

# ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE SISTEMA FOTVOLTAICO EM SISTEMA SEMAFÓRICO NO MUNICÍPIO DE VILA VELHA/ES

Thiago Vieira Lodi

**RESUMO:** Este trabalho propõe apresentar um estudo de viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição dimensionados para fornecer energia elétrica aos sistemas semafóricos do município de Vila Velha, no estado do Espírito Santo. O trabalho busca reduzir a demanda de carga requerida do sistema de distribuição e o consumo de energia elétrica fornecido pela concessionária nos períodos de incidência de irradiação solar e gerar economia de recursos nas despesas relativas ao pagamento da tarifa de energia elétrica. Neste trabalho é realizado um estudo de caso e uma pesquisa documental, em que foi parametrizado o modelo de interseção semafórica, a partir da legislação vigente, com o padrão de uma interseção semafórica simples com duas aproximações compostas de duas vias de mão única. A partir dos dados de consumo de energia elétrica de equipamentos presentes em 173 interseções semafóricas e do recurso solar disponível para as coordenadas geográficas de Vila Velha, dimensionou-se o sistema fotovoltaico individual por interseção semafórica para a potência de pico capaz de atender a demanda do parque semafórico do município, gerando economia de recursos gastos com pagamento da tarifa de energia elétrica. A análise de viabilidade econômica resultou em um VPL negativo, uma TIR de 2,42% e um *Payback* de 20,28 anos, demonstrando a inviabilidade do investimento.

Palavras-chave: Avaliação Econômica. Eficiência Energética. Sistema Fotovoltaico. Sistema Semafórico.

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica desempenha papel fundamental no que tange o desenvolvimento socioeconômico das sociedades modernas. Representa a principal fonte de energia utilizada nos setores agropecuário, industrial, comercial e residencial. O aumento

contínuo da demanda, impulsionado pelo crescente consumo de bens e serviços, se reflete em um valor crescente da geração de energia elétrica em centrais de serviço público e autoprodutores no Brasil (Ministério de Minas e Energia, 2023, p. 11).

Cabe destaque para o crescimento da micro e minigeração distribuída de energia elétrica, sobretudo para a fonte fotovoltaica. Esse crescimento pode ser atribuído à incentivos advindos de ações regulatórias, como o estabelecimento de compensação, gerada a partir de sistemas de menor porte, da energia excedente produzida (MME, 2023, p. 15).

Nesse contexto, este trabalho apresentará uma análise técnica da viabilidade econômica para a integração da geração fotovoltaica de energia elétrica em sistemas de sinalização semafórica no município de Vila Velha, no estado do Espírito Santo. Essa iniciativa visa explorar os benefícios do sistema fotovoltaico e sua aplicação prática no contexto da sinalização semafórica no ambiente urbano.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 SISTEMA FOTOVOLTAICO**

A energia fotovoltaica pode ser entendida, segundo Villalva (2015, p. 39), como a conversão direta da luz em eletricidade, gerada por um dispositivo fabricado com um material semicondutor, a célula fotovoltaica, através do efeito fotovoltaico, que consiste no surgimento de uma diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz.

Um sistema fotovoltaico é composto por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador é constituído por módulos fotovoltaicos, cabeamento elétrico e a estrutura de suporte, denominados de arranjos fotovoltaicos. O bloco de condicionamento de potência pode conter conversores C.C.-C.C. (corrente contínua – corrente contínua), seguidor de ponto de potência máxima (SPPM), inversores, controladores de carga e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle (Pinho; Galdino, 2014, p.144).

Existem duas configurações para sistemas fotovoltaicos: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) e Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI). O sistema deste trabalho é o SFCR e, portanto, não serão abordadas características do SFI. O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, de acordo com Balfour, Shaw e Nash (2016, p.39) atua em conjunto com a rede de distribuição, à medida em que a geração de energia elétrica a partir da geração solar supre a demanda de consumo, proporcionando duas situações: o caso em que haja excedente da produção de energia elétrica pelo gerador fotovoltaico em relação ao consumo dos equipamentos que estão ligados ao sistema; e o caso em que a geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico não seja o suficiente para atender a demanda de consumo desses equipamentos, necessitando da energia elétrica proveniente da rede de distribuição.

Para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, segundo Brasil (2023a, p. 65), existe a possibilidade da participação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE), no qual a energia produzida em excedente pela geração distribuída é injetada na rede de distribuição e convertida como crédito de energia à unidade consumidora. Isso representa um incentivo no retorno do investimento de capital no uso de geração de energia elétrica a partir da fonte solar.

Um dos principais aspectos quando se aborda um projeto de sistema fotovoltaico é o levantamento do recurso solar disponível que abrange a área de interesse. No que tange aos dados de radiação solar, podem ser especificados em valores instantâneos do fluxo de potência ou em valores de energia por unidade de área, nomeados, respectivamente, de irradiância e irradiação (Pinho; Galdino, 2014, p. 300).

De acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 300), devido à linearidade existente entre a produção de energia e a irradiação horária, pode-se atribuir ao valor acumulado de energia solar ao longo de um dia o conceito de Horas de Sol Pleno (HSP), que representa o número de horas em que a irradiância solar permanece constante e igual a  $1\text{kW/m}^2$ , de tal forma que a energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dia seja equivalente a energia resultante.

## 2.2 SINALIZAÇÃO SEMAFÓRICA

Segundo o Ministério dos Transportes (2022, p. 8), a sinalização semafórica é constituída por um conjunto de indicações luminosas (grupo focal ou semáforo), fixadas ao lado da via ou suspensas sobre ela e um dispositivo eletromecânico ou eletrônico, denominado controlador de tráfego, cuja função é o acionamento dessas indicações luminosas. Esses elementos estão representados, respectivamente, nas Figuras 1, 2 e 3, e na Figura 4. Segundo Brasil (2017, p. 210), acerca da sinalização semafórica, “Para efeito de segurança recomenda-se o uso de, no mínimo, dois conjuntos de grupos focais por aproximação [...]”.

Outros elementos também podem compor o sistema semafórico de modo a atender requisitos legais ou de segurança, entre eles, destacam-se as botoeiras sonoras, os nobreaks semafóricos e o roteador externo. Esses estão representados, respectivamente, nas Figuras 5, 6 e 7. De acordo com Brasil (2000, p. 2), segundo Lei nº 10.098 de 19 de dezembro de 2000, estabelece que “Os semáforos para pedestres [...] deverão estar equipados com mecanismo que emita sinal sonoro [...], que sirva de guia ou orientação para a travessia de pessoas portadoras de deficiência visual [...]”.

Figura 1 - Semáforo veicular com focos circulares de 300 milímetros



Fonte: Acervo do autor.

Figura 2 - Semáforo veicular com focos circulares de 200 milímetros



Fonte: Acervo do autor.

Figura 3 - Semáforo de pedestre com focos circulares de 200 milímetros com pictogramas



Fonte: Acervo do autor.

Figura 4 – Controlador de tráfego



Fonte: Acervo do autor.

Figura 5 - Botoeira sonora



Fonte: Acervo do autor.

Figura 6 - Nobreak semafórico



Fonte: Acervo do autor.

Figura 7 – Roteador externo



Fonte: Acervo do autor.

## 2.3 AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE PROJETOS

Os indicadores para análise de projetos de investimentos, segundo Souza e Clemente (2008, p. 66), podem ser divididos em dois segmentos: os indicadores associados à rentabilidade do projeto, relativos à ganhos ou criação de riqueza, como o Valor Presente Líquido (VPL), e os indicadores associados ao risco do projeto, como a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Período de Recuperação do Investimento (*Payback*).

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) pode ser definida como a melhor taxa, com baixo grau de risco, disponível para aplicação do capital em análise, e sua estimativa se dá através das taxas de juros praticadas no mercado, como por exemplo, Taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) (Souza; Clemente, 2008, p. 71).

## 2.4 TRABALHOS CORRELATOS

Borba e Christmann (2013, p. 46), realizaram um ensaio para simular a operação de um sistema semafórico real alimentado através de um sistema fotovoltaico. Os resultados demonstraram que, em momentos de maior instabilidade climática e variações meteorológicas, o sistema fotovoltaico não era capaz de suprir a demanda de consumo do sistema semafórico.

Fez-se a proposição de quatro cenários: dois utilizando-se SFI com variações do período de autonomia do banco de baterias dimensionado, cuja confiabilidade é significativamente reduzida em períodos de baixa disponibilidade de recurso solar; e dois utilizando-se SFCR, sem e com o uso de banco de baterias, sendo esse para suprir a demanda de consumo da energia elétrica no horário de ponta da rede da concessionária, no entendimento da adoção da modalidade tarifária branca do órgão responsável pelo sistema semafórico (Borba; Christmann; 2013, p. 50).

De igual forma, Benedito (2016, p. 71) propôs estudos de caso com três diferentes configurações para SFCR, indicando a existência ou não de dispositivo de armazenamento e seu período de autonomia, que são de 3 e 4 horas. O uso do banco de baterias objetiva reduzir o consumo de energia elétrica proveniente da rede de distribuição no horário de ponta, assumindo que o parque semafórico está sob jurisdição de órgão público que adotou a modalidade tarifária branca junto à concessionária de energia elétrica.

Os resultados obtidos por Borba e Christmann (2016, p.51) referente à avaliação econômica dizem respeito apenas ao indicador *Payback* simples, o que torna a análise pouco criteriosa por não considerar o valor do dinheiro no tempo, e são, para todos os quatro cenários propostos, superiores ao tempo de vida útil do sistema fotovoltaico e, conseqüentemente, do horizonte de planejamento de 25 anos, sendo o menor valor do indicador de 39 anos e o maior de 67 anos.

A análise econômica efetuada por Benedito (2016, p. 85), para os três casos avaliados, adotou um tempo de vida útil dos sistemas fotovoltaicos dimensionados de 20 anos. Para o cenário sem sistema de armazenamento, não foram divulgados os valores dos indicadores econômicos selecionados. Já para os casos em que há a presença do sistema de armazenamento, o valor de VPL é negativo para ambos, em que, apenas no primeiro caso analisado, é informado os valores dos indicadores TIR e *Payback* de, respectivamente, 1,33%a.a. e, aproximadamente, 20 anos, mesmo valor adotado para o horizonte de planejamento.

### **3 METODOLOGIA**

A abordagem metodológica deste presente trabalho, segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010, p. 26), no que tange à sua abordagem, pode ser classificada como uma pesquisa quantitativa, em que os conhecimentos necessários para a análise do objeto de pesquisa proposto se dão através de informações quantificáveis.

Do ponto de vista de Gil (2022, p. 41), a classificação deste documento no que concerne a classificação de procedimentos técnicos adotados, pode-se inferir que se trata de um estudo de caso, uma vez que se ocupa de um estudo particularizado de uma abordagem específica.

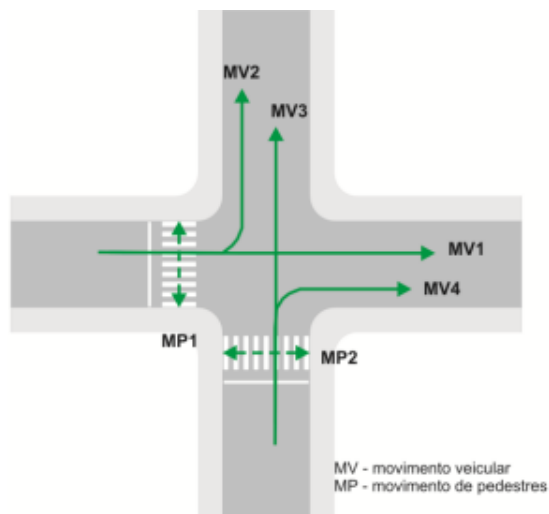
O escopo deste trabalho é avaliar economicamente, através de indicadores (VPL, TIR e *Payback*), a utilização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede em 173 sistemas semaforicos no município de Vila Velha, localizado nas coordenadas geográficas de latitude Sul de 20°19'48" e longitude Oeste de Greenwich de 40°17'31" (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2020, p. 6).

Não compreende o propósito deste estudo a avaliação técnica da instalação dos sistemas fotovoltaicos nos sistemas semafóricos do município.

### 3.1 MODELO DE INTERSEÇÃO SEMAFÓRICA

A parametrização da interseção semafórica se faz essencial, devido à natureza replicável deste trabalho final de curso. Portanto, é necessário basear-se nas normas vigentes relativas à legislação de trânsito brasileira, contempladas através do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, em seu Volume V, que aborda a Sinalização Semafórica. Logo, foi adotado o padrão de uma interseção semafórica simples, com duas aproximações compostas de duas vias de mão única, como demonstrado na Figura 8 e observado *in loco* na Figura 9.

Figura 8 - Modelo de interseção semafórica teórico



Fonte: Ministério dos Transportes (2022, p. 27).

Figura 9 – Modelo de interseção semafórica real



Fonte: Acervo do autor.

A padronização da forma e do dimensionamento que foi selecionada para o presente estudo, de acordo com o Ministério dos Transportes (2022, p. 12), contempla a utilização de dois conjuntos focais veiculares com focos circulares de 300 milímetros de diâmetro e dois conjuntos focais veiculares com focos circulares de 200 milímetros de diâmetro, conforme recomendação do uso de dois conjuntos focais por aproximação (Brasil, 2017, p. 210) (Seção 2.2). Além disso, foram selecionados quatro



conjuntos focais para os pedestres, que terão focos circulares de 200mm de diâmetro, com pictogramas de boneco e mão, respectivamente, para as cores verde e vermelha. O sistema semafórico, conforme a Lei nº 10.098 de 19 de dezembro de 2000 (Brasil, 2000, p. 2) (Seção 2.2), também é composto de quatro botoeiras sonoras, um controlador de tráfego, um nobreak semafórico e um roteador externo.

### 3.2 CONSUMO DE ENERGIA DO SISTEMA SEMAFÓRICO

Para Pinho e Galdino (2014, p. 304), o cálculo do consumo médio mensal de energia de um equipamento se dá através da Equação 1.

$$C_m = \frac{P_e \times N_d \times D_m}{1000} \quad (1)$$

Onde  $C_m$  representa o consumo médio mensal, em kWh/mês,  $P_e$  representa a potência nominal do equipamento, em W,  $N_d$  representa o número médio de horas diárias de utilização do equipamento, em h/dia e  $D_m$  representa o número médio de dias de utilização do equipamento, por mês, em dia/mês.

Devido ao fato de todos os equipamentos que compõem o sistema semafórico (conjuntos focais, controlador de tráfego, botoeiras sonoras, nobreak semafórico e roteador externo) operarem ininterruptamente, é possível realizar uma simplificação do consumo total da interseção semafórica pela simples soma das potências nominais de cada equipamento, operando durante as 24 horas diárias em todos os dias do mês.

Para os conjuntos focais, veiculares e de pedestres, individualmente serão reduzidos a um foco operando constante durante todo o seu funcionamento devido ao fato de cada interseção operar segundo um plano semafórico específico de acordo com a tabela horária programada para atender a demanda de tráfego do local, dificultando a padronização da interseção modelo para todo o parque semafórico. Portanto, selecionou-se a bolacha a LED da cor vermelha que, segundo a empresa responsável pela manutenção do parque semafórico do município de Vila Velha, é a que possui maior valor de potência nominal.

Também não foi considerada a necessidade do uso do banco de baterias do nobreak semafórico durante o horizonte de planejamento, já que não é considerada a hipótese de interseções semafóricas com grupos focais apagados ou em amarelo intermitente por falta de energia elétrica

No cenário real do município de Vila Velha, existem diversas configurações de interseções semafóricas diferentes, como travessias de pedestres, vias de sentido duplo e cruzamentos distintos coordenados pelo mesmo controlador de tráfego. Devido a essa complexidade, para os cálculos de consumo de todo o parque semafórico de Vila Velha, adotou-se configurações segundo o modelo parametrizado para esse estudo.

### 3.3 ANÁLISE DO RECURSO SOLAR E DETERMINAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para as coordenadas geográficas da região de interesse, foram utilizados dados disponibilizados pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), com auxílio do programa SunData v3.0, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL). Essa ferramenta contém informações de valores de irradiação diária mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil (Villalva, 2015, p. 215).

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico, é necessário determinar a potência a partir da demanda de energia elétrica que se deseja suprir através do SFCR, que, segundo Pinho e Galdino (2014, p. 328), se dá através da Equação 2.

$$P_{FV} = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (2)$$

Onde  $P_{FV}$  representa a potência de pico do painel FV, em  $W_p$ , E representa o consumo diário médio anual da edificação ou fração deste, em Wh/dia,  $HSP_{MA}$  representa a média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV, em h e TD representa a taxa de desempenho.

Ainda de acordo com Pinho e Galdino (2014, p. 329), a taxa de desempenho de um sistema fotovoltaico pode ser definida como a relação entre o desempenho real do sistema e o desempenho máximo teórico possível, e tem a função de abarcar perdas envolvidas, como sujeira na superfície do painel, pela queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, entre outros.

A partir da determinação da potência do gerador fotovoltaico, é possível dimensionar o inversor que irá compor o SFCR. Para Villalva (2015, p. 210), é recomendado que a potência do inversor seja igual ou superior à potência de pico do conjunto de módulos do gerador fotovoltaico.

### 3.4 ANÁLISE ECONÔMICA DE PROJETOS

O método do VPL, de acordo com Souza e Clemente (2008, p.72), fornece a informação se o fluxo esperado de benefícios supera o valor do investimento. O VPL pode ser representado a partir da Equação 3.

$$VPL = -CF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1 + TMA)^j} > 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

Em que, VPL representa o Valor Presente Líquido, CF representa o fluxo de caixa, TMA representa a Taxa Mínima de Atratividade, j representa o número de períodos e n representa o horizonte de planejamento.

A TIR, se usada para a análise de risco, a avaliação é de que o risco do projeto aumenta à medida que o valor da TIR se aproxima do valor da TMA (Souza; Clemente, 2008, p.81). A Equação 4 apresenta a relação da TIR com VPL.

$$\sum_{j=1}^n \frac{CF_j}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Em que, CF representa o fluxo de caixa, TIR representa a Taxa Interna de Retorno, j representa o número de períodos e n representa o horizonte de planejamento.

O *Payback* representa o número de períodos necessários para que o fluxo de benefícios sobreleve o capital investido, ao passo que, caso o *Payback* se aproxime do final do horizonte de planejamento, o risco do projeto se eleva (Souza; Clemente, 2008, p. 87). O valor do *Payback* pode ser definido a partir da Equação 5.

$$CF_0 = \sum_{j=0}^n \frac{CF_j}{(1 + TMA)^j} \quad \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Em que, CF representa o fluxo de caixa, TMA representa a Taxa Mínima de Atratividade, j representa o número de períodos e n representa o *Payback*.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

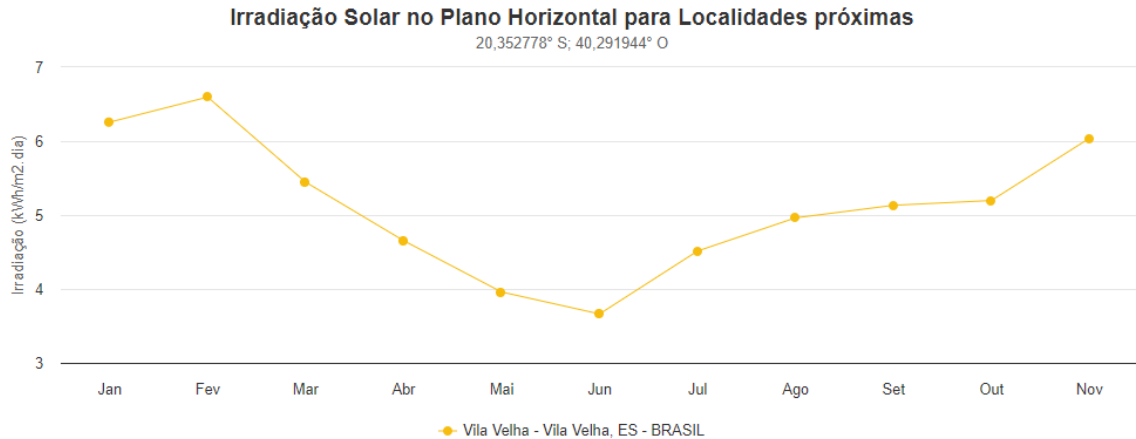
### 4.1 LEVANTAMENTO DO RECURSO SOLAR

Através do programa SunData v3.0, disponibilizado pelo CRESESB, foi possível estabelecer a irradiação solar para a localidade desejada e os dados discriminados para diferentes ângulos de inclinação do plano horizontal, conforme demonstrado nas Figuras 10 e 11. Para que se obtenha a máxima geração de energia no decorrer do ano, o ângulo de inclinação do gerador fotovoltaico deve corresponder à latitude do local escolhido para a instalação do sistema fotovoltaico (Villalva, 2015, p. 57).

Figura 10 - Irradiação solar no plano horizontal em Vila Velha/ES

Latitude: 20,352778° S  
Longitude: 40,291944° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													Média	Delta			
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out			Nov	Dez	
<input type="checkbox"/>	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			20,401° S	40,249° O		7,0	6,37	6,73	5,53	4,77	4,03	3,69	3,82	4,62	5,09	5,28	5,35	6,11	5,12	3,04
<input type="checkbox"/>	Oceano Atlantico	Oceano Atlantico			20,301° S	40,249° O		7,3	6,31	6,60	5,45	4,68	3,96	3,64	3,75	4,49	4,97	5,16	5,25	6,05	5,03	2,97
<input checked="" type="checkbox"/>	Vila Velha	Vila Velha	ES	BRASIL	20,401° S	40,349° O		8,0	6,26	6,60	5,45	4,65	3,96	3,66	3,73	4,51	4,96	5,13	5,20	6,04	5,01	2,93



Fonte: Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2018).

Figura 11 - Irradiação solar para diferentes ângulos de inclinação em Vila Velha

Estação: Vila Velha  
Município: Vila Velha, ES - BRASIL  
Latitude: 20,401° S  
Longitude: 40,349° O  
Distância do ponto de ref. ( 20,352778° S; 40,291944° O ): 8,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	6,26	6,60	5,45	4,65	3,96	3,66	3,73	4,51	4,96	5,13	5,20	6,04	5,01	2,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	5,69	6,30	5,57	5,17	4,73	4,56	4,56	5,19	5,23	5,01	4,82	5,43	5,19	1,74
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	18° N	5,76	6,35	5,58	5,14	4,68	4,49	4,49	5,14	5,22	5,04	4,87	5,51	5,19	1,86
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	5,52	6,17	5,54	5,21	4,84	4,69	4,67	5,27	5,23	4,94	4,69	5,26	5,17	1,50

Fonte: Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (2018).

Portanto, de acordo com as Figuras 10 e 11, os valores de irradiação solar diária média anual no plano horizontal (0°) e com ângulo igual a latitude (20°) do município de Vila Velha são 5,01kWh/m<sup>2</sup>.dia e 5,19kWh/m<sup>2</sup>.dia, respectivamente.

#### 4.2 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DO SISTEMA SEMAFÓRICO

De acordo com informações disponibilizadas pela empresa responsável pela manutenção do parque semafórico do município de Vila Velha, todos os equipamentos são conectados em 127/220V e possuem as seguintes potências nominais: 15W e 10W para, respectivamente, bolachas circulares de 300mm e 200mm para semáforos veiculares; 10W para semáforos de pedestre com bolachas a LED de 200mm; 50W para o controlador de tráfego; 15W para cada botoeira sonora; 50W para o nobreak

semafórico; e 12 W para o roteador externo. Com auxílio da Equação 1, são descritos, na Tabela 1, os valores de consumo diário, mensal e anual para o sistema semafórico.

**Tabela 1 - Consumo do sistema semafórico**

Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Tempo de operação (h)	Consumo diário (kWh/dia)	Consumo mensal (kWh/mês)	Consumo anual (kWh/ano)
Bolacha 300mm	15	2	24	0,72	21,6	262,8
Bolacha 200mm	10	6	24	1,44	43,2	525,6
Controlador	50	1	24	1,2	36	438
Botoeira	15	4	24	1,44	43,2	525,6
Nobreak	50	1	24	1,2	36	438
Roteador externo	12	1	24	0,288	8,64	105,12
Total				6,288	188,64	2295,12

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, o consumo total do parque semafórico do município de Vila Velha, diário, mensal e anual é, respectivamente, de 1087,824kWh, 32634,72kWh e 397055,76kWh.

#### 4.3 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Tomando-se como referência o valor da irradiação solar diária média para o ângulo inclinado de 20°, tem-se que a grandeza HSP para o local de estudo é de 5,19h/dia.

Para o presente trabalho tomar-se-á como referência a taxa de desempenho para SFCRs residenciais, bem ventilados e não sombreados, que está situada entre 70% e 80% nas condições de radiação solar do Brasil (Pinho; Galdino, 2014, p. 329). Portanto, considerando que houve um avanço tecnológico desde a publicação do Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos no que diz respeito à eficiência dos equipamentos que compõem um sistema fotovoltaico, o valor de TD para este estudo é de 80%.

Logo, através da Equação 2, tem-se que o valor da potência de pico para o dimensionamento do módulo fotovoltaico ou da associação de módulos para atender o consumo de cada sistema semafórico é de, aproximadamente, 1514,45W<sub>p</sub>.

Após pesquisa de mercado dos principais comerciantes que oferecem soluções voltadas à geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, optou-se pela aquisição do Kit Gerador Energia Solar 1,74kW<sub>p</sub> – Microinversor Deye c/ Wifi SUN2000 – Painei OSDA, fornecido pela NeoSolar, cujo custo é de R\$4299,00. As Tabelas 2 e 3 discriminam os dados do equipamento selecionado.

Tabela 2 - Características do módulo fotovoltaico

<b>Módulo fotovoltaico</b>	
Fabricante	OSDA Solar
Modelo	ODA580-36V-MH
Potência nominal de pico (W)	580
Tensão para potência nominal de pico (V)	42,37
Corrente para potência nominal de pico (A)	13,69
Tensão de circuito aberto (V)	51,06±3%
Corrente de curto circuito (A)	14,46±3%
Vida útil (anos)	25
Eficiência (%)	22,50
Dimensões (mm)	2278x1134x30
Material	Silício monocristalino
Quantidade	3

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Características do microinversor

<b>Microinversor</b>	
Fabricante	Deye
Modelo	SUN2000G3
Potência nominal de saída C.A. (W)	2000
Corrente máxima de saída C.A. (A)	10,1
Tensão nominal da rede (V)	220
Frequência nominal da rede (Hz)	50/60
Fator de potência	>0,99
Eficiência de pico do microinversor (%)	96,50
Vida útil (anos)	25
Dimensões (mm)	212x229x40

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

De acordo com Brasil (2021, p. 206), na Resolução Normativa ANEEL nº 1000, unidades consumidoras que desenvolvam atividades relativas à sinalização semafórica, devem ser enquadradas no subgrupo B3, indicado para a classe poder público. Admitindo-se que o modelo do presente estudo utilizará do SCEE, através da Resolução Homologatória nº 3.241, que dispõe do Reajuste Tarifário Anual de 2023 referente à EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A., tem-se que a tarifa adotada é a do subgrupo B3 e da modalidade SCEE – Convencional (Brasil, 2023b, p. 54). Logo, a Tabela 4 apresenta os valores das tarifas de aplicação utilizadas.

Tabela 4 - Tarifa para subgrupo B3 na modalidade SCEE - Convencional

Subgrupo/Modalidade	Tarifas de Aplicação	
	TUSD (R\$/kWh)	TE (R\$/kWh)
B3/SCEE - CONVENCIONAL	0,39253	0,04304
Total (R\$/kWh)	0,43557	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A projeção da variação anual da tarifa de energia elétrica praticada em Vila Velha adotada para o horizonte de planejamento da análise econômica do projeto, é definido pelo tempo de vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos. A Tabela 5 mostra o histórico de reajuste anual da tarifa de energia elétrica baseado em dados da EDP.

Tabela 5 - Reajuste anual da tarifa de energia elétrica dos últimos 5 anos

Ano	Motivo	Efeito médio ao consumidor
2023	Reajuste Tarifário Anual	3,55%
2022	Revisão Tarifária Periódica	11,5%
2021	Reajuste Tarifário Anual	9,75%
2020	Reajuste Tarifário Anual	8,02%
2019	Revisão Tarifária Periódica	-4,84%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir do histórico de reajuste, é possível traçar uma tendência de aumento médio anual de 5,596% da tarifa de energia elétrica. Esse valor é utilizado para realizar a correção do fluxo de caixa anual do valor economizado com o sistema fotovoltaico.



Além do valor da tarifa, também compõe a base de cálculo do pagamento do consumo de energia elétrica da rede de distribuição da concessionária os tributos: Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Em decorrência do fato das alíquotas do PIS e COFINS sofrerem alterações mensais relacionadas ao volume de créditos e débitos apurados pelas distribuidoras, variável essa não passível de projeção, a variação anual desses impostos para uso no fluxo de caixa do projeto se torna inexequível. Apesar do valor do ICMS ser fixo, todos os três tributos são necessários para a base de cálculo e, portanto, não serão considerados na avaliação econômica desse estudo.

Considerando o valor de HSP definido como 5,19h/dia, tem-se que, durante 5,19 horas do dia, o sistema semaforico é suprido pela energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico. Portanto, a partir dos valores definidos de consumo anual por interseção semaforica e a quantidade de interseções semaforicas sob jurisdição do município de Vila Velha, para a tarifa atual de energia elétrica, apresenta-se o valor de economia anual obtido em todo o parque semaforico do município na Tabela 6.

Tabela 6 - Economia anual de energia elétrica para todo o parque semaforico

<b>Consumo anual (kWh/ano)</b>	<b>Interseções semaforicas (unidade)</b>	<b>HSP (h/dia)</b>	<b>Tarifa (R\$/kWh)</b>	<b>Economia (R\$)</b>
2295,12	173	5,19	0,43557	37399,48

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo o estudo estratégico elaborado pela Greener, acerca de geração distribuída e mercado fotovoltaico brasileiro, o preço do sistema fotovoltaico é constituído pela somatória do preço do serviço de integração, que representa a prestação de serviço do integrador, e do preço do kit fotovoltaico, que consiste nos equipamentos do sistema fotovoltaico e, portanto, já definido acima na escolha do kit gerador (Greener, 2023, p. 61). Para sistemas até  $2kW_p$ , é considerado o valor médio de R\$2,01 por valor de  $W_p$ . Conseqüentemente, o valor a ser adotado para o estudo de viabilidade econômica é de R\$3497,40. O custo total do sistema fotovoltaico a ser implantado no parque semaforico de Vila Velha é descrito na Tabela 7.

Tabela 7 - Investimento do sistema fotovoltaico no parque semafórico

Preço do kit fotovoltaico (R\$)	Preço do serviço de integração (R\$)	Interseções semafóricas (unidade)	Custo total (R\$)
4299,00	3497,40	173	1348777,20

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como definido anteriormente, a TMA a ser adotada é a taxa SELIC praticada no Brasil. Dados mais atualizados indicam que o valor atual é de 12,75%a.a., com vigência a partir do dia 21 de setembro de 2023 (Brasil, 2023c). A Tabela 8 representa o fluxo de caixa acumulado a partir das entradas (economia) e saídas (investimento) no período do horizonte de planejamento do projeto. Para o presente estudo, os custos de manutenção do kit gerador fotovoltaico não serão considerados, no entendimento de que serão pouco frequentes e não passíveis de mensuração neste momento.

Logo, a partir da Equações 3, 4 e 5 e dos dados econômicos do projeto, tem-se que, o resultado do VPL é negativo no valor de R\$927528,88, a TIR é de 2,42% e o *Payback* simples, através de interpolação linear, é, aproximadamente, de 20,28 anos.

Tabela 8 - Fluxo de caixa acumulado para o horizonte de planejamento

Período (ano)	Ano	Entradas (R\$)	Saídas (R\$)	Fluxo de caixa acumulado (R\$)
0	2023	0,00	- 1348777,20	- 1348777,20
1	2024	37399,48	0,00	-1311377,72
2	2025	39492,35	0,00	-1271885,37
3	2026	41702,35	0,00	-1230183,02
4	2027	44036,01	0,00	-1186147,01
5	2028	46500,27	0,00	-1139646,74
6	2029	49102,42	0,00	-1090544,32
7	2030	51850,19	0,00	-1038694,13
8	2031	54751,73	0,00	-983942,40
9	2032	57815,64	0,00	-926126,77
10	2033	61051,00	0,00	-865075,77
11	2034	64467,41	0,00	-800608,36
12	2035	68075,01	0,00	-732533,35
13	2036	71884,49	0,00	-660648,86
14	2037	75907,14	0,00	-584741,72
15	2038	80154,91	0,00	-504586,81
16	2039	84640,37	0,00	-419946,44
17	2040	89376,85	0,00	-330569,59
18	2041	94378,38	0,00	-236191,21

19	2042	99659,79	0,00	-136531,42
20	2043	105236,75	0,00	-31294,67
21	2044	111125,80	0,00	79831,14
22	2045	117344,40	0,00	197175,54
23	2046	123911,00	0,00	321086,53
24	2047	130845,05	0,00	451931,59
25	2048	138167,14	0,00	590098,73

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

A proposta desse trabalho foi apresentar um estudo, a partir da análise técnica de viabilidade econômica com a adoção dos parâmetros VPL, TIR e *Payback* simples, do dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, em sistemas semaforicos, como alternativa para o fornecimento de energia elétrica da rede de distribuição em períodos de incidência de irradiação solar, do parque semaforico sob jurisdição da Prefeitura Municipal de Vila Velha, no estado do Espírito Santo.

Para todas as 173 interseções semaforicas do município de Vila Velha, a aquisição do sistema fotovoltaico representa um custo estimado de R\$1348777,20. A geração fotovoltaica, com HSP para a irradiação solar diária média anual no plano inclinado com ângulo igual à latitude da localização de 20° de 5,19kWh/m<sup>2</sup>.dia, proporciona um alívio anual da carga do sistema de distribuição de 397055,76kWh. Por fim, resulta em uma economia anual de R\$37399,48, com uma média de reajuste anual positivo de 5,596% na tarifa de energia elétrica praticada pela concessionária que atende a rede de distribuição do município.

A avaliação econômica demonstrou a inviabilidade do investimento, conforme os resultados calculados para os indicadores selecionados. A partir do fluxo de caixa do projeto, o valor negativo de R\$927528,88 encontrado para o VPL e a condição da TIR, de 2,42%a.a., ser menor que a TMA, no caso a taxa SELIC de 12,75%a.a., asseverou um projeto de investimento de alto risco e com provável prejuízo relativo ao capital investido. Apesar do tempo de retorno do investimento inferior ao horizonte de planejamento, de 20,28 anos, o *Payback* simples, analisado de forma isolada, não é

o bastante para garantir a viabilidade do projeto, haja vista que não se considera o valor do dinheiro no tempo.

Adjacente à contribuição direta do retorno financeiro do projeto ao órgão público municipal, indiretamente há a redução de futuros investimentos para a ampliação da estrutura do setor elétrico para atender à crescente demanda atual. Além disso, a visibilidade do uso de fontes de energia renováveis por entidades públicas para atender a necessidade de um desenvolvimento urbano sustentável, também traz ganhos intangíveis no que diz respeito a publicidade de ações de sustentabilidade.

Para trabalhos futuros, pode-se propor melhorias em relação à modelagem feita para o sistema semafórico municipal, de forma que se aproxime da realidade, como por exemplo, o levantamento *in loco* da totalidade de equipamentos que compõem o parque semafórico sob jurisdição do município de Vila Velha, juntamente com os planos semafóricos e tabelas horárias para elaborar a distribuição de tempo adequada, dentro do período de 24 horas, de funcionamento de cada cor de bolacha a LED dos grupos focais.

Como sugestão para estudos posteriores, no que tange aos sistemas fotovoltaicos, pode-se realizar um levantamento da estimativa de custos da estrutura do sistema, bem como os gastos de montagem, e de manutenção no decorrer do tempo de vida útil dos equipamentos que compõem o sistema fotovoltaico. Também sugere-se realizar a análise de viabilidade econômica para sistemas fotovoltaicos híbridos e a análise de viabilidade técnica de instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Ademais, para propiciar mais robustez ao fluxo de caixa do projeto, além de utilizar valores presentes para a economia anual, se faz necessário a integração dos ganhos advindos da participação do SCEE dos SFCR instalados nos sistemas semafóricos e a inclusão das alíquotas dos impostos incidentes na fatura de energia.

O presente trabalho alcançou seu objetivo e apresentou resultados satisfatórios no que se refere ao estudo de viabilidade econômica do uso de sistemas fotovoltaicos em sistemas semafóricos no município de Vila Velha/ES.

## REFERÊNCIAS

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Tradução: Luiz Claudio de Queiroz Faria; Revisão Técnica: Marco Aurélio dos Santos. 1. ed. [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 241 p. Título original: Introduction to photovoltaic system design. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635314/>. Acesso em: 25 nov. 2023.

BENEDITO, Luis Felipe. **Análise da eficiência energética na sinalização semafórica de Pato Branco utilizando sistemas LED e geração fotovoltaica**. 2016. 112 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15053>. Acesso em: 25 nov. 2023.

BORBA, Deivid Wagner; CHRISTMANN, Juliano. **Estudo do impacto da eficiência energética em semáforos e análise de viabilidade de operação com painéis solares fotovoltaicos**. 2013. 59 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18482>. Acesso em: 16 set 2023.

BRASIL. **Código de trânsito brasileiro**: Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, e legislação correlata. 8. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2017. 263 p. Disponível em: <https://bd.camara.leg.br/bd/handle/bdcamara/18141>. Acesso em: 16 set 2023.

BRASIL. Lei nº 10.098, 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez 2000. Seção 1, p. 2. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/1542695/pg-2-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-20-12-2000>. Acesso em: 16 set 2023.

BRASIL. Resolução Homologatória nº 3.241, 1 de agosto de 2023. Homologa o resultado do Reajuste Tarifário Anual de 2023 da EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A. – EDP ES, a vigorar a partir de 7 de agosto de 2023 e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 07 ago 2023b. Seção 1, p. 54. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/237503?guid=41b8ab80a782c2117150&returnUrl=%2fresultado%2flistarlegislacao%3fguid%3d41b8ab80a782c2117150%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d237503%23237503&i=1>. Acesso em: 30 set 2023.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, 7 de dezembro de 2021. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 9 de dezembro de 2020 e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 dez 2021. Seção 1, p. 206. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/documentos/1345395081/resolucao-normativa-n-1000-20-12-2021-ato-publicado-no-dou>. Acesso em: 30 set 2023.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL nº 1.059, 7 de fevereiro de 2023. Aprimora as regras para a conexão e o faturamento de centrais de microgeração e minigeração distribuída em sistemas de distribuição de energia elétrica, bem como as regras do Sistema de Compensação de Energia Elétrica; altera as Resoluções Normativas nº 920, de 23 de fevereiro de 2021, 956, de 7 de dezembro de 2021 , 1.000, de 7 de dezembro de 2021, 1.009, de 22 de março de 2022, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 fev. 2023a. Seção 1, p. 65. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/1223981613/dou-secao-1-10-02-2023-pg-65>. Acesso em 23 set. 2023.

BRASIL. **Taxas de juros básicas – Histórico**. Brasília, 2023c. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em: 30 set 2023.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Potencial Solar – SunData v 3.0**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 24 set 2023.

EDP. **Tarifas Vigentes**. Espírito Santo, 2023a. Disponível em: <https://www.edp.com.br/tarifas-vigentes/>. Acesso em: 30 set 2023.

EDP. **ICMS, PIS e COFINS**. Espírito Santo, 2023b. Disponível em: <https://www.edp.com.br/icms-pis-e-cofins/>. Acesso em: 16 dez 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7.ed. Barueri: Atlas, 2022. 186 p. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em 17 set 2023.

GREENER. **Estudo Estratégico: Geração Distribuída 2023 | Dados do 1º semestre 2023**. São Paulo, 2023. 102 p. Disponível em: <https://www.greener.com.br/estudo/estudo-estrategico-geracao-distribuida-setembro-2023-dados-do-1o-semester-2023/>. Acesso em: 30 set 2023.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. **Programa de Assistência Técnica e Extensão Rural PROATER 2020 – 2023**: Vila Velha. Espírito Santo, 2020, 45 p. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br/proater>. Acesso em: 30 set 2023.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda Castro; MEDEIROS, Carlos Henrique. **Metodologia da pesquisa**: um guia prático. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88 p. Disponível em: <http://www.pgcl.uenf.br/acervo?nome=metodologia+da+pesquisa>. Acesso em: 17 set 2023.

Ministério de Minas e Energia (Brasil): Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Balanco Energético Nacional 2023**: Ano base 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2023.

274 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>. Acesso em: 23 set 2023.

Ministério dos Transportes (Brasil): Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Volume V - Sinalização Semafórica**. Brasília, 2022. 312 p. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/senatran/manuais-brasileiros-de-sinalizacao-de-transito>. Acesso em: 16 set 2023.

NEOSOLAR. **Kit Solar On Grid – Micro inversor**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/kit-gerador-energia-solar-1-74kwp-micro-inversor-deye-sun2000-g3-osda-580wp.html>. Acesso em: 30 set 2023.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2014. 529 p.

Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=publicacoes&task=livro&cid=481>.

Acesso em: 23 set 2023.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões financeiras e análise de investimentos: Fundamentos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

186 p. Disponível em:

<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597023466/>. Acesso em: 17 set 2023.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Érica, 2015. 224 p. Disponível em:

<https://www.editoradodireito.com.br/energia-solar-fotovoltaica---conceitos-e-aplicacoes-ebook/p>. Acesso em: 25 nov. 2023.




**THIAGO VIEIRA LODI**

**ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE SISTEMA  
FOTOVOLTAICO EM SISTEMA SEMAFÓRICO NO MUNICÍPIO  
DE VILA VELHA/ES**


Trabalho Final de Curso apresentado ao Curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Eficiência Energética.

Aprovado em 14 de dezembro de 2023


**COMISSÃO EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 JOSE EDUARDO MENDONCA XAVIER  
Data: 15/12/2023 17:16:26-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor José Eduardo Mendonça Xavier  
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 RALF MAJEVSKI SANTOS  
Data: 15/12/2023 17:10:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Mestre Ralf Majevski Santos  
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes  
Membro Interno

Documento assinado digitalmente  
 MARCIO ALMEIDA CO  
Data: 17/12/2023 08:28:42-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Doutor Márcio Almeida Có  
Instituto Federal do Espírito Santo - Ifes  
Membro Interno