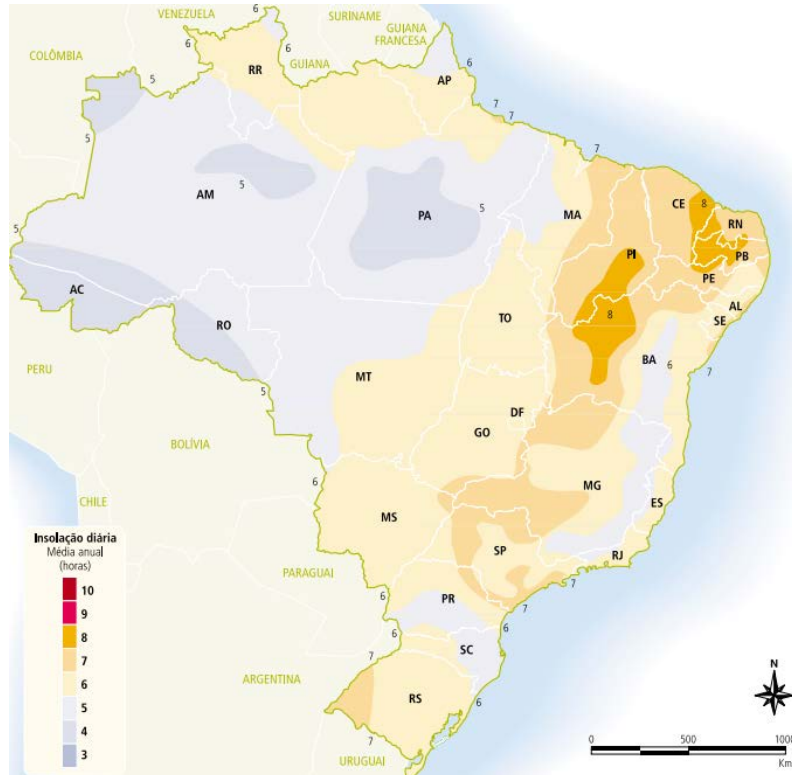


Figura 1 - Insolação diária.

2.2 Análise de Investimento Necessário

Visando verificar a viabilidade econômica e se obter um orçamento realista da implementação de células solares para o abastecimento energético do ICTE, foi feito o levantamento entre o mês de maio de 2014 e o mês de maio de 2015 dos seguintes valores, considerando informações durante e fora do horário de pico: consumo energético, tarifas, custos de variabilidade de horários e valor final. Com esses dados, solicitou-se um orçamento a empresas do ramo de painéis fotovoltaicos.

2.3 Análise Física

Para realizar a análise física e as demais etapas apresentadas nessa seção, fez-se necessário uma consulta técnica a empresas do ramo de instalações de painéis fotovoltaicos, resultando na área em m^2 necessária para a instalação das placas fotovoltaicas e seu peso associado.

No que diz respeito à área ocupada, para determinar a localização dos painéis solares no ICTE, duas hipóteses foram sugeridas. A primeira foi a de distribuir todas as placas em áreas térreas, localizadas nas proximidades dos estacionamentos, enquanto a segunda, levou em conta a instalação dos painéis nos topos dos prédios do instituto, o que necessitou de uma análise estrutural dos prédios.

2.4 Análise de Tempo de Retorno

De acordo com Samanez (2010), o valor de um projeto baseia-se na sua rentabilidade, ou seja, na geração de um fluxo positivo no futuro. Para quantificar tal análise, fez-se o estudo da Taxa Interna de Retorno (TIR), *payback*, do retorno sobre investimento (ROI) e valor presente líquido. Ainda considerado o autor, as técnicas de análises são divididas em duas, as que os fluxos de caixa são conhecidos ou desconhecidos. Como o presente trabalho, possui poucos dados históricos, visando um nível de significância de análises maior, optou-se por utilizar as duas análises. A primeira, utilizando *payback* descontado, e a segunda, o ROI.

Requisitou-se à empresa Solar, referência na área de geração de energia solar fotovoltaica, que fosse feito um orçamento que pudesse satisfazer a demanda energética do ICTE. Logo, visando calcular o tempo de retorno do investimento nessa fonte de energia, criou-se quatro cenários, com variação segundo dois parâmetros: custo para implementação do gerador fotovoltaico e gasto anual com energia elétrica. O primeiro parâmetro foi assumido conforme os orçamentos e o segundo adotou valores referentes a duas situações: uma com gastos relativos às medidas tarifárias adotadas no Brasil, em caso de acionamento de usinas termoeletricas, bandeira vermelha que acarreta em uma tarifa de R\$0,045 para cada kWh consumido (ANEEL,2016) , o que foi denominado situação de crise energética, e o outro utilizando dados estatísticos de contas do ICTE, sendo sete meses de bandeira verde, não sofrendo nenhum acréscimo e cinco meses de bandeira vermelha. Os cenários são apresentados a seguir:

- Cenário 1: O custo para implementação do gerador fotovoltaico no ICTE assumindo o valor mínimo dos orçamentos e o gasto anual com energia elétrica estimado com a suposição de crise energética;
- Cenário 2: O custo para implementação do gerador fotovoltaico no ICTE assumindo o valor máximo do orçamento e o gasto anual com energia elétrica estimado com a suposição de crise energética;
- Cenário 3: O custo para implementação do gerador fotovoltaico no assumindo o valor mínimo do orçamento e o gasto anual com energia elétrica considerando valores estatísticos entre junho de 2014 e maio de 2015;
- Cenário 4: O custo para implementação do gerador fotovoltaico no ICTE assumindo o valor máximo do orçamento e o gasto anual com energia elétrica considerando valores estatísticos entre junho de 2014 e maio de 2015.

Para o cálculo do custo de energia elétrica, considerando os próximos 8 anos, foi adotado como hipótese simplificadora que a correção das tarifas seja equivalente a correção da inflação. Assim sendo, a Eq. (1) e a Eq. (2), tem o termo de correção tarifária anual (I_j) nulo. No entanto, o equacionamento ficou preservado visando novas possibilidades de estudo. Projeções inflacionárias podem ser encontradas conforme estimativas do BCB (2015), Banco Itaú (2015), Conceição e Obreiro (2015) para os anos de 2016 até 2023.

$$PEI_j = PE_{j-1} + (PE_{j-1} * I_j) \quad (1)$$

Em que PEI_j é o preço da energia no ano j sem crise. Adotou-se como condição de contorno inicial o valor do preço de PE_{2015} que considera o histórico de gasto com energia elétrica no período entre junho de 2014 e maio de 2015..

$$PECI_j = PEC_{j-1} + (PEC_{j-1} * I_j) \quad (2)$$

Em que $PECI_j$ é o preço da energia em um cenário com crise energética no ano j. Assim como no caso anterior, adotou-se como condição de contorno inicial, o valor de PEC_{2015} .

Para o cálculo do *payback* descontado, são consideradas as informações do investimento inicial (I), montante gasto em melhorias da estrutura física da universidade (incluindo reforço em estruturas de transmissão), aquisição do sistema gerador de energia, bem como os custos associados ao processo de compra através da universidade. Além disso, inclui-se a previsão do Fluxo de Caixa no tempo t (FC_t), o custo do capital (K), que seriam os juros a serem pagos à bancos credores ou outras entidades de crédito. A Eq. (3), apresenta a fórmula do *payback* descontado.

$$I = \sum_{t=i}^T \frac{FC_t}{(1+K)^t} \quad (3)$$

2.5 Análise Econométrica

Como destacado por Gujarati (2006), econometria é uma análise quantitativa de cenários econômicos, com base em teorias e da inferência estatística. Sendo assim, o estudo econométrico seria capaz de apresentar a real relação entre variáveis e respostas, e, também, demonstrar qual o real impacto das oscilações energéticas no valor da conta.

Para tal análise, realizou uma regressão multivariada, com ajuda de Vetores Auto Regressivos (VAR), que levam em conta valores passados, sendo corrigidos para Vetores com Correção de Erro (VEC) como demonstrado na Eq. (5), em que Y é a variável dependente, X as variáveis independentes, μ é um erro aleatório e β a contribuição de cada variável.

$$Y_t = \beta_1 X + \beta_2 X + \mu + Y_{t-1} \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Climática

De acordo com Chiguera Tiba *et al.* (2000) pode-se observar que a maior irradiação solar se concentra nos meses de Setembro a Fevereiro, ou seja, nas estações da Primavera e do Verão. Nesse período, há uma média de irradiação de 18,7 MJ/(m².dia) Já nos meses de menor irradiação, ou seja, de Março a Agosto, a média reduz para 14,7 MJ/(m².dia). Logo, a média considerada foi de 16,7 MJ/(m².dia). Da mesma forma, obteve-se a média de insolação, valor correspondente a 7 horas/dia de luz útil.

Esses valores foram considerados plausíveis para implementação, uma vez que outros países exploradores da energia solar possuem médias menores. A saber, na Alemanha a maior média diária não ultrapassa 12,33 MJ/(m².dia). e na Espanha a média é de 15,04 MJ/(m².dia). A irradiação e a insolação mensais estão dispostas na Tab. 1.

Tabela 1 - Índices nacionais de irradiação e insolação, adaptado de Chigueru Tiba et al. (2000).

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
MJ/m ² . dia	18	20	16	16	14	14	14	14	16	20	20	18
Incidência (h)	6	6	7	7	8	8	8	8	7	7	7	5

3.2 Análise do investimento necessário

Os valores orçados variaram de R\$ 1.887.210,01 a R\$ 2.516.280,02. Assim, esses extremos foram utilizados para as análises, sendo definidos como caso otimista e pessimista respectivamente. Já os dados de correção do preço da energia foram apresentados na Tab. 2, bem como os valores dos cenários prevendo uma futura crise energética e para um cenário sem a crise energética.

Tabela 2 - Preço anual da energia.

Ano (j)	Preço anual Energia sem Crise(PEIj)	Preço anual crise energética (PECIj)
2016	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2017	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2018	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2019	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2020	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2021	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2022	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07
2023	R\$ 244.358,00	R\$ 338.985,07

Através desses dados realizou-se a análise de *payback* descontado, como demonstrado na Tab. 3.

Tabela 3 – Cálculo de *payback* considerando os cenários adotados.

Cenário	Custo do Gerador	PayBack
1- Crise energética e custo mínimo	R\$ 1.887.210,01	5 anos e 7 meses
2- Crise energética e custo máximo	R\$ 2.516.280,02	7 anos e 5 meses
3- Gastos históricos e custo mínimo	R\$ 1.887.210,01	7 anos e 9 meses
4- Gastos históricos e custo máximo	R\$ 2.516.280,02	10 anos e 4 meses

Portanto, foi possível perceber que, em todos os cenários, houve uma condição de retorno do investimento classificado com atrativo, segundo a metodologia do Retorno sobre o investimento (ROI). Para a pior das hipóteses o valor previsto foi de 10 anos e 4 meses e no melhor cenário o valor foi de 5 anos e 7 meses. Na melhor previsão, visto que a Disponibilidade Financeira (2014) da UFTM foi de R\$ 22 milhões para investimentos em toda a Universidade, o valor de custo inicial comprometeria cerca de 8,5% do orçamento.

3.3 Análise física

Para possuir uma potência instalada de 315 kWp, o que equivale a uma geração de aproximadamente 560 mil kWh/ano, o equivalente ao consumido no período de 2014-2015, serão necessários, pelo menos, 2000 m² para a instalação de 1258 placas fotovoltaicas de 250 Watts.

Atualmente, o ICTE conta com a disposição ilustrada na Fig. 2, sendo a área em verde, é uma área livre para construção, pode abrigar a instalação de uma usina solar, visto que, segundo dados da Prefeitura da UFTM (2015), a área ocupada corresponde a menos de 2% da área total do campus.

Quanto à hipótese de utilizar os telhados do instituto, os Blocos G (Restaurante Universitário) e o Bloco F, juntos, apresentam a área em m² suficiente para abrigar todos os painéis solares. Quanto à estruturação, cada um deles teria um aumento de peso dos painéis na ordem de 13 toneladas. Nesse caso, far-se-ia necessário um reforço na estrutura predial e das lajes.

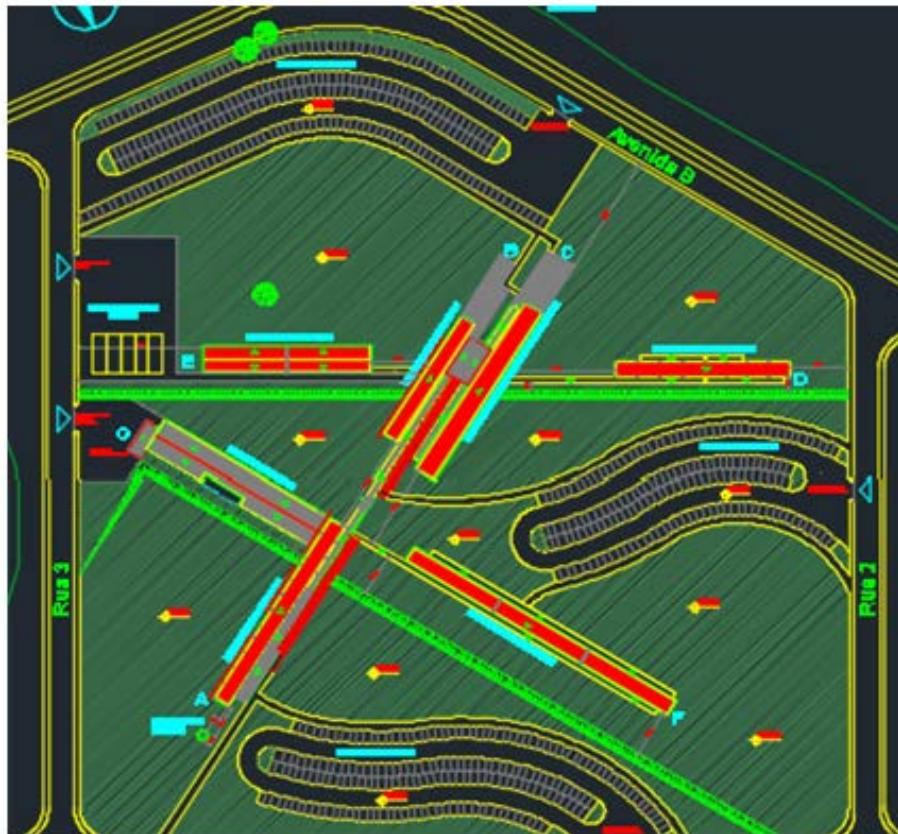


Figura 2 - Mapa de projeto do ICTE.

3.4 Análise econométrica

Através da análise econométrica, chegou-se a Eq. (6), que leva em conta os valores de hora fora dos horários de pico (HFP) e inclusos no horário de pico (THP).

$$\text{Valor da conta} = 0,07 * HFP + 72103 * THP + 5430 * IPCA - 105024 \quad (6)$$

Sendo assim, caso ocorra aumento no consumo de uma unidade de hora fora do horário de pico, acarretaria em um aumento de R\$ 0,07 na conta de energia. O mesmo vale para o IPCA, que neste caso simula a inflação e em como ela pode impactar a conta, e para a tarifa da hora de pico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando que o maior tempo para que haja o retorno do investimento calculado foi de 10 anos e 4 meses e o melhor cenário foi de 5 anos e 7 meses, o projeto se mostrou economicamente atrativo. No entanto, outros fatores como o comprometimento do orçamento anual da universidade foram levados em conta. Com as reduções no repasse da educação nos últimos anos, o investimento em independência energética atuaria em duas frentes, uma considerando a diminuição do ônus da universidade com o pagamento de contas energéticas e, em contrapartida, outra com o comprometimento do orçamento o que prejudicaria momentaneamente o investimento em outras áreas tais quais as que a infraestrutura ainda não se encontra plenamente estabelecida. No entanto, um outro aspecto relevante deve ser considerado, o marketing que a iniciativa da energia limpa é capaz de gerar. Logo, o projeto também tornaria a UFTM bem vista no cenário estudantil, acarretando um aumento do número de alunos interessados pela universidade, abrindo novas possibilidades para pesquisas e parcerias privadas. Portanto, este projeto foi considerado viável do ponto energético, econômico e social.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:
 < [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf) >. Acessado em 20 nov. 2015.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:
 < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758> >. Acessado em 19 jan. 2016.

- BCB-Banco central do Brasil - Previsão do teto da Inflação para os anos 2016 e 2017. Disponível em:
< <http://www.bcb.gov.br/?METASNORMA>> Acessado 20 de nov. 2015.
- Banco Itaú- Previsão do teto da Inflação para 2020. Disponível em:
< https://www.itaub.com.br/_arquivosstaticos/itaubBA/contents/common/docs/20130412_Brasil_2020.pdf>.
Acessado 20 de nov. 2015.
- Banco Mundial, 2014. State and trends of carbono. Disponível em:
< <http://documents.worldbank.org/curated/en/2014/05/19572833/state-trends-carbon-pricing-2014>>. Acessado em:
20 nov. 2015.
- BEN. Balanço Energético Nacional 2014 (Ano-Base 2013). Divulga relatório síntese de energia. Disponível em:
< <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorio Sintese.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013>>. Acessado em: 1 jul.
2015.
- BEN. Balanço Energético Nacional 2014 (Ano-Base 2013) – Capítulo 3. Divulga relatório final de energia para o ano
de 2014. Disponível em:
< <https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal.aspx?anoColeta=2014&anoFimColeta=2013>>. Acessado em: 1 jul.
2015.
- BronzattiI; F.L.; Neto; A.I., 2008. Matrizes energéticas no Brasil: Cenários 2010 a 2030. 28º ENEGEP, Rio de Janeiro,
RJ.
- Brum; T.S. Projeto de uso de energia fotovoltaica como fonte emergencial [trabalho de conclusão de curso]. Rio de
Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, curso de Engenharia Elétrica, 2013.
- Chigueru Tiba *et al.*, 2000. Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados terrestres. Ed Universitária da UFPE, Recife.
- Conceição, A. Previsão do teto da Inflação para 2018 e 2019. Disponível em:
< <http://www.valor.com.br/brasil/4245050/mercado-preve-inflacao-de-49-em-2017-e-de-453-em-2018>> Acessado
20 de nov. 2015.
- Disponibilidade Financeira. Disponível em:
< http://www.uftm.edu.br/upload/pesquisa/ANEXO_-_4_-_Disponibilidade_Financeira.pdf> Acessado em 9. Dez.
2015
- Guena, A.M.O., 2007. Avaliação Ambiental de diferentes formas de obtenção de energia elétrica. Tese de mestrado.
USP.
- Gujarati, D., 2006. Econometria Básica. 4ª edição. [S.I.]. Editora Campus.
- Lima, M.T.S.L *et al.*, 2014. Sobre a Situação Energética Brasileira: De 1970 a 2030. Ciência e Natura, Santa Maria, v.
37 Ed. Especial UFVJM, p.06-16.
- Oreiro, J. L. Previsão para inflação nos anos de 2021,2022 e 2023. Disponível em:
< <https://jlcoreiro.wordpress.com/tag/regime-de-metas-de-inflacao/>> Acessado em 20 de nov. de 2015.
- Prefeitura da UFTM – Plantas do ICTE.
- Samanez, C. P., 2010. MATEMATICA FINANCEIRA ,5a. edição. 5. ed. São Paulo: Pearson-Prentice-Hall.

IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC PANELS IN THE FEDERAL UNIVERSITY OF TRIÂNGULO MINEIRO: A CASE STUDY

Abstract. *The current energy scenario in Brazil is characterized by a high dependence on energy from hydroelectric sources. However, due to climate changes and public policies, this energy became insufficient to supply the domestic demand. Because of the water uncertainties, the creating of tariff flags and the decrease in the transfer of funds from the government to universities, this paper aims to determine the ability of the Federal University of Triangulo Mineiro (UFTM) to generate its own electricity through solar panels, the viability of the project and the adjustments necessary for its implementation. For this, data about the energy consumption of the university and the possible areas to the installation of photovoltaic panels were gathered. Then, using a decision support software, scenario and economic analysis, the viability of the project and its payback time were tested. In addition, it econometric techniques were used to understand the current local scenario considering the relationship between tariff flags, the consumption in peak hours, the energy demand and energy costs. With the analysis of the results, the proposal was pondered feasible to implement considering a project payback time of five years and seven months.*

Key words: *Solar Energy, econometrics, viability.*