

Análise da aplicação de políticas setoriais voltadas à eficiência energética e à geração distribuída na Universidade Federal do ABC

RESUMO

Observada a grande quantia despendida pelas instituições públicas de ensino superior com as despesas de energia elétrica, a ANEEL lançou a Chamada nº. 001/2016 para abrir espaço para novas pesquisas e minimizar os impactos da alta demanda de energia elétrica nessas instituições. Nesse contexto, torna-se necessário mensurar se os projetos em desenvolvimento estão obtendo resultados promissores. Assim, esse trabalho buscou analisar, por meio de um estudo de caso desenvolvido na UFABC, como a implementação de uma miniusina fotovoltaica e o *retrofit* do sistema de iluminação podem beneficiar a instituição. Os resultados das simulações utilizando o software *PVSyst* © *Copyright* mostram que a implementação da minigeração nos campi SA e SBC pode representar uma economia anual de R\$ 441.977,25. Já o *retrofit* no sistema de iluminação gera uma redução de R\$ 350.827,49 anual com gastos em energia elétrica. Logo, é possível notar que as ações em desenvolvimento no âmbito da Chamada nº. 001/2016, trazem relevantes benefícios financeiros a instituição, e ainda, proporcionam o enriquecimento da pesquisa na área de eficiência energética.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética; usina fotovoltaica; *retrofit* do sistema de iluminação; geração distribuída; consumo de energia elétrica em universidade pública.

João Vitor Silva Colombo

joao.colombo@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC – Santo André, São Paulo, Brasil.

Federico Bernardino Morante

Trigoso

federico.trigoso@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC – Santo André, São Paulo, Brasil.

Ricardo da Silva Benedito

r.benedito@ufabc.edu.br

Universidade Federal do ABC – Santo André, São Paulo, Brasil.

INTRODUÇÃO

Partindo da evidente dependência que a sociedade moderna possui com a energia elétrica, e da relação existente entre desenvolvimento socioeconômico e a capacidade de geração e consumo elétrico de um país, torna-se necessário compreender como as ações ou projetos governamentais voltados para o setor elétrico afetam o desenvolvimento do país (GOLDEMBERG, 1998). Para Curi et al. (2014), conhecer os custos dos serviços públicos é essencial para uma alocação eficiente dos recursos, sendo que o desconhecimento das despesas é o maior indicador de ineficiência no provimento da prestação de serviços públicos.

Na esfera pública federal, segundo o secretário de Gestão do Ministério da Economia Cristiano Heckert, a energia elétrica é uma das principais despesas de custeio da administração pública, sendo que atualmente o governo federal desembolsa cerca de R\$ 2 bilhões por ano com energia elétrica (Ministério da Economia, 2019).

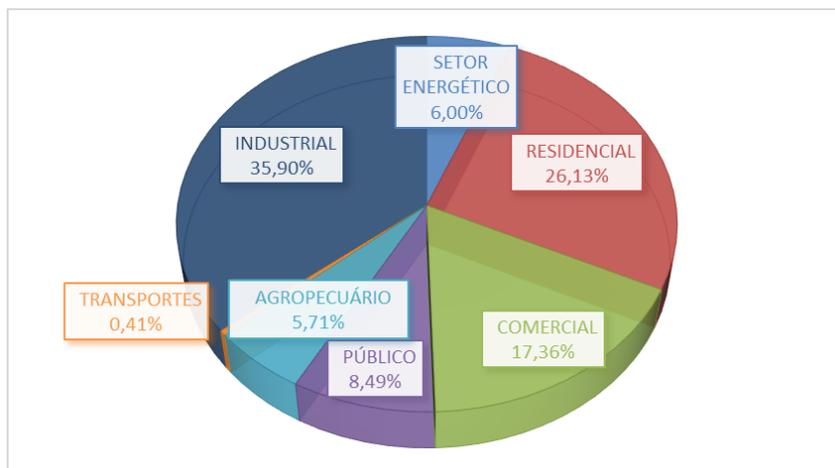
No âmbito das universidades federais brasileiras, Benedito et.al (2018), cita que segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, o pagamento das despesas com energia elétrica nas 63 universidades federais brasileiras constitui uma das despesas que geram maior dispêndio para essas instituições, sendo que, em 2015, foram gastos R\$ 430 milhões para essa finalidade, valor que representa aproximadamente de 9% dos gastos totais verificados para o ano.

Observadas as elevadas despesas e as dificuldades encontradas pelas universidades e institutos federais em quitar as faturas de energia elétrica, o Ministério da Educação - MEC, no escopo da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), solicitou junto à ANEEL o lançamento da chamada Nº 001/2016 - Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior” (ANEEL, 2016).

Com aviso publicado no Diário Oficial da União, nº 219, Seção 3, página 85, de 16/11/2016 (DOU, 2016) a chamada tinha o objetivo de receber propostas de projetos de Eficiência Energética – EE e Pesquisa & Desenvolvimento – P&D, buscando, sobretudo, projetos que propusessem a realização de *retrofit* em equipamentos energeticamente ineficientes, a criação de campanhas para mudança de hábito de consumo na comunidade acadêmica, a implementação de GD, e a criação de novas ferramentas de gestão energética; e que contemplassem ações de fomento a pesquisas acerca dos impactos da inserção de GD na rede de distribuição (ANEEL, 2016).

A Universidade Federal do ABC - UFABC, participante do Projeto Prioritário de EE e Estratégico de P&D da ANEEL, e objeto de estudo desse trabalho, encontra-se inserida na classe de consumo “Público”, que engloba serviços públicos e iluminação pública. Esta classe resultou em 8,49% do consumo total do país no ano de 2019, como pode ser visto na Figura 1 (EPE, 2020).

Figura 1. Consumo médio de energia elétrica por classe consumidora no Brasil 2019.



Fonte: EPE, 2020.

Mesmo com um consumo relativamente baixo, vale ressaltar que o montante consumido pela classe “Público” foi de aproximadamente 46.333 GWh no ano de 2019 (EPE, 2020).

Segundo dados do Boletim do Orçamento 2018/2019 da UFABC lançado pela Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional, foram gastos R\$ 4.438.779,26 com energia elétrica no ano de 2018, valor que representa 68,60% das despesas de funcionamento da instituição. O mesmo valor representa 8,97 % do montante das verbas equivalentes a R\$ 49.477.807,00 destinadas ao custeio da universidade (UFABC, 2019).

Uma relevante parcela desses gastos são fruto do uso de equipamentos com baixa eficiência, falta de manutenção adequada em equipamentos e instalações e de uma cultura que não reflete o uso racional de energia elétrica. Sobretudo, diversos autores MME (2011), SOUZA (2011) e PROCEL (2016) destacam a necessidade de consolidar o conceito de eficiência energética no plano de desenvolvimento do setor elétrico brasileiro.

Nesse contexto, o projeto de P&D e EE em desenvolvimento pela parceria Enel – Distribuição/UFABC no escopo da chamada Nº 001/2016 da ANEEL, propõe a implementação de uma miniusina de geração fotovoltaica nos campi de Santo André – SA e São Bernardo do Campo – SBC, realizar o *retrofit* em parte do sistema de iluminação do campus SA e estimular o desenvolvimento de pesquisas voltadas a GD, EE e sistemas elétricos de potência.

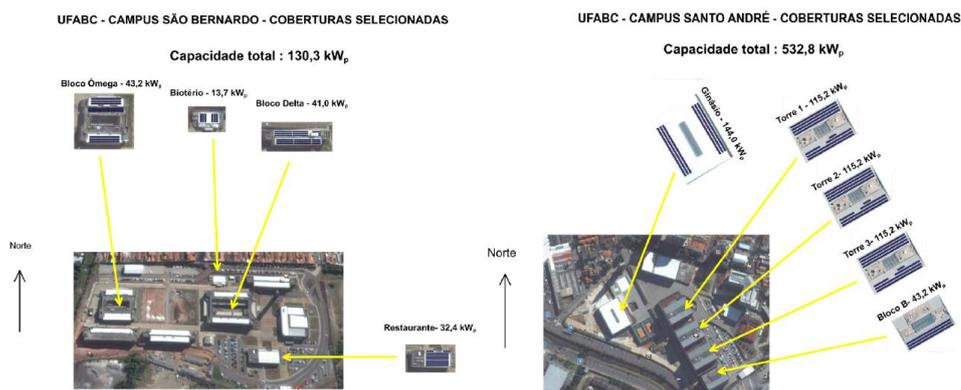
Assim, este trabalho objetiva estimar através de simulações com o software *PVSyst* © Copyright, a quantidade de energia gerada pela usina fotovoltaica em processo de implementação na instituição, bem como, estimar através de simulações analíticas, a energia que deixará de ser consumida com o *retrofit* de parte do sistema de iluminação, de forma que seja possível mensurar os impactos dessas ações em desenvolvimento no projeto UFABC/Enel no consumo de energia elétrica mensal da instituição.

METODOLOGIA

Miniusina Fotovoltaica

O projeto citado contempla a instalação de uma usina solar fotovoltaica de 663,1 kWp, composto por 9 subsistemas distribuídos entre os Campi SA e SBC, conforme a Figura 2.

Figura 2. Subsistemas dos campi de São Bernardo do Campo e Santo André



Fonte: UFABC, 2018

As simulações da geração fotovoltaica foram realizadas considerando os subsistemas mostrados na Figura 2, de forma que fosse possível considerar as especificidades da instalação, ou seja, número e arranjo de módulos fotovoltaicos, potência dos inversores e a orientação dos telhados conforme o norte geográfico. Os dados de irradiação para SA e SBC foram obtidos do *Software PVSyst 7 © Copyright* (base de dados importada do *Meteonorm 7,3*), com a utilização das coordenadas geográficas dos Campi da UFABC de Santo André (23°38'41.6"S 46°31'40.0"W) e São Bernardo do Campo (23°40'39.8"S 46°33'53.9"W).

A Tabela 1 apresenta informações dos subsistemas projetados no caso real para os campi Santo André e São Bernardo do Campo, contendo o modelo, a quantidade e dados de datasheet dos equipamentos utilizados, a orientação azimutal dos arranjos e a inclinação dos módulos fotovoltaicos. Devido ao posicionamento dos módulos no topo das edificações e sem grandes estruturas ao redor, não foram considerados pontos de sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos.

Tabela 1. Informações dos equipamentos utilizados por subsistema.

Bloco	Número de Módulos	Potência c.c. (kWp)	Tensão do Inversor (V)	Tensão de Conexão (V)	Azimute	Inclinação
A - T1 S	180	64,8	220	220	180	10
A - T1 N	140	50,4	220	220	0	10
A - T2 S	180	64,8	220	220	180	10
A - T2 N	140	50,4	220	220	0	10
A - T3 S	180	64,8	220	220	180	10
A - T3 N	140	50,4	220	220	0	10
B - N	120	43,2	380	220	0	10

E - NE	200	72	220	220	120	10
E - SO	200	72	220	220	-50	10
Bloco	Número de Módulos	Potência CC (kWp)	Tensão do Inversor (V)	Tensão de Conexão (V)	Azimute	Inclinação
Biotério - L	19	6,84	220	220	90	10
Biotério - O	19	6,84	220	220	-90	10
Delta -N	114	41,04	380	220	0	10
Gama - N	90	32,4	380	220	0	10
Ômega - N	120	43,2	380	220	0	10

Fonte: Autor.

Retrofit do Sistema de Iluminação

O projeto conta ainda com a substituição de 12.136 lâmpadas fluorescentes (consequentemente a retirada de 6.068 reatores eletrônicos 2x16W) no campus de SA por lâmpadas LED.

O *retrofit* de parte do sistema de iluminação da instituição conta com a substituição de 12.136 lâmpadas fluorescentes de 16W como os mostrados na Figura 3, por lâmpadas de tecnologia LED de 9W como a mostrada na Figura 4. Os reatores utilizados foram projetados para operarem em conjunto com duas lâmpadas fluorescentes tubulares, com isso, o *retrofit* resultou na retirada de 6.068 reatores eletrônicos, tendo em vista que as lâmpadas LED não utilizam reatores eletrônicos.

Figura 1. Equipamentos substituídos no *retrofit*, lâmpada à esquerda e reator à direita.



Fonte: Autor.

Figura 4. Equipamento novo colocado. Fonte: Autor.



Fonte: Autor.

Na literatura internacional podem ser encontrados diversos trabalhos com metodologias para controle de iluminação de ambientes internos, com métodos

que consideram a iluminação natural (Pandharipande e Caicedo, 2011; Wang e Tan, 2013; Soori e Vishwas, 2013) e métodos com e sem a utilização de sensores de controle de rede para sistemas com iluminação LED (Tran e Tan, 2014; Tan, Huynh e Wang, 2013). Esses trabalhos apontam para uma maior eficiência do sistema de iluminação quando associados a outros dispositivos ou técnicas de controle de luminosidade. Tais condições podem ser consideradas para futuras modernizações do sistema.

A avaliação do potencial de economia de energia apresentada no estudo de Gorgulu e Kocabey (2020), mediante propostas de *retrofit* no sistema de iluminação externa no campus da MAKU Istiklal, aponta que com a metodologia proposta a economia pode chegar a 60% quando inserida a tecnologia LED em comparação com tecnologias menos eficientes.

Para obtenção dos benefícios provenientes da substituição das lâmpadas no estudo de caso analisado, foi realizada uma simulação que utiliza a potência e a quantidade de lâmpadas instaladas, juntamente com uma estimativa do tempo de operação das mesmas, baseada em pesquisa de campo, no horário letivo e no período de funcionamento da Universidade.

Visando uma melhor compreensão dos impactos que o *retrofit* proporcionaria, foram considerados três cenários com diferentes tempos de operação, levando em consideração a utilização simultânea de toda carga instalada de iluminação objeto do estudo, e variando o tempo de utilização durante os dias. Considerando um cenário mais econômico (12h ao dia), um cenário de consumo moderado (15h ao dia) e por fim um cenário com utilização que atenda todo o horário letivo diário (18h ao dia).

As quantidades detalhadas e as especificações dos equipamentos são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Especificações dos equipamentos, potência e horas de funcionamento diário.

Equipamento	Quantidade	Potência Consumida (W)	Horas de funcionamento por dia (h)
Lâmpadas Fluorescentes	12.136	16	12/15/18
Reator Eletrônico	6.068	2	12/15/18
Lâmpadas LED	12.136	9	12/15/18

Fonte: Autor.

O consumo diário de potência (P_{dia}) dos equipamentos foi obtido pela multiplicação da quantidade em uso (Q), pela potência consumida (P_{cons}), multiplicada pelas horas de funcionamento por dia (H_{dia}), como mostrado na Equação 3.

$$P_{dia} = Q * P_{cons} * H_{dia} \quad (1)$$

O consumo anual foi obtido pela multiplicação da P_{dia} por 365 dias do ano, sendo que a potência consumida pelos equipamentos substituídos (lâmpada fluorescente + reator) foi somada para encontrar a economia referente à substituição pelo LED.

Avaliação de Viabilidade Financeira

Como mencionado por Costa (2015), todos os investimentos necessitam passar por uma avaliação de rentabilidade. Assim, foram utilizadas figuras de mérito para fornecer parâmetros avaliativos, sendo que, os principais parâmetros utilizados na avaliação de viabilidade para sistemas fotovoltaicos são a Taxa Interna de Retorno – TIR, Valor Presente Líquido – VPL e *payback time*.

Para Laponi (2000), o VPL estabelece o resultado líquido de uma aplicação trazendo todos os fluxos de caixa futuros para o valor atual através de uma taxa de juros. Para Pinho, Martins e Spritzer (2012), o VPL é um indicador que mede o valor presente dos fluxos de caixas gerados por um projeto durante toda sua vida útil.

Para valores de $VPL > 0$, o projeto é considerado economicamente viável, apresentando ganhos e pagando seus custos de investimento e operação. Para $VPL \leq 0$, o projeto é considerado economicamente inviável.

Assim, o cálculo do VPL segundo Macedo (2014) e Santos, Souza e Dalfior (2016) é apresentado pela Equação 2.

$$VPL = -CF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+i)^j} \quad (2)$$

Onde $-CF_0$ é o investimento inicial, CF_j os fluxos de caixa esperados para um determinado ano, i é a taxa de desconto aplicada e n é o tempo de duração do projeto (considerado como 25 anos nesse estudo).

O cálculo da TIR está diretamente ligado ao VPL, sendo a TIR o valor que zera o VPL. Para Samanez (2007), a TIR não objetiva obter a avaliação da rentabilidade em valor absoluto do projeto, e sim a taxa intrínseca de rendimento do mesmo. Assim, a TIR como apresentada por Albuquerque et.al (2016) pode ser obtida pela Equação 3.

$$0 = -CF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1+TIR)^j} \quad (3)$$

Para o cálculo do tempo em que o capital investido no projeto é recuperado, utilizou-se o indicador *Payback* descontado. Esse indicador considera uma correção monetária durante o período de vida útil do projeto, sendo conhecida como taxa de desconto ou TMA - Taxa Mínima de Atratividade (Laponi, 2000).

Para obtenção dessas figuras de mérito, foram considerados fatores para ajustar a geração do sistema fotovoltaico à sua realidade de eficiência. Como apresentado por Benedito, Asano e Torin (2018), o sistema fotovoltaico sofre uma degradação da sua capacidade geração. Assim, para esse estudo foi considerada uma redução de geração equivalente à 2,5% no primeiro ano e de 0,7% nos anos subsequentes (Oliveira, 2018).

O valor considerado da tarifa paga a concessionária foi de R\$ 0,55/kWh. O reajuste tarifário foi adotado como sendo de 8% ao ano (Oliveira, 2018; Benedito, Asano e Torin, 2018). A Taxa Mínima de Atratividade foi considerada como a taxa

Selic, que representa os juros básicos da economia brasileira. Na análise financeira a taxa era de 2,0% ao ano (d'Ávila, 2020).

DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

Geração estimada utilizando *software PVSyst* © Copyright

A Tabela 3 mostra a quantidade de energia elétrica gerada em cada subsistema contabilizada mensalmente e o total da produção anual para o campus SA, utilizando o *software PVSyst* © Copyright.

Analisando o montante de energia elétrica anual gerada nos subsistemas do Bloco E face NE e SO, possuindo a mesma potência instalada, é possível identificar um déficit de geração de cerca de 5,76% do NE em relação ao SO. Sendo esta diferença de valor atribuída as diferenças de orientação azimutal das águas do telhado.

Ainda na Tabela 3, é possível observar com ainda mais clareza os efeitos da orientação azimutal na geração dos subsistemas instalados nas torres do Bloco A, sendo que os subsistemas com face ao Sul possuem potência instalada superior aos com face Norte, e nos meses maio, junho e julho a geração da face norte fica superior ao subsistema mais robusto da face sul, com uma produção 8,35% menor no mês de junho.

Neste caso, analisando os subsistemas individualmente é possível afirmar que um projeto arquitetônico elaborado levando em consideração o posicionamento dos edifícios e das águas dos telhados em relação ao norte geográfico, aumentaria a eficiência de geração de energia dos sistemas fotovoltaicos. Desta forma, vale apontar a necessidade de incluir esse fator nas futuras construções, tanto da própria universidade que encontrasse em expansão, quanto de demais prédios públicos e edificações.

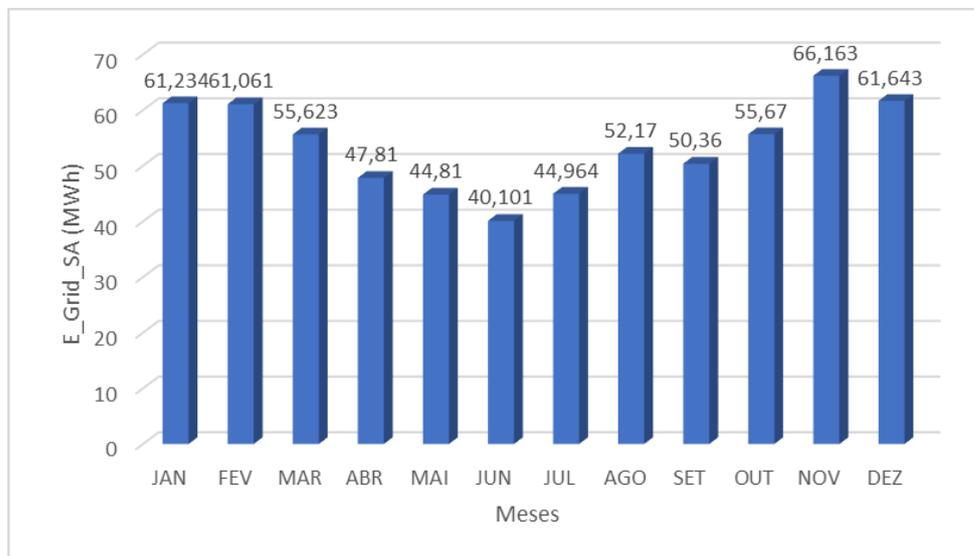
Tabela 3. Geração estimada por subsistema no Campus SA.

Mês	Bloco A - T1N	Bloco A - T1S	Bloco A - T2N	Bloco A - T2S	Bloco A - T3N	Bloco A - T3S	Bloco B	Bloco E - NE	Bloco E - SO
JAN	5,749	7,571	5,749	7,571	5,749	7,571	4,873	8,15	8,251
FEV	5,85	7,387	5,85	7,387	5,85	7,387	4,947	8,196	8,207
MAR	5,454	6,518	5,454	6,518	5,454	6,518	4,662	7,344	7,701
ABR	4,893	5,32	4,893	5,32	4,893	5,32	4,181	6,224	6,766
MAI	4,762	4,736	4,762	4,736	4,762	4,736	4,083	5,719	6,514
JUN	4,405	4,037	4,405	4,037	4,405	4,037	3,78	5,012	5,983
JUL	4,892	4,593	4,892	4,593	4,892	4,593	4,194	5,636	6,679
AGO	5,466	5,626	5,466	5,626	5,466	5,626	4,684	6,642	7,568
SET	5,002	5,824	5,002	5,824	5,002	5,824	4,254	6,636	6,992
OUT	5,347	6,689	5,347	6,689	5,347	6,689	4,554	7,391	7,617
NOV	6,232	8,152	6,232	8,152	6,232	8,152	5,28	8,878	8,853
DEZ	5,765	7,65	5,765	7,65	5,765	7,65	4,887	8,331	8,18
ANO	63,817	74,103	63,817	74,103	63,817	74,103	54,379	84,159	89,311

Fonte: Autor.

A Figura 5 apresenta os montantes mensais de energia elétrica geradas no campus SA, e como esperado, os meses com menor geração compreendem os meses do ano que estão no inverno, havendo menor incidência de irradiação solar.

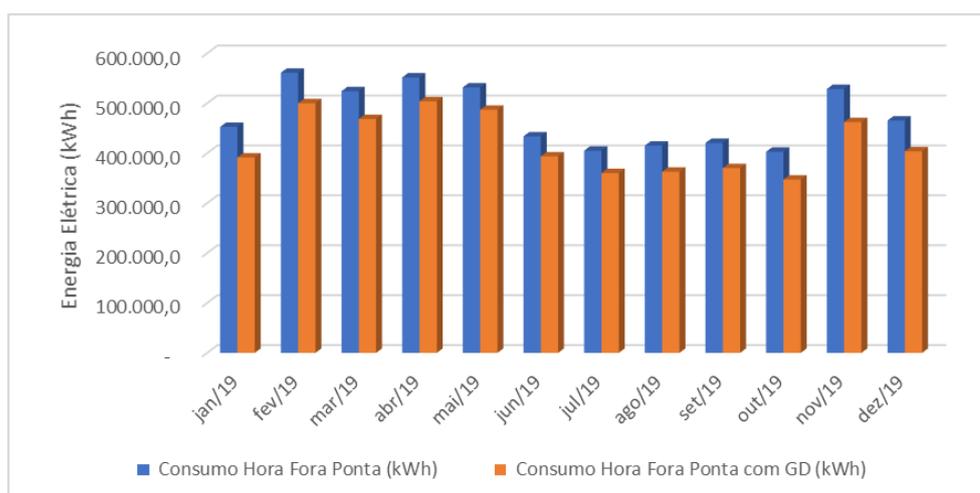
Figura 5. Geração mensal de energia elétrica no campus SA.



Fonte: Autor.

A Figura 6 mostra a variação do montante de energia gerada em relação ao consumo no horário fora de ponta, sendo que para 2019 o mês de outubro teve a maior participação da GD, com 13,81% do montante consumido da rede, isso devido ao menor consumo observado para este mês. Já o mês com maior geração efetiva foi o mês de novembro, com participação de 12,51%, sendo observado o maior índice de irradiação incidente, fator que influencia diretamente na geração de energia por fonte fotovoltaica.

Figura 6. Impacto da Geração Distribuída no Consumo de Energia Elétrica 2019 UFABC - Santo André.



Fonte: Autor.

A Tabela 4 mostra as quantidades de energia elétrica gerada em cada subsistema contabilizada mensalmente e o total da produção anual para o campus SBC. Como destaque, vale apontar que os blocos Delta, Gama e Ômega possuem o

sistema instalado com orientação azimutal para o norte geográfico, tendo máximo aproveitamento durante todo o ano.

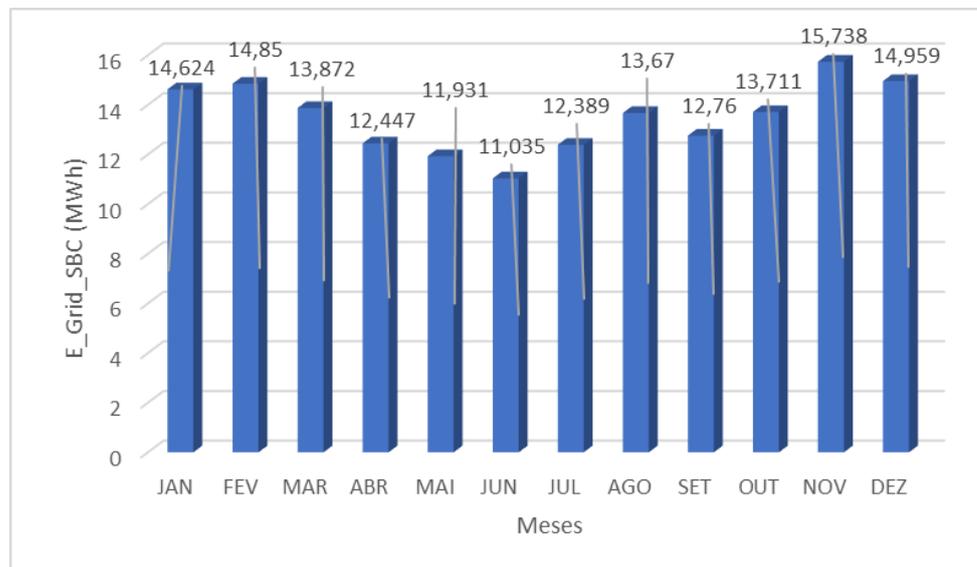
Tabela 3. Geração estimada por subsistema no Campus SBC.

Mês	E_Grid (MWh)				
	Biotério - L	Biotério - O	Delta - N	Gama - N	Ômega - N
JAN	0,712	0,733	4,643	3,68	4,856
FEV	0,717	0,735	4,723	3,746	4,929
MAR	0,646	0,661	4,426	3,496	4,643
ABR	0,563	0,566	3,984	3,145	4,189
MAI	0,522	0,517	3,833	3,024	4,035
JUN	0,467	0,466	3,555	2,805	3,742
JUL	0,528	0,528	3,988	3,147	4,198
AGO	0,607	0,616	4,38	3,456	4,611
SET	0,582	0,597	4,078	3,223	4,28
OUT	0,655	0,659	4,365	3,449	4,583
NOV	0,779	0,787	4,99	3,975	5,207
DEZ	0,735	0,741	4,747	3,753	4,983
ANO	7,513	7,606	51,712	40,899	54,256

Fonte: Autor.

A Figura 7. Geração mensal de energia elétrica no campus SBC. apresenta os montantes mensais de energia elétrica geradas no campus SBC, e como esperado, os meses com menor geração compreendem os meses do ano que estão no inverno, havendo menor incidência de irradiação solar.

Figura 7. Geração mensal de energia elétrica no campus SBC.

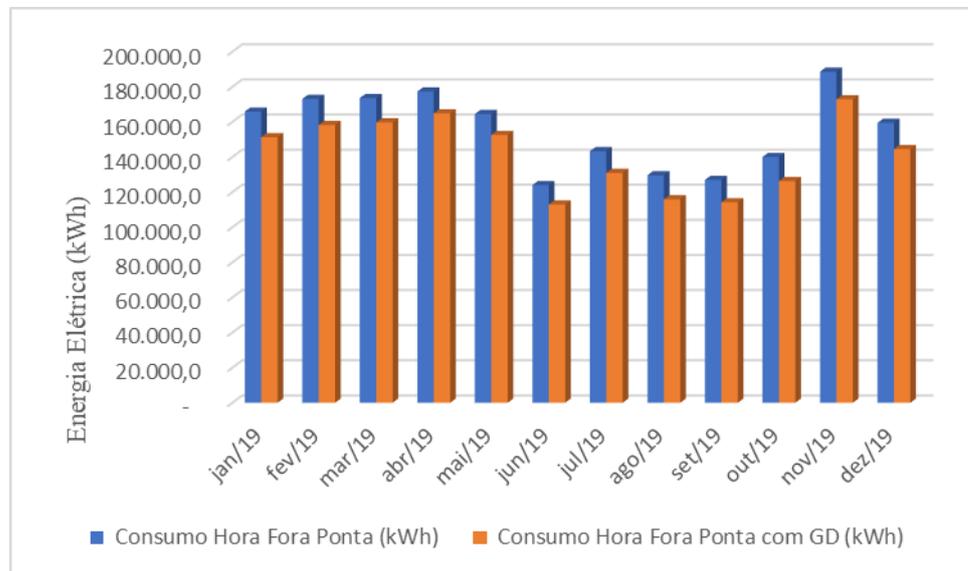


Fonte: Autor.

A Figura 8 mostra a variação do montante de energia gerada em relação ao consumo no horário fora de ponta para o campus SBC, sendo que para o ano de 2019 o mês de agosto teve a maior participação da GD, com 10,05% do montante consumido da rede, isso devido ao baixo consumo registrado para este mês. Já o

mês com menor geração efetiva foi o mês de junho, com participação de 8,9%, refletindo o mês com menor índice de irradiação incidente.

Figura 8. Impacto da Geração Distribuída no Consumo de Energia Elétrica 2019 UFABC - São Bernardo do Campo.



Fonte: Autor.

A Tabela 5 mostra os montantes de energia elétrica que serão gerados anualmente na miniusina fotovoltaica da Universidade Federal do ABC para os campi SA e SBC.

Tabela 5. Energia total gerada em um ano nos Campi SA e SBC.

Campus	Santo André	São Bernardo do Campo
E_Grid (MWh)	641,609	161,986

Fonte: Autor.

Em termos financeiros, considerando a tarifa média de R\$ 0,55 para o período fora de ponta, a instalação da miniusina fotovoltaica da UFABC proporcionará uma economia anual aproximadamente de R\$ 441.977,25 quando somados os valores economizados em SA e SBC, como mostrado na Tabela 6. Valor que representaria uma redução de 9,75% do valor gasto com energia elétrica no ano de 2019, somadas as despesas de ambos os campi.

Tabela 6. Quantia economizada por ano com a GD.

Campus	Santo André	São Bernardo do Campo
Economia	R\$ 352.884,95	R\$ 89.092,30

Fonte: Autor.

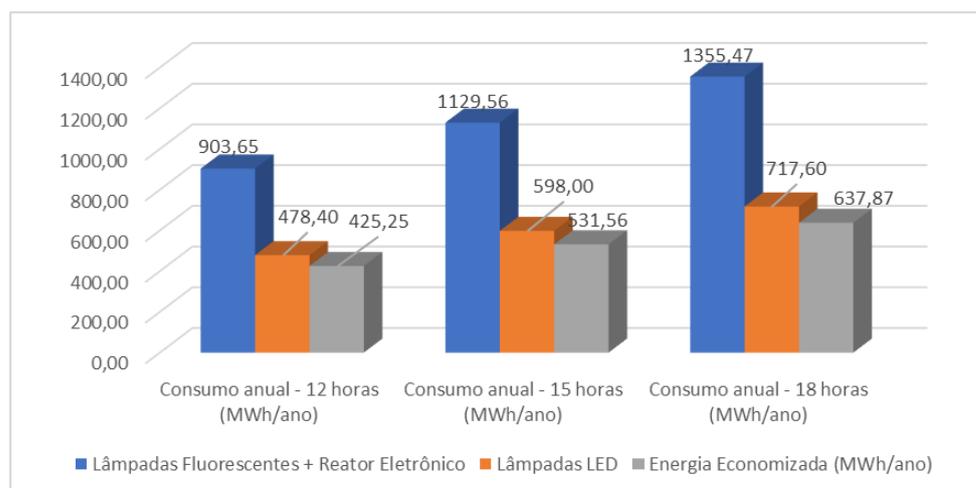
Análise do Retrofit do Sistema de Iluminação

Seguindo com a proposta de analisar três cenários comportamentais de utilização do sistema de iluminação estudado como apresentado em Materiais e Métodos, vale ressaltar que campanhas de conscientização que alertam e estimulam para uma utilização responsável dos recursos energéticos na

instituição, podem ser valiosas ferramentas para atingir o objetivo de reduzir o tempo de operação do sistema de iluminação.

Assim, a Figura 9 mostra os valores de consumo calculados através da Equação 1 multiplicado por 365, referente ao número de dias do ano, para o caso antigo com as lâmpadas fluorescentes e com reatores eletrônicos e para situação após o *retrofit*, ou seja, com as lâmpadas LED já em funcionamento. Também é mostrada a economia anual que a substituição de tecnologia proporcionou, chegando a uma economia real de 637,87 MWh/ano, representando uma redução de 47,05% em relação ao consumo inicial para o cenário que atende todo o período letivo.

Figura 9. Consumo do Sistema de Iluminação do Blocos B e C para os diferentes cenários.



Fonte: Autor.

Em termos financeiros, considerando a tarifa média cobrada pela distribuidora por kWh igual a R\$ 0,55 centavos, a redução do montante dispendido com a despesa de energia elétrica pode ser equivalente a R\$ 350.827,49 por ano como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7. Valores calculados de consumo e economia obtida com o *retrofit*.

Custo com:	Cenários		
	Consumo anual - 12 horas	Consumo anual - 15 horas	Consumo anual - 18 horas
Lâmpadas Fluorescentes + Reator Eletrônico	R\$ 497.005,61	R\$ 621.257,01	R\$ 745.508,41
Lâmpadas LED	R\$ 263.120,62	R\$ 328.900,77	R\$ 394.680,92
Energia Economizada (MWh/ano)	R\$ 233.884,99	R\$ 292.356,24	R\$ 350.827,49

Fonte: Autor.

Análise Econômica da Usina de Geração Fotovoltaica

Segundo dados apresentados na folha 10 da Nota Técnica nº 0120/2017-SPE/ANEEL, de 13/06/2017, o valor estimado do sistema de geração solar fotovoltaica está orçado em R\$ 6,2 mil por kWp instalado. Desta forma, o custo aproximado do sistema com potência instalada de 663,1 kWp é de R\$ 4.111.220,00, sendo considerado um valor razoável e dentro dos padrões do mercado.

Desta forma, a Tabela 8 mostra os parâmetros considerados na análise financeira da miniusina de geração fotovoltaica da UFABC. Considerando a vida útil do sistema em 25 anos, a soma dos Valores Presentes resulta em R\$ 21.195.602,96 e o Valor Presente Líquido soma a cifra de R\$ 17.084.382,96. A TIR ficou em 17%, valor 8,5 vezes superior à taxa de desconto, e a Taxa de Lucratividade ficou em 4,15, ou seja, o VPL é cerca de quatro vezes maior que o investimento inicial.

Tabela 8. Parâmetros e resultados da análise financeira.

Investimento Inicial	R\$ 4.111.220,00
Taxa de desconto	2%
Soma VPs	R\$ 21.195.602,96
VPL	R\$ 17.084.382,96
TIR	17%
Taxa de Lucratividade	4,15
Tempo de <i>Payback</i>	7,89

Fonte: Autor.

A Figura 10 apresenta o fluxo de caixa durante os 25 anos da vida útil do sistema fotovoltaico, considerando o ajuste tarifário e o ajuste de capacidade de geração. Como pode ser observado na Tabela 8, o tempo de *payback* ficou entre os anos 7 e 8.

Figura 10. Tempo de *Payback* para o Sistema Fotovoltaico.



Fonte: Autor.

Segundo dados levantados nas notas das compras das lâmpadas LED, o valor unitário de cada lâmpada ficou estabelecido em R\$ 14,50. Desta forma, o custo aproximado do *retrofit* do sistema de iluminação realizado no projeto, desconsiderando valores de mão-de-obra da empresa contratada para realização do serviço, foi de aproximadamente R\$ R\$ 175.972,00, sendo considerado um valor razoável e dentro dos padrões do mercado.

Desta forma, a Tabela 9 mostra os parâmetros considerados na análise financeira do *retrofit* do sistema de iluminação dos Blocos B e C da UFABC – Campus SA. Considerando a vida útil de 5 anos das lâmpadas LED, a soma dos Valores Presentes somam R\$ 1.934.320,74 e o VPL soma a cifra de R\$ 1.758.348,74. A TIR ficou extremamente elevada, devido à alta rentabilidade proporcionada pelo

retrofit, ficando em torno de em 206%, e a Taxa de Lucratividade ficou em 10,99, ou seja, o VPL é cerca de 11 vezes maior que o investimento inicial.

Tabela 9. Parâmetros e resultados da análise financeira do *retrofit*.

Investimento Inicial	R\$ 175.972,00
Taxa de desconto	2,0%
Soma VPs	R\$ 1.934.320,74
VPL	R\$ 1.758.348,74
TIR	206%
Taxa de Lucratividade	10,99220749
Tempo de <i>Payback</i>	0,51162308

Fonte: Autor.

A Figura 11 apresenta o fluxo de caixa durante os 5 anos de vida útil das lâmpadas LED considerando o ajuste tarifário para o período e seguindo a mesma metodologia aplicada para o caso da usina fotovoltaica. Como pode ser observado na Figura 11 e apresentado na Tabela 9 o tempo de *payback* ficou em aproximadamente 6 meses, mostrando o rápido retorno financeiro que esse tipo de *retrofit* proporciona.

Figura 11. Tempo de *Payback* para o *retrofit* do sistema de iluminação.



Fonte: Autor.

O projeto em desenvolvimento pela parceria ENEL-Distribuição/UFABC, no âmbito da Chamada Nº 001/2016, da ANEEL, para ações de EE e implementação de uma miniusina fotovoltaica mostra-se uma grande conquista para a universidade, não somente pela vultuosa economia que vem sendo gerada com as ações executadas, mas também pela grande participação de membros da comunidade acadêmica, professores, alunos e funcionários da área administrativa.

A interação de alunos e professores na elaboração e execução dos projetos mostra-se uma rica fonte de conhecimento, proporcionando um valioso ambiente de aprendizado.

Tratando do *retrofit* do sistema de iluminação, esse mostra-se uma excelente oportunidade para garantir a redução de despesas com energia elétrica. O baixo custo do investimento inicial comparado com outros investimentos em eficiência

energética e geração distribuída, e o rápido tempo necessário para execução da modernização do sistema, deixam esse tipo de projeto com elevada viabilidade, haja visto também o rápido tempo de *payback* associado.

No projeto desenvolvido na UFABC, o descarte das lâmpadas e reatores foi feito por uma empresa especializada, que destinou as lâmpadas para descontaminação, posteriormente podendo ter os materiais reciclados, já os reatores foram descartados para sucata de eletrônicos também podendo passar pelo processo de reciclagem.

Com relação ao projeto de P&D, como forma de atender as exigências do edital da chamada e também como forma de disseminar o conhecimento e os benefícios das ações para toda comunidade, o projeto permitirá a execução de treinamentos e a capacitação de membros da comunidade interna e externa a UFABC utilizando como ferramenta a própria miniusina fotovoltaica. Ainda como forma de conscientizar a comunidade acadêmica, foram veiculados comunicados internos sobre a utilização consciente do sistema de ar condicionado, da iluminação e dos elevadores.

De forma geral, o projeto de P&D em desenvolvimento na UFABC busca criar uma cultura da inovação, de forma a estimular a pesquisa e o desenvolvimento voltado para o setor elétrico, criando novos equipamentos e metodologias que possam contribuir com a confiabilidade do sistema e a segurança do fornecimento de energia elétrica, alcançar a modicidade tarifária, reduzir o impacto ambiental e a dependência tecnológica do país.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, tratou de investigar por meio de dados reais, simulações analíticas e simulações utilizando o *Software PVsyst* quais os benefícios e as contribuições provenientes do projeto em desenvolvimento na UFABC em parceria com a empresa ENEL – Distribuição São Paulo, inserido no escopo da Chamada nº. 001/2016 da ANEEL. O projeto conta com a implementação de uma usina solar fotovoltaica, do *retrofit* de parte do sistema de iluminação e de ações de P&D. Os resultados mostraram que a economia alcançada devido a geração in loco de energia elétrica, ou seja, o montante que deixaria de ser consumido da rede chegaria a 9,75% do valor gasto em 2019, representando aproximadamente R\$ 441.977,25. Outro número relevante surge para o *retrofit* do sistema de iluminação, haja visto que a economia representa uma redução de 47,05% do consumo anterior ao *retrofit*. Assim, a economia financeira corresponde a cerca de R\$ 350.827,49 anuais.

Os benefícios financeiros são nítidos, com valores vultosos sendo economizados. Quando analisado financeiramente, o *retrofit* do sistema de iluminação mostra-se uma excelente oportunidade de economia, tendo em vista o baixo valor de investimento inicial com tempo de *Payback* próximo a seis meses. A miniusina fotovoltaica também se mostra com alta rentabilidade, porém devido ao elevado custo de investimento inicial, possui tempo de *Payback* de aproximadamente 7,89 anos, número consideravelmente inferior aos 25 anos estimados para a vida útil da usina, tornando o investimento ainda lucrativo.

Observados os resultados promissores até o momento, o projeto apresenta-se como uma importante ferramenta para propagação da eficiência energética e

da disseminação da GD no setor público. Fato que mostra que a Chamada nº. 001/2016 da ANEEL e a própria Lei Nº 9.991 de 24 de julho de 2000 são instrumentos fundamentais para o desenvolvimento desses projetos na administração pública.

Neste ponto, pensando na replicabilidade desse tipo de projeto, a similaridade que existe no padrão de consumo das instituições públicas de ensino superior faz com que esse trabalho possa servir de modelo e incentivo para novas propostas e futuros processos de tomada de decisão, não somente em instituições públicas de ensino, mas em toda a esfera da administração pública de forma a expandir os benefícios e a economia propiciada por este tipo de projeto.

Trabalhos Futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, ficam elencados temas como: validação da metodologia proposta através de acompanhamento e medição da geração proveniente da miniusina fotovoltaica em processo de implementação na instituição, realizar medições individualizadas nos quadros de distribuição dos circuitos de iluminação para aferir o real consumo e montar uma cartilha de *retrofit* e instalação de sistema fotovoltaico para auxiliar na replicabilidade em outras instituições.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES pelo incentivo à pesquisa e a UFABC pela gentileza de disponibilizar os dados utilizados.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C. R., FERREIRA, P. E. C., CASTRO, A. M. M., RODRIGUES, M.V.; Análise da viabilidade Econômico-financeira da Implantação de um serviço de Sinalização horizontal no Complexo portuário do Pecém: Estudo de caso em uma empresa de engenharia. 2016. XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Contribuições da Engenharia de Produção para Melhores Práticas de Gestão e Modernização do Brasil, João Pessoa/PB, Brasil, de 03 a 06 de outubro de 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Chamada nº. 001/2016 - Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D: “Eficiência Energética e Minigeração em Instituições Públicas de Educação Superior”, 2016.

BENEDITO, R. S., ASANO, P. T.L., TORIN, L. R.; Limites de Inserção da Geração Solar Fotovoltaica em Universidades Federais. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Brasília: Presidente da República do Brasil, 2000. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9991.htm> Acesso em: 04/04/2019.

COSTA, T. M.G.; Metodologia para projeto de microgeração fotovoltaica. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG. 2015.

CURI, M. A., BENEDICTO, G. C., CARVALHO, F.M., NUINTIN, A. A. e NOGUEIRA, L. R. T.; Eficiência das Universidades Federais quanto ao uso dos Recursos Renováveis. XXI Congresso Brasileiro de Custos – Natal, RN, Brasil, 17 a 19 de novembro, 2014.

D'ÁVILA, M. Z.; Após nove cortes, Copom mantém Selic a 2,00%: como investir com juros menores que a inflação. Infomoney, São Paulo, 16 set 2020. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/onde-investir/apos-nove-cortes-copom-mantem-selic-a-200-como-investir-com-juros-menores-que-a-inflacao/>. Acesso em: 17/09/2020.

DOU. Diário Oficial da União. Nº 219, quarta-feira, 16 de novembro de 2016. Seção 3. ISSN 1677-7069. P.85. Disponível em:
<<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=16/11/2016&jornal=3&pagina=85&totalArquivos=160>> Acesso em: 06/09/2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). BEN - Séries Históricas Completas. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>> Acesso em: 22/12/2020.

GOLDEMBERG, J.; Energia e desenvolvimento. Estudos Avançados, São Paulo, v. 12, n. 33, p. 7-15, Aug. 1998. Disponível em:
<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141998000200002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 31/07/2020.

GORGULU, S., KOCABEY, S., 2020. An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: a case study for a university campus J. Clean. Prod., 260 (2020), p. 121060, 10.1016/j.jclepro.2020.121060.

LAPPONI, J. C.; Projeto de Investimento: Construção e Avaliação do Fluxo de Caixa. São Paulo: Lapponi Treinamento e Editora, 2000.

MACEDO, J. J.; Análise de projeto e orçamento empresarial [livro eletrônico]/Joel de Jesus Macedo, Ely Celia Corbari. – Curitiba: InterSaberes, 2014.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. Portal de Eficiência do Gasto ajudará órgãos federais a reduzir despesas com energia elétrica, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2019/11/portal-de-eficiencia-do-gasto-ajudara-orgaos-federais-a-reduzir-despesas-com-energia-eletrica>>. Acesso em: 18/10/2020.

MME. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Eficiência Energética: Premissas e Diretrizes Básicas. Brasília, 2011. Disponível em: <http://cmsdespoluir.cnt.org.br/Documents/PDFs/Plano_Nacional_de_Eficiencia_Energética_-_PNEf_-_final.pdf>. Acesso em: 19/12/2020.

OLIVEIRA, R. C.; Viabilidade econômica na geração de energia elétrica com Sistema Fotovoltaico On-Grid, 2018. Monografia (Pós-Graduação - Especialização em Gestão Estratégica da Produção e Logística) - Feevale, Novo Hamburgo-RS, [2018]. Disponível em: <<https://biblioteca.feevale.br/Vinculo2/000016/000016a4.pdf>>. Acesso em: 17/09/2018.

PANDHARIPANDE, A., CAICEDO, D., 2011. Daylight integrated illumination control of LED systems based on enhanced presence sensing. Energy and Buildings. Volume 43, Issue 4, April 2011, P. 944-950.

PINHO, B. R. B., MARTINS, L. C., SPRITZER, I. M. P. A.; Análise de projetos de investimentos: resumo das vantagens e desvantagens de diferentes técnicas e sua relação com projetos específicos do setor de óleo e gás. XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social: As Contribuições da Engenharia de Produção Bento Gonçalves, RS, Brasil, 15 a 18 de outubro de 2012.

PROCEL. Programa Nacional de conservação de Energia Elétrica. Plano Anual de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR/2017). 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/17806943/Presta%C3%A7%C3%A3o+de+contas+PROCEL+2017/48e4752b-80ec-ef58-c6d1-d8b87877d697>> Acessado em: 10/04/2019.

PVsystem. Versão 6.67. Software para estudar, dimensionar, simular e analisar dados de sistemas fotovoltaicos. PVsystem SA. Geneva, 2017. Disponível em: <<http://www.pvsystem.com/en/>>. Acesso em: 12/10/2020.

SAMANEZ, C.; Gestão de Investimentos e Geração de Valor. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

SANTOS, F. A., SOUZA, C. A., DALFIOR, V. A. O.; ENERGIA SOLAR: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG. XIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2016.

SOORI, P., K., VISHWAS, M.; 2013. Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. Energy and Buildings. Volume 66, November 2013, P. 329-337.

SOUZA, A., GUERRA, A. C. C., KRUGER, E. L., 2011. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. Revista Tecnologia e Sociedade - 1ª Edição, 2011.

SPE. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética. PROCESSOS: 48500.004541/2016-78. Brasília, 20 de junho de 2017. REIVE BARROS DOS SANTOS (Diretor), 2017. Disponível em: <<http://www.energif.org/chamadas/relatorio-anel-chamada.pdf>> Acesso em: 10/11/2019.

TAN, Y., K., HUYNH, T., P., WANG, Z., 2013. Smart Personal Sensor Network Control for Energy Saving in DC Grid Powered LED Lighting System, IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 4, no. 2, pp. 669-676, June 2013, doi: 10.1109/TSG.2012.2219887.

TRAN, D., TAN, Y., K., 2014. Sensorless Illumination Control of a Networked LED-Lighting System Using Feedforward Neural Network. IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 4, pp. 2113-2121, April 2014, doi: 10.1109/TIE.2013.2266084.

UFABC. Universidade Federal do ABC, 2018. Boletim do Orçamento 2018/2019. Disponível em: <http://propladi.ufabc.edu.br/images/boletim_orcamento/boletim_orcamento_2018_2019.pdf>. Acesso em: 28/08/2019.

UFABC. Universidade Federal do ABC, 2018. Usina Solar Fotovoltaica da UFABC.

WANG, Z., TAN, Y.K., 2013. Illumination control of LED systems based on neural network model and energy optimization algorithm. Energy and Buildings. Volume 62, July 2013, P. 514-521. BRAMCZYK, J. A necessária informação sobre a vacina do HPV. **Folha de São Paulo**, 13/09/2014. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/colunas/julioabramczyk/2014/09/1515483-a-necessaria-informacao-da-vacina-contr-o-hpv.shtml>>. Acesso em: 1/09/2015.

AGÊNCIA BRASIL. Vacina contra o HPV divide opiniões. **Portal Agencia Brasil**, 03/03/2014. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-03/vacina-contr-o-hpv-divide-opinioes>>. Acesso em: 16/06/2015.

Recebido: 22/03/2021

Aprovado: 30/11/2022

DOI: 10.3895/rts.v19n55.13967

Como citar: COLOMBO, J.V.S. et al. Análise da aplicação de políticas setoriais voltadas à eficiência energética e à geração distribuída na Universidade Federal do ABC. **Rev. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 19, n. 55, p.1-20, jan./mar., 2023. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/13967>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

