

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ROGÉRIO RODRIGUES DA SILVA

**Viabilidade da aplicação de sistema fotovoltaico como fonte energética sustentável para
equipamentos de campo**

São Paulo

2024

Viabilidade da aplicação de sistema fotovoltaico como fonte energética sustentável para equipamentos de campo

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Muselli Barbosa

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Silva, Rogério Rodrigues

Viabilidade da aplicação de sistema fotovoltaico como fonte energética sustentável para equipamentos de campo / R. R. Silva -- São Paulo, 2024.
46 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Amostragem 2.Fotovoltaico 3.ESG 4.Efeito estufa 5.Energia limpa
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me abençoar e conceder saúde para trilhar meu caminho.

A toda minha família, em especial à minha esposa e filho por todo o apoio, compreensão e motivação para alcançarmos juntos nossos objetivos e superar todas as adversidades.

Aos professores e a meu orientador, pelos ensinamentos e apoio.

À empresa em que trabalho, com apoio incondicional na realização do projeto, juntamente com minha liderança engajadora.

RESUMO

Rodrigues da Silva, Rogério. Viabilidade da aplicação de sistema fotovoltaico como fonte energética sustentável para equipamentos de campo. 2024. 46 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

O presente estudo tem como finalidade analisar a viabilidade econômica e o impacto ambiental de um sistema fotovoltaico instalado em um veículo automotivo para amostragem de água subterrânea, na região São Paulo (SP). O trabalho teve início pelo desenvolvimento do sistema e instalação no veículo, seguido de duas fases de monitoramento do consumo, economia e cálculo de GEE. O método de análise aplicado foi de comparação entre dois veículos, analisando o consumo de combustível, redução e emissão de gases gerados no processo, sempre com a mesma rota diária. O estudo fundamenta a tomada de decisão de investimento para instalação do sistema em veículos operacionais de equipes para amostragem de água subterrânea e consequentemente os benefícios da redução de GEE por utilizar energia limpa nas amostragens. A análise final do projeto confirma a viabilidade e aplicação do sistema em uma frota dedicada aos trabalhos de amostragem de água subterrânea.

Palavras-chave: Amostragem. fotovoltaico. ESG. efeito estufa. energia limpa.

ABSTRACT

Rodrigues da Silva, Rogério. Viabilidade da aplicação de sistema fotovoltaico como fonte energética sustentável para equipamentos de campo. 2024. 46 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2024.

The purpose of this study is to analyze the economic viability and environmental impact of a photovoltaic system installed on a vehicle for groundwater sampling, in the São Paulo (SP) region. It started with the development of the system and installation in the vehicle, followed by two phases of monitoring consumption, economy and GHG calculation. The method applied was to compare two vehicles, analyzing fuel consumption, reduction and gas emissions generated in the process, always with the same daily route. The study supports investment decision making to install the system in operational vehicles of teams for groundwater sampling and consequently benefits from GHG reduction by using clean energy in sampling. The final analysis of the project confirms the feasibility and application of the system in a fleet dedicated to groundwater sampling work.

Keywords: Groundwater sampling. photovoltaic. ESG. greenhouse effect. clean energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cabeçalho da calculadora GEE.....	16
Figura 2 – Tipos de escopo para contabilização de emissões.	17
Figura 3 – Fluxo para o preenchimento da Calculadora GEE.....	18
Figura 4 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.....	20
Figura 5 – Sistema fotovoltaico instalado no telhado (A) e no solo (B).	21
Figura 6 – Sistema fotovoltaico móvel (A) e sistema instalado em um lago (B).....	22
Figura 7 – Sistema <i>Off Grid</i>	22
Figura 8 – Sistema <i>On Grid</i>	23
Figura 9 – Equipamentos para monitoramento da matriz água.	24
Figura 10 – Veículo com a placa fotovoltaica instalada no rack (A); Carros com o sistema fotovoltaico instalado e Painel Controlador (B).	25
Figura 11 – Fluxo do sistema fotovoltaico.	26
Figura 12 – Fluxo Painel Controlador.	27
Figura 13 – Painel controlador utilizado para amostragem de água subterrânea.	27
Figura 14 – Conjunto de amostragem de água por baixa vazão (<i>Low Flow</i>) utilizado em campo.	28
Figura 15 – Fluxo de carga do BVR.....	28
Figura 16 – Esquema de recarga de bateria com queima de combustível (gasolina).....	35
Figura 17 – Esquema de recarga de bateria com o sistema fotovoltaico.....	35
Figura 18 – <i>Payback</i> do investimento.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desempenho médio da operação por dia de trabalho.	29
Tabela 2 – Distritos da primeira fase.	32
Tabela 3 – Distritos da segunda fase.	32
Tabela 4 – Sistema com geração energética abastecido com gasolina.	33
Tabela 5 – Sistema com geração energética do painel fotovoltaico.	34
Tabela 6 – Comparativos dos resultados entre os sistemas BVR e Amaterasu.	34
Tabela 7 – Cálculo de GEE em toneladas do sistema BVR.	36
Tabela 8 – Cálculo de GEE biogênico do BVR.	36
Tabela 9 – Cálculo de GEE em toneladas do Amaterasu.	36
Tabela 10 – Cálculo de GEE biogênico do Amaterasu.	37
Tabela 11 – Comparativo de GEE entre os protótipos.	37
Tabela 12 – Comparativo de CO ₂ biogênico entre os protótipos.	37
Tabela 13 – Diferença do cálculo de GEE entre os sistemas BVR e Amaterasu.	38
Tabela 14 – Diferença do cálculo de GEE biogênico entre os sistemas BVR e Amaterasu. ..	38
Tabela 15 – Litros de combustível consumidos e valor pago no abastecimento por mês.	39
Tabela 16 – Litros de combustível consumidos e valor pago no abastecimento por mês.	39
Tabela 17 – Consolidação dos dados dos sistemas BVR e Amaterasu.	39
Tabela 18 – Cálculo de GEE em toneladas do BVR.	41
Tabela 19 – Cálculo de GEE biogênico do BVR.	41
Tabela 20 – Cálculo de GEE em toneladas do Amaterasu.	41
Tabela 21 – Cálculo de GEE biogênico do Amaterasu.	42
Tabela 22 – Comparativo de CO ₂ e entre os protótipos.	42
Tabela 23 – Comparativo de CO ₂ biogênico entre os protótipos.	42
Tabela 24 – Diferença do cálculo de GEE entre os sistemas BVR e Amaterasu.	42
Tabela 25 – Cálculo de GEE biogênico entre os sistemas BVR e Amaterasu.	42
Tabela 26 – Consolidação das reduções das emissões de GEE.	43

LISTA DE SIGLAS

ABNT.	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ah.	Amperes por hora
BVR.	Baixa Vazão Raiz
CEBDS.	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CH ₄ .	Metano
CO ₂ .	Dióxido de Carbono
ESG.	<i>Environmetal, Social and Governance</i>
EUA.	Estados Unidos da América
FGVces.	Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getulio Vargas
GEE.	Gases do Efeito Estufa
GHG.	<i>Greenhouse Gas Protocol</i>
HFCs.	Hidrofluorcarbonos
IPCC.	<i>The Intergovernmental Painel on Climate Change</i>
Km.	Quilômetro
L.	Litro
N ₂ O.	Óxido nitroso
ODS.	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PFCs.	Perfluorcarbonos
pH.	Potencial Hidrogeniônico
PR.	Prática Recomendada
PRI.	Princípios para Investimento Responsável
R\$.	Moeda Brasileira Real
SF ₆ .	Hexafluoreto de enxofre
tCO ₂ e.	Toneladas de Dioxido de Carbono Equivalente
WBSCD.	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WRI.	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVO.....	13
3. JUSTIFICATIVA	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
5. MATERIAIS E MÉTODOS	26
5.1. PROTÓTIPO AMATERASU E BVR	27
5.2. EXPERIMENTO	29
5.2.1. <i>Primeira Fase</i>	30
5.2.2. <i>Segunda Fase</i>	30
6. RESULTADO.....	32
6.1. PRIMEIRA FASE.....	32
6.2. CALCULADORA GEE	36
6.3. SEGUNDA FASE.....	38
7. CONCLUSÃO	44
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA.....	45

1. INTRODUÇÃO

Com o engajamento global em ações sustentáveis devido ao cenário climático mundial, juntamente com a publicação da norma ABNT PR 2030 (ESG) *Environmental, Social and Governance* no Brasil (ABNT, 2023b), um número cada vez maior de empresas aplicando conceitos em ESG e sustentabilidade para melhorar seus processos e reduzir as emissões de carbono. ESG são conjuntos de critérios ambientais, sociais e de governança, a serem considerados, na avaliação de riscos, oportunidades e respectivos impactos, com objetivo de nortear atividades, negócios e investimentos sustentáveis (ABNT, 2023b).

Fontes de energia não renováveis são aquelas que utilizam recursos finitos ou esgotáveis, como petróleo, carvão, gás natural e nuclear, sendo as fontes fósseis (petróleo, carvão e gás natural) responsáveis por grande parte da emissão de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Já as fontes de energia renováveis utilizam recursos cuja reservas se renovam constantemente, como a hídrica, solar, eólica, biomassa (energia de matéria orgânica), geotérmica (energia do interior da terra) e oceânica (energia das marés e das ondas) (ABNT, 2023a).

Nas atividades de amostragem de água subterrânea realizadas em campo, os equipamentos (como compressor de ar, furadeira e *laptop*) utilizados, funcionam com a energia gerada por queima de gasolina em um veículo automotivo que é armazenada em uma bateria automotiva de 60 Ah, gerando emissões de GEE durante o processo.

Os Gases de Efeito Estufa (GEE) que constituem a atmosfera, podem ser naturais ou antrópicos, que absorvem ou refletem radiação infravermelha, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), acompanhados por duas famílias de gases, hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs).

Com o objetivo de reduzir os impactos provenientes dos GEE foi criada a adaptação no Brasil do programa GHG *Protocol* (FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS, 2023).

O Programa Brasileiro GHG (*Greenhouse Gas Protocol*) foi criado em 2008 e é responsável pela adaptação do método GHG *Protocol* desenvolvido pela WRI sediada em Washington nos EUA, ao contexto brasileiro e desenvolvimento de ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE). O programa foi desenvolvido pelo FGVces e WRI (*World Resources Institute*), em parceria com o Ministério do Meio Ambiente, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), *World Business Council for Sustainable Development* (WBSCD) e 27 Empresas Fundadoras (FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2023).

Na busca de fontes de energia renováveis uma opção para países tropicais são as usinas fotovoltaicas, que podem ser *Off Grid* ou *On Grid*, ambas passíveis de serem instaladas em qualquer localidade que tenha incidência solar. O sistema *Off Grid* é um recurso de geração de energia através dos raios solares que pode ser isolado e autônomo, que tem como característica se manter renovável, podendo ser utilizada diretamente nos equipamentos ou armazenando a energia gerada em baterias estacionárias dimensionadas para utilização em locais remotos sem acesso ou não conectados a redes de distribuição elétrica. Quando um sistema fotovoltaico é dimensionado para retorna energia elétrica às redes de distribuição, a denominação que recebe é *On Grid*.

A proposta deste estudo é demonstrar os benefícios econômicos e ambientais em utilizar um sistema fotovoltaico *off Grid* instalado em um automóvel substituindo a queima de combustível fóssil na geração energética para a atividade de amostragem de água subterrânea para recarga dos equipamentos de amostragem de água subterrânea.

2. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade econômica e ambiental da utilização de energia fotovoltaica *off grid* em atividades de amostragem de água subterrânea, comparadas com a utilização de energia gerada por queima de combustível fóssil como a gasolina.

O desenvolvimento deve-se à necessidade de energia nestas atividades em campo, onde a falta de energia é uma barreira e, consequentemente, pretende-se reduzir custos com abastecimento da frota impactando positivamente com a redução das emissões de GEE e aplicar premissas de sustentabilidade nas atividades.

3. JUSTIFICATIVA

Devido ao aumento do GEE e da mudança climática a nível global, iniciaram-se vários projetos para reduzir suas emissões e foram desenvolvidas ferramentas de projeção de como será o aquecimento global para os próximos anos. Devido a este fato, o estudo fundamenta iniciativas para compensar e reduzir as emissões de carbono gerada durante a amostragem de água subterrânea com a aplicação de energia limpa e consequentemente a viabilidade financeira com a redução de abastecimento de combustível fóssil, no caso gasolina.

A base do estudo pode ser estendida para outros equipamentos utilizados *in situ*, onde a necessidade de energia armazenada para as atividades é fundamental, por falta de estrutura ou em muitos casos em áreas de mata fechada, que podem exigir o uso de geradores a base de combustível fóssil.

O sistema proporciona autonomia energética, pois os trabalhos realizados em campo costumam necessitar de auxílio de equipamentos como celulares, *laptop* e *tablet* que podem ser facilmente recarregados simultaneamente ao trabalho.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algumas mudanças climáticas como o aquecimento global, são ações antrópicas que estão impactando e elevando os padrões de temperatura e consequentemente mudando o clima do planeta. Os principais fatores desta mudança estão atribuídos à dependência humana de combustível fóssil como carvão, gás, petróleo e seus derivados, na geração de energia e outros recursos. A queima destes combustíveis gera os gases de efeito estufa (GEE), que desequilibram o clima e aumentam a temperatura do planeta, resultando em eventos climáticos como grandes períodos de seca, estiagem, chuvas e frio intensos.

O efeito estufa é um fenômeno natural que faz com que a temperatura da superfície da Terra seja favorável à existência de vida no planeta. Alguns gases, como vapor d'água e gás carbônico (CO_2), deixam passar a radiação ultravioleta, mas dificultando o retorno do calor para o espaço e assim mantendo a temperatura da Terra ideal para a vida humana. Quando ocorre o aumento das concentrações de gases na atmosfera (por exemplo, do gás carbônico resultante da queima de combustível fóssil), o fluxo de calor em direção ao espaço é reduzido, essa diferença causa o aquecimento da baixa atmosfera, elevando a temperatura média da Terra e causando mudanças climáticas (INPE, 2024).

O aumento da temperatura global está contribuindo com o derretimento acelerado das calotas polares, e a redução das áreas congeladas nos períodos de invernos do oceano glacial ártico, com o degelo destas áreas há um aumento do nível do oceano impactando a margem litorânea dos continentes, afetando as comunidades costeiras, a redução do habitat e desaparecimento de algumas ilhas.

No contexto de mudanças climática é possível destacar o fenômeno El Niño, que é responsável pelo aquecimento anormal da superfície do Oceano Pacífico na região da Linha do Equador e que pode se estender desde a costa da América do Sul até o meio do Pacífico Equatorial. Durante o fenômeno, que, normalmente, começa a se formar no segundo semestre do ano, as águas ficam, pelo menos, $0,5^\circ\text{C}$ acima da média por um longo período de, no mínimo, seis meses. Durante a formação, os alísios são ventos constantes vindos dos Hemisférios Sul e Norte, que se encontram na região da Linha do Equador e seguem do Leste para o Oeste do planeta Terra. Normalmente, o movimento dos ventos interfere no Oceano Pacífico e empurra as águas da superfície para o oeste, permitindo que as mais profundas e frias subam. No entanto, quando os ventos alísios estão enfraquecidos ou invertem a direção, essa troca de águas não

ocorre e as mais quentes permanecem por mais tempo paradas na superfície, podendo chegar até 3°C ou mais acima da média, formando, assim, o El Niño (INMET, 2024).

Devido as mudanças climáticas alguns reflexos estão acontecendo como, as alterações nos ecossistemas, perda de biodiversidade e extinção de algumas espécies vegetais e animais, que estão proporcionando impactos econômicos e sociais em escala global, com isso, motivando cada vez mais a discussão sobre como conciliar o desenvolvimento econômico concomitantemente à minimização dos impactos ambientais gerados de acordo com os conceitos do ESG e promover maior valor agregado nos produtos e serviços. Neste contexto se torna, portanto, cada vez mais relevante o entendimento e aplicação dos conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável aplicadas no ESG (ABNT, 2023b).

É possível converter em toneladas a quantidade de gases de efeito estufa gerados durante uma atividade ou processo, através da calculadora de GEE, do programa Brasileiro GHG Protocol (FGVces, 2023).

Nesta calculadora é possível obter os resultados equivalentes de GEE em toneladas e com isso utilizar a compensação de créditos de carbono para abater seu resultado das emissões de acordo com os conceitos do *Net Zero*.

Net Zero refere-se ao equilíbrio entre a quantidade de gases de efeito estufa emitida e a quantidade removida da atmosfera, isso significa calcular as emissões de carbono para reduzir ao máximo as emissões de gases e compensar aquelas que não podem ser eliminadas, uma vez que, na realidade, nem sempre é possível cortar completamente as emissões de carbono.

Com os levantamentos de dados concluídos e tabelados, as informações de consumo são inseridas na calculadora GEE, opção Escopo 1, seguido por Combustão móvel (**Figura 1**).

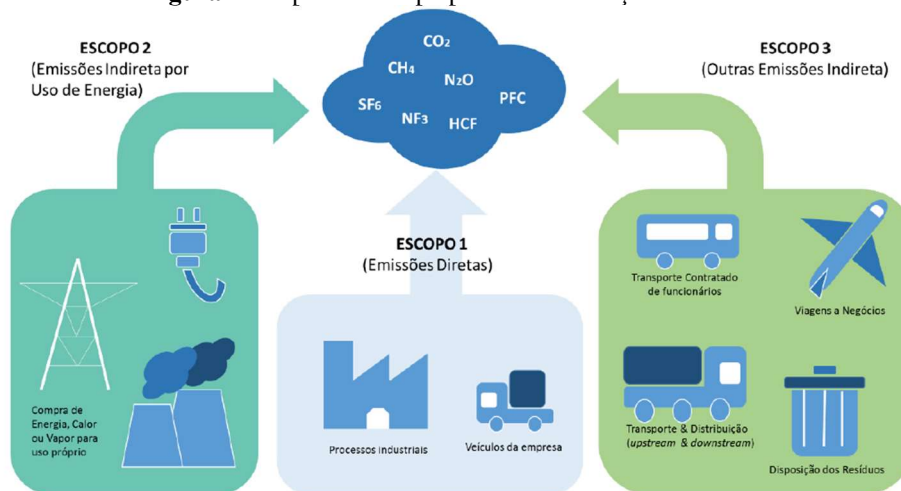


Fonte: FGVces (2023).

As emissões podem ser classificadas (**Figura 2**), portanto, como:

- Escopo 1 (Emissões diretas): emissões devido à queima de combustíveis para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, emissões provenientes de processos produtivos e emissões fugitivas.
- Escopo 2 (Emissões indiretas): contabiliza as emissões de GEE provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela organização.
- Escopo 3 (Emissões indiretas): emissões relacionadas a parceiros, terceiros e outros atores da cadeia de valor da organização. Contabilizadas as emissões pela extração de matéria-prima, produção e transporte de bens comprados ou adquiridos, transporte e distribuição de bens vendidos pela organização em veículos que não são de sua propriedade nem operados pela organização, resíduos gerados pela organização e tratados por terceiros, transporte de trabalhadores e viagens a negócios em meios não controlados pela organização. (ABNT, 2023a)

Figura 2 – Tipos de escopo para contabilização de emissões.



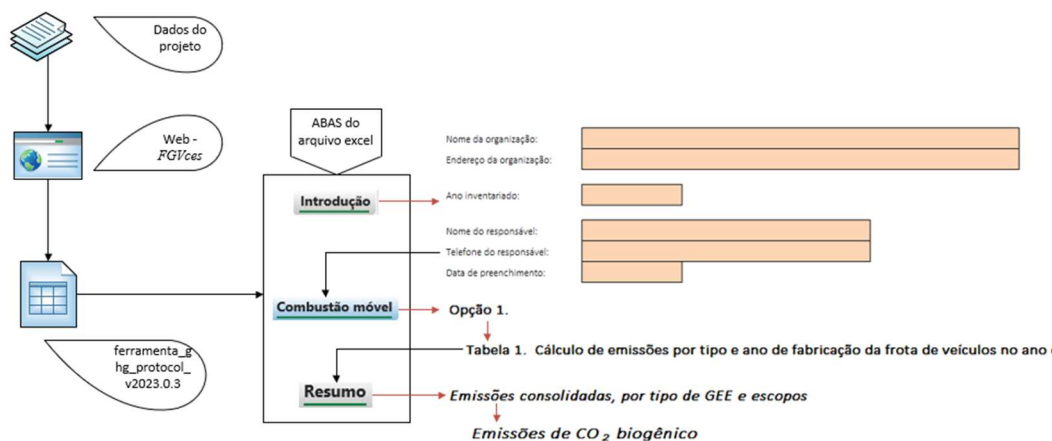
Fonte: Adaptado de ABNT (2023).

Estas classificações são usadas na calculadora GEE, para atribuir o valor corretor para cada escopo de emissões. A seguir o fluxo para o preenchimento dos dados na calculadora GEE para obter a melhor resposta das emissões no estudo de caso, onde temos: (FGVces, 2023).

- A opção 1 é mais precisa que a opção 2.
- A opção 2 é mais precisa que a opção 3.
- Não preencha a mesma fonte emissora em mais de uma opção.

A calculadora é alimentada de acordo com cada necessidade de escopo, e ao final o resultado é apresentado em toneladas da conversão dos gases de efeito estufa (**Figura 3**).

Figura 3 – Fluxo para o preenchimento da Calculadora GEE.



Fonte: Autor.

A escolha da melhor opção depende da origem dos dados levantados, para assim, definir o meio que será usado no cálculo de emissões.

Escolha entre: (Fonte: FGVces, 2023).

- a Opção 1 (cálculo por tipo e ano de fabricação da frota de veículos) OU
- a Opção 2 (cálculo por tipo de combustível) OU
- a Opção 3 (cálculo por distância) para realizar o cálculo das emissões desta fonte.

Dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) é a unidade de medida utilizada para comparar a intensidade de radiação de um GEE como o dióxido de carbono. Para o cálculo é utilizado a massa de um determinado GEE multiplicado pelo seu potencial de aquecimento global, disponível na calculadora de emissões. (ABNT, 2023a)

Na produção global ocorrem emissões de CO₂ proveniente da queima de biomassa (material biológico feito de carbono como bagaço da cana de açúcar, hidrogênio e oxigênio), como nas atividades relacionadas ao setor agrícola. Estes processos resultam em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois este CO₂ é gerado através de um ciclo biológico que se degrada em menor tempo na atmosfera (e não um ciclo geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil, que tem uma degradação lenta na atmosfera). Nos termos do atual Protocolo de Quioto, o uso de biomassa e de seus subprodutos como combustíveis

alternativos é considerado uma importante contribuição para a redução nas emissões de GEE. (GREEN HOUSE GAS PROTOCOL, 2015).

As emissões de carbono biogênico são divididas em duas categorias:

- Uso do solo – emissões dos solos, decomposição de matéria orgânica morta e queimadas de resíduos agrícolas.
- Uso de biocombustível – emissões do uso de biocombustíveis.

A fixação biológica do carbono ocorre através da fotossíntese e, quando realizada, reduz temporariamente a concentração de CO₂ na atmosfera. Dessa forma, o incremento de carbono em tecido vegetal e solo deve ser contabilizado como remoção biogênica de CO₂. Exemplos: aumento do estoque de carbono no solo, adubação verde, entre outros. Importante ressaltar que, a queima ou corte de biomassa da vegetação nativa advinda de mudanças no uso da terra (ou seja, de desmatamento) não é considerada neutra em termos de impacto climático e deve ser reportada dentro dos escopos 1 ou 3. (GREEN HOUSE GAS PROTOCOL, 2015).

O termo ESG e seu conceito foram propostos pela primeira vez pela iniciativa “*Who Cares Wins*” do Pacto Global da ONU em parceria com o Banco Mundial, em junho de 2004, como uma forma de focar os principais investidores e analistas na materialidade e na interação entre as questões ambientais, sociais e de governança. O movimento ESG ganhou ainda mais força em 2006, quando a ONU, juntamente com grandes investidores institucionais (fundos de pensão e investimento), lançou os Princípios para o Investimento Responsável (PRI).

Desde o Estabelecimento do PRI, gestores de recursos estão desenvolvendo maneiras de incorporar critérios ESG na análise de investimentos e nas tomadas de decisão. Outras iniciativas se juntaram a este esforço em prol de um capitalismo sustentável, com foco em uma visão corporativa, como o *Business Roundtable*, Capitalismo Consciente Brasil, Pacto Global, Sistema B Brasil, entre outras. Em 2015, a ONU propôs aos seus países membros uma nova agenda de desenvolvimento sustentável para os próximos 15 anos (**Figura 4**), a Agenda 2030, composta pelos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS (ABNT, 2023b).

Figura 4 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: ABNT (2023b).

Com o aumento da temperatura global algumas medidas foram iniciadas com o objetivo de reduzir o impacto gerado pelas emissões dos GEE como a compensação, neutralização de dióxido de carbono e *Net Zero*.

- Compensação de carbono: consiste no plantio de árvores, utilização de energias renováveis e outras medidas para equilibrar as emissões gerada em um processo ou indústrias.
- Neutralização: consiste em utilizar as compensações de carbono a fim de neutralizar todas as emissões de carbono gerado por empresa ou similar.
- Net Zero: é semelhante à neutralização, mas em escala maior, enquanto a compensação e neutralização têm como premissa a redução do dióxido de carbono, o net zero refere-se a zerar todas as emissões dos GEE, criar produtos eficientes, mais sustentáveis e explorar baixo custo nas cadeias de suprimentos.

O Movimento Ambição *Net Zero* é uma iniciativa de aceleração que visa desafiar e apoiar empresas integrantes do Pacto Global da ONU para que estabeleçam compromissos em relação ao clima que sejam ambiciosos e baseados na ciência e que integrem o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 13 (Ação Climática) e os objetivos do Acordo de Paris em suas estratégias de negócio. O movimento defende a definição de metas baseadas na ciência como uma maneira poderosa de impulsionar entregas de impacto para a sociedade brasileira e por isso se propõe a trabalhar com o setor empresarial brasileiro com compromissos individuais e ambições coletivas (PACTO GLOBAL, 2023).

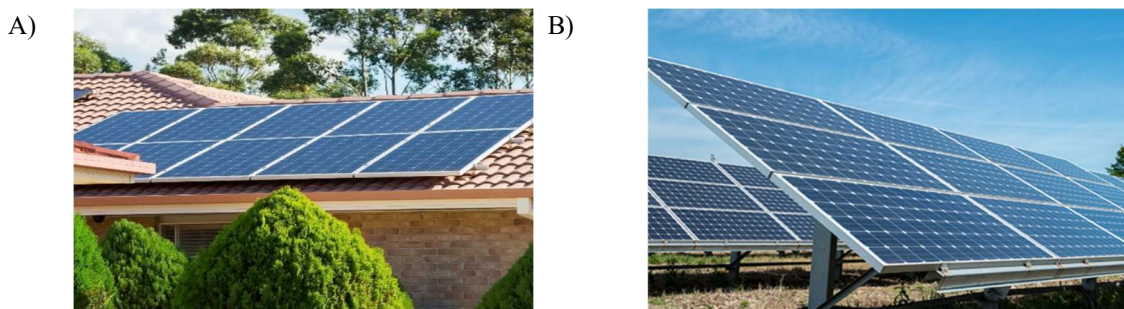
Baseado no *net zero*, projetos de energia limpa ou renovável foram criadas para contribuir com a redução do impacto dos GEE como as usinas de energia eólicas, usinas fotovoltaicas e usinas de hidrogênio verde.

As fontes de energia limpa ou renovável são caracterizadas pelas matrizes naturais utilizadas como fonte de energia infinita com impacto ambiental reduzido por não gerar resíduos. Alguns exemplos são as de origem de biomassa, sol, vento, hídrica, oceânica e geotérmica. E as fontes de energia não renovável as de sistemas que dependem de combustíveis fósseis, recursos finitos e esgotáveis como petróleo, carvão, gás natural e nuclear que são comumente utilizados e que durante a queima aumentam os níveis de emissões de GEE.

Dentro do contexto de energia, independente da origem, a melhoria contínua dos processos deve sempre estar em pauta buscando a eficiência energética e em busca de mudança comportamental da sociedade, a fim de ter novos hábitos de uso sustentável dos recursos e obter menor impacto ambiental. Diante disso projetos como a utilização de placas fotovoltaica com o objetivo de gerar energia a base dos raios solares estão sendo aplicadas e gradativamente a sociedade reconhecendo os benefícios da prática.

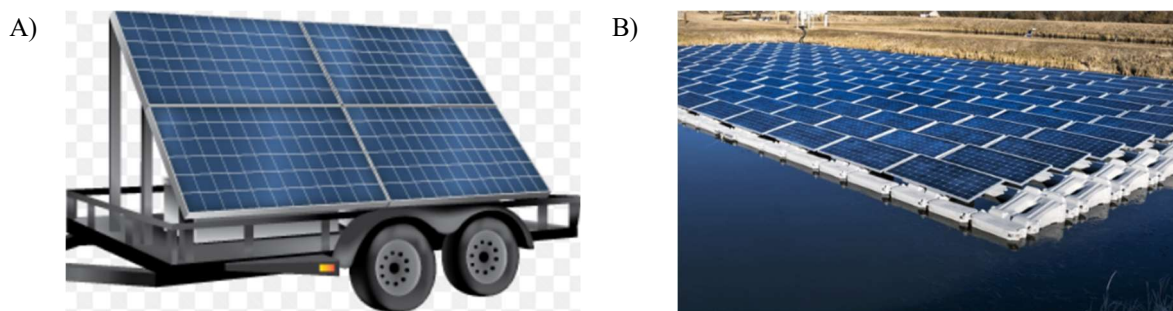
Os sistemas são versáteis e podem ser instalados em telhados de residências, comércios, indústrias, em espelho d'água e diretamente no solo, posicionados no trajeto do nascer até o pôr do sol, de acordo com a melhor incidência solar (**Figura 5 e Figura 6**).

Figura 5 – Sistema fotovoltaico instalado no telhado (A) e no solo (B).



Fonte: Acervo da internet.

Figura 6 – Sistema fotovoltaico móvel (A) e sistema instalado em um lago (B).



Fonte: Acervo da internet.

Os sistemas fotovoltaicos são práticos, podendo ser fixo ou moveis dependendo da necessidade energética baseado na forma de captar a irradiação solar através das placas e enviar para os conversores transformando em energia elétrica, que podem ser armazenadas em baterias ou enviadas para a rede de distribuição local, para estes processos as denominações são *Off Grid* e *On Grid* respectivamente.

Os sistemas *Off Grid* consistem em armazenar energia gerada em baterias estacionarias de forma autossustentável a fim de utilizar por períodos noturnos ou quando não tiver a possibilidade de gerar energia através dos raios solares em regiões isoladas, locais ou sem companhia de abastecimento elétrico. Neste processo a energia pode ser utilizada no ato da geração ou simplesmente armazenada, podendo ser compartilhada com dispositivos moveis e outros equipamentos que necessitam de energia elétrica, como os para monitoramento ambiental (**Figura 7**).

Figura 7 – Sistema *Off Grid*.

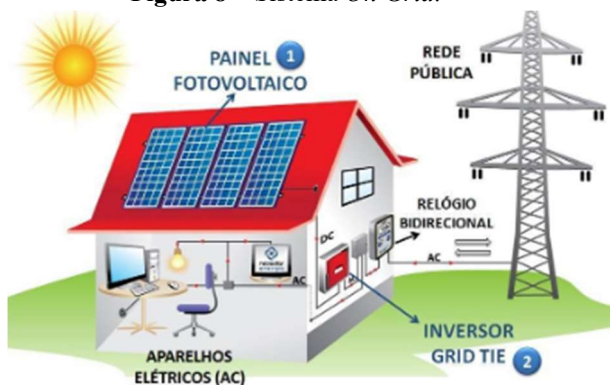


Fonte: Acervo da internet.

Os sistemas *On Grid* consistem em repassar a energia excedente do processo para a rede de distribuição elétrica do local. A concessionária prestadora no fornecimento de energia recebe

o excedente e abate da conta de utilização de energia elétrica do usuário o valor proporcional, não sendo necessário utilizar baterias para armazenar (**Figura 8**).

Figura 8 – Sistema *On Grid*.



Fonte: Acervo da internet.

Estes sistemas são de grande valia para as práticas sustentáveis e economicamente viáveis por impactarem de forma positiva a cadeia energética, indo ao encontro de monitoramentos ambientais e trabalhos para reduzir as mudanças climáticas e deixar de contribuir com a elevação da temperatura global.

O monitoramento ambiental consiste em monitorar, medir, analisar e avaliar o desempenho ambiental, que podem ser contínuas ou periódicas, para acompanhamento de qualidade de um meio ou das suas características, com os seguintes quesitos. (ABNT, 2015):

- ✓ O que precisa monitorar e medido;
- ✓ Os métodos de monitoramento, medição, análises e avaliação de como aplicar para assegurar os resultados;
- ✓ Os critérios pelos quais a organização irá avaliar seu desempenho ambiental e indicadores apropriados;
- ✓ Quando o monitoramento e a medição devem ser realizados;
- ✓ Quando os resultados de monitoramento e mediação devem ser analisados e avaliados;

O monitoramento é aplicado em vários seguimentos e matrizes ambientais dentre elas para água de consumo encontradas em lagos, represas e em poços. O objetivo deste monitoramento é avaliar as possibilidades de contaminação de aquíferos oriundas da interferência humana ou condição natural.

Contaminação ambiental é definida como a presença de substâncias químicas na água, solo ou ar, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações superiores aos limites estabelecidos pela legislação vigente sobre gerenciamento de áreas contaminadas (ABNT, 2022).

Em cada matriz ambiental a ser monitorada, procedimentos específicos devem ser seguidos e equipamentos apropriados devem ser utilizados (**Figura 9**). Uma das atividades realizadas para o monitoramento da qualidade das águas, superficiais e subsuperficiais, é a amostragem. Dentre os principais equipamentos utilizados para monitoramento da matriz água *in situ*, podemos ressaltar:

- Sonda multiparâmetro: utilizado para medir parâmetros físico-químicos da água como pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial de oxido redução e temperatura. Equipamento possui bateria recarregável tipo C de 4,0 Ah, com tempo estimado de recarga de aproximadamente 4 horas.
- Turbidímetro: utilizado para medir a turbidez da água. Equipamento possui bateria recarregável tipo AA de 2,5 Ah, com tempo estimado de recarga de aproximadamente 3 horas.
- Medidores de nível ou fase do líquido: utilizado para medir a profundidade e o nível da água em poços e espessura de uma fase líquida. Equipamento possui bateria recarregável tipo retangular de 6,8 Ah, com tempo estimado de recarga de aproximadamente 7 horas.
- Compressor de ar e bomba para amostragem: utilizados para retirar água em profundidades. Equipamento possui tensão de 12 v.

Figura 9 – Equipamentos para monitoramento da matriz água.



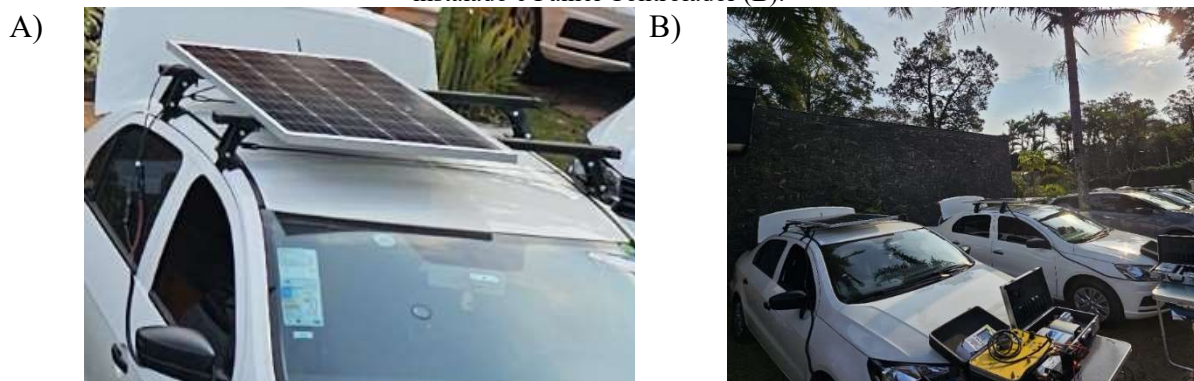
Fonte: Autor.

Um dos grandes desafios para o sucesso do monitoramento ambiental é a realização de atividades de campo em regiões isoladas, sem estrutura de fontes de energia elétrica que geralmente inviabilizam práticas sustentáveis na operação. Para a operação de equipamentos, o fornecimento de energia é realizado por meio de pilhas, baterias e geradores com queima de combustível, contribuindo com os GEE e na mudança climática.

As fontes de energia renováveis são uma alternativa para a obtenção energética necessária para atendimento das atividades de operação e monitoramento ambiental, podendo ser armazenadas em baterias ou usadas durante o processo de conversão para energia. Dentre as opções de fontes de energia, a solar pode ser aproveitada no processo, em modelos de sistemas fotovoltaico denominados *off grid*, podendo ser compactos e moveis, possibilitando a utilização em locais isolados e sem infraestrutura elétrica.

O sistema pode ser instalado em um *rack* no teto do veículo (**Figura 10**), com uma grande praticidade, pois a geração de energia pode acontecer durante o deslocamento, estacionado ou durante as atividades no projeto, obtendo energia limpa em todo o processo enquanto houver luz suficiente durante o dia.

Figura 10 – Veículo com a placa fotovoltaica instalada no rack (A); Carros com o sistema fotovoltaico instalado e Painel Controlador (B).



Fonte: Autor.

Caso não seja possível estar com o veículo próximo ao ponto de amostragem, o sistema é facilmente desmontado e pode ser colocado ao lado da atividade, com o auxílio de um tripé ou sobre uma mesa para apoio. O sistema possibilita a operação gerando energia limpa simultaneamente com o processo de amostragem, viabilizando a utilização de compressor de ar e outros equipamentos, com a vantagem de minimizar os riscos de contaminações cruzadas de combustíveis e descarga dos motores dos geradores tradicionais.

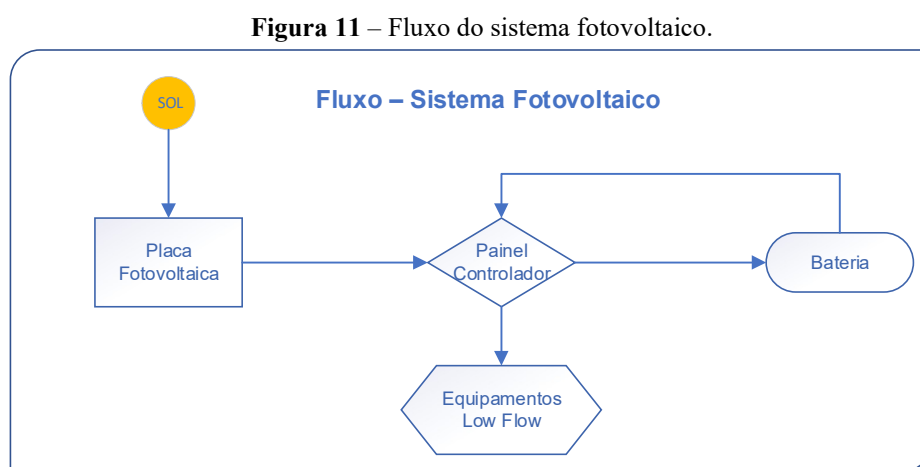
5. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa e o desenvolvimento do protótipo “Amaterasu” foram realizados dentro do âmbito corporativo com a aquisição da placa fotovoltaica, bateria estacionária e um painel controlador para conversão da energia, sendo instalado em um automóvel operacional, utilizado em atividades de monitoramento ambiental.

O sistema foi projetado para gerar energia durante o deslocamento dos veículos ou em pontos fixo onde a posição seja favorável, levando em consideração a incidência solar, podendo ser desmontado (modular) do veículo e colocado ao lado dos pontos de trabalho.

Considerando um dia de sol pleno sem interferência de nuvens ou sombra sobre o sistema, o dimensionado com uma placa de 280 watts pode ter uma eficiência energética de 8,88 Ah/hora, considerando o armazenamento na bateria estacionária de 60 Ah, um inversor de frequência de 6,0 Ah com uma carga total aproximada de 7 horas.

A **Figura 11** apresenta o fluxo de funcionamento do sistema fotovoltaico *off Grid* durante a geração energética, armazenamento e distribuição para equipamentos.



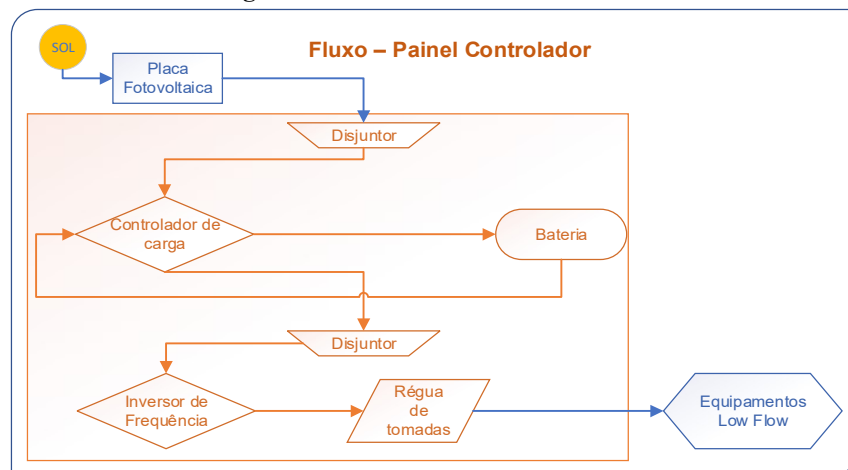
Fonte: Autor.

Para a avaliação do desempenho do sistema Amaterasu, foi utilizado como base o sistema convencional (Sistema Baixa Vazão Raiz ou BVR). O BVR necessita que o veículo esteja ligado durante as atividades para recarregar a bateria estacionária, de forma a fornecer energia para os equipamentos, fundamentando base de estudo e comparação de caso.

5.1. Protótipo Amaterasu e BVR

Para a montagem do sistema, os equipamentos controladores, inversor, disjuntor e régua de tomadas foram inseridos dentro do case e nomeado de Painel Controlador. Assim garantindo melhor segurança dos componentes, facilitando o deslocamento e melhor flexibilidade do processo (**Figura 12 e Figura 13**).

Figura 12 – Fluxo Painel Controlador.



Fonte: Autor.

Painel controlador possui uma régua de tomadas, possibilitando a utilização de módulos de recarga de pilhas recarregáveis de equipamentos e outros aparelhos eletrônicos como celular e computador.

Figura 13 – Painel controlador utilizado para amostragem de água subterrânea.



Fonte: Autor.

A bateria utilizada em ambos os sistemas, são idênticas, possibilitando a comparação direta de rendimento durante os testes de campo do experimento. Durante o experimento os equipamentos foram utilizados para monitoramento ambiental, com a finalidade de amostragem da matriz água subterrânea denominados de *low flow* ou baixa vazão (**Figura 14**). Na comparação entre os protótipos os equipamentos utilizados foram dos mesmos modelos, marca e quantidades, garantindo que as necessidades energéticas fossem as mesmas.

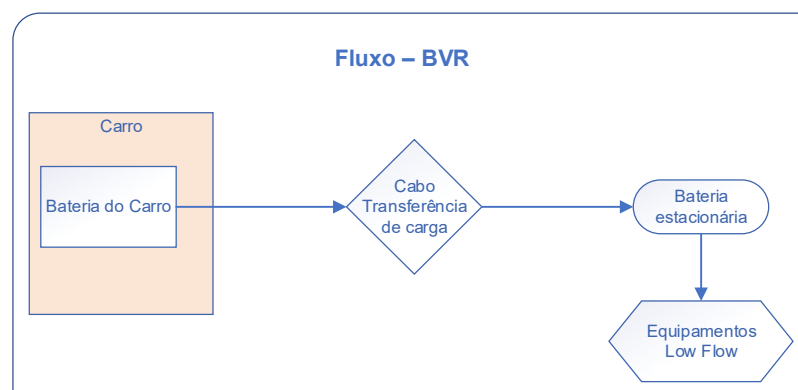
Figura 14 – Conjunto de amostragem de água por baixa vazão (*Low Flow*) utilizado em campo.



Fonte: Autor.

A seguir o fluxo de recarga do sistema BVR (**Figura 15**) durante as atividades em campo, onde o veículo tem que ser ligado para fazer a transferência de carga para a bateria que fornece energia para os equipamentos de amostragem. Desta maneira o sistema necessita de queima de combustível para gerar energia suficiente para os equipamentos em operação.

Figura 15 – Fluxo de carga do BVR.



Fonte: Autor.

5.2. Experimento

Para avaliar a eficácia do sistema os testes foram divididos em duas fases, baseando-se no estudo do consumo de combustível fóssil (gasolina) por dia, desempenho diário de trabalho, custos com abastecimento e GEE em cada protótipo. A escolha do tipo de combustível e uma referência a necessidade de utilizar gasolina em geradores, para suprir a demanda de energia em campo e outras atividades afins. A primeira métrica utilizada é o rendimento em km/l rodados em cada dia. O consumo de combustível e o deslocamento total (km rodados) no dia para cada veículo (**Equação 1**).

Equação 1: $\text{Rendimento (km/L)} = \text{deslocamento (km/dia)} / \text{abastecimento (L/dia)}$

O resultado da fórmula do rendimento demonstrará a eficiência para um dos veículos, considerando a redução no consumo e impactando o custo e a queima do combustível.

Outra métrica importante que deve ser garantida é o rendimento diário de trabalho, um fator que impacta diretamente no consumo energético dos protótipos. Desta maneira, ambos cenários devem ser semelhantes, considerando quantidade de poços coletados, volume de água retirada dos poços, profundidade dos poços e tempo de operação. Buscando a similaridade do estudo o desempenho foi mantido (**Tabela 1**).

Tabela 1 – Desempenho médio da operação por dia de trabalho.

Protótipo	Quantidade de poços amostrado (un)	Volume médio de água retirada dos poços (L)	Profundidade média dos poços (m)	Tempo médio dos equipamentos em funcionamento (h)
Baixa Vazão Raiz	5	25	21	7
Amaterasu	5	25	21	7

Fonte: Autor.

Para o cálculo de viabilidade econômica o valor de gasto com combustível e expressada em Reais (R\$), demonstrando como métrica o ganho financeiro por período (**Equação 2**).

Equação 2: $\text{Valor abastecimento BVR} - \text{valor abastecimento Amaterasu} = \text{ganho período}$

Com estes dados, a avaliação de viabilidade econômica da implantação do sistema pode ser aplicada, utilizando-se o conceito de *payback* do investimento referente ao protótipo Amaterasu.

O *payback* (indicador de retorno de investimento) demonstra o tempo que o investimento inicial é recuperado, este indicador é imprescindível para a tomada de decisão e continuidade do projeto.

5.2.1. Primeira Fase

Foi realizada por um período de 30 dias durante uma campanha em campo de amostragem de água subterrânea para fins de monitoramento ambiental. Foram utilizados veículos da mesma marca e modelo, as equipes saíram do mesmo ponto de origem e seguiram juntas para o mesmo local para as atividades e retornaram juntas ao mesmo ponto final, sendo assim, as distâncias percorridas pelos dois veículos foram iguais.

Para comparar os resultados, foram coletados e registrados os dados das operações com o sistema BVR (bateria recarregada com a queima de gasolina) e do protótipo Amaterasu (bateria recarregada com o sistema fotovoltaico).

Durante o período de acompanhamento dos veículos, sempre antes da saída dos carros para o projeto foi registrada a informação da quilometragem inicial (disponível no painel do veículo), em seu retorno à base operacional (onde o veículo pernoitava) a quilometragem final, obtendo o resultado de Km/dia de trabalho. Após obter o resultado do Km final do dia, os veículos foram abastecidos no mesmo posto de combustível ao lado da base operacional, as informações de litros abastecidos e custo também foram inseridos na tabela. Após todas as informações inseridas na tabela, foi realizada a conversão do consumo de km/L em cada dia do experimento.

5.2.2. Segunda Fase

O acompanhamento das atividades de campo foi realizado durante 6 meses, seguindo os mesmos critérios da primeira fase, possibilitando a avaliação comparativa durante um maior período.

O método determinado para comprovar as diferenças de rendimento foi a comparação entre os protótipos, durante a recarga de bateria estacionária com a queima do combustível fóssil (gasolina) e placa fotovoltaica. Em cada dia de trabalho o Km inicial e final dos veículos foram registrados, junto com os valores de litros do reabastecimento e o custo, comparando o consumo de combustível e rendimento em litros dos veículos por km rodado.

Após o levantamento dos dados resultantes do experimento, foi utilizada a calculadora de GEE, desenvolvida pelo Programa Brasileiro GHG *Protocol*, de forma a demonstrar o impacto das emissões durante o processo de recarga da bateria durante a queima de combustível no sistema Baixa Vazão Raiz e a utilização do sistema Amaterasu.

Para o cálculo de retorno de investimento, foi atribuído os custos de implantação do protótipo Amaterasu (R\$ 4.890,00), somatório dos valores das aquisições das peças e recursos necessários para a implantação. Para calcular o *payback* será utilizado o valor do consumo de combustível não utilizado no reabastecimento do veículo com o protótipo Amaterasu em comparação com o veículo BVR mês a mês.

Equação 3: $Payback = \text{investimento inicial} / \text{ganho no período}$

A resposta e o tempo de retorno do investimento de acordo com a métrica aplicada, por exemplo dia, mês ou ano. Outra forma de acompanhar o retorno no período, é definido pelo valor do investimento menos o ganho do período, quando os valores se equiparam, o investimento no protótipo já retornou em economia de operação.

Equação 4: $\text{Retorno} = \text{Investimento inicial} - \text{ganho no período}$

O cálculo deve ser repetido até zerar o valor do investimento inicial, assim chegando ao *payback*, a continuidade do cálculo mostrará o valor ganho acumulado por período.

6. RESULTADO

Os dados obtidos durante os testes realizados são apresentados, sendo individualizados para cada sistema. Foram coletadas informações referentes a quantidade de dias, tipo de combustível e o distrito para onde ambos os veículos seguiram nas duas fases, sendo o acompanhamento diário do deslocamento mantido em ambas as fases, garantindo as mesmas condições para os protótipos.

Tabela 2 – Distritos da primeira fase.

Quantidade de dias	Combustível	Distrito
7	Gasolina	Mauá
5	Gasolina	Santo André
5	Gasolina	Diadema
13	Gasolina	São Bernado dos Campos

Fonte: Autor.

Tabela 3 – Distritos da segunda fase.

Quantidade de dias	Combustível	Distrito
30	Gasolina	São José do Campos
15	Gasolina	Riacho Grande
5	Gasolina	Osasco
15	Gasolina	Diadema
30	Gasolina	Mauá
15	Gasolina	Cubatão
5	Gasolina	Itapevi
15	Gasolina	Santo Amaro
10	Gasolina	Cosmópolis
30	Gasolina	São Caetano do Sul
10	Gasolina	Morumbi

Fonte: Autor.

6.1. Primeira Fase

Iniciou se pelo levantamento dos dados presentes na **Tabela 4** e **5**, sendo medida a quilometragem gasta por dia, volume abastecido com gasolina, valor do abastecimento e rendimento diário em km/l em cada protótipo.

Na primeira análise, já é possível obter algumas informações relevantes para o estudo, como a quantidade de litros de combustível abastecido, o valor (R\$) no período e rendimento médio km/l dos protótipos. Valor do rendimento médio neste levantamento de dados foi de 6,5 km/l, mostrando uma perda de eficiência quando comparada com o protótipo Amaterasu que

foi de 8,9 km/l. Os resultados mostram que a necessidade de manter o carro ligado durante os trabalhos de amostragem aumentam o consumo de combustível em aproximadamente 37%.

Tabela 4 – Sistema com geração energética abastecido com gasolina.

km inicial	km Final	Km/dia	Abastecimento (L)	Valor Abastecimento (R\$)	Rendimento (km/dia)
40.202	40.348	146	20,9	122,6	7,0
40.348	40.492	144	22,6	130,9	6,5
40.492	40.634	142	20,9	123,0	6,8
40.634	40.778	144	20,9	119,5	7,1
40.778	40.918	140	23,3	137,4	6,0
40.918	41.060	142	23,3	137,1	6,1
41.060	41.204	144	24,8	146,2	5,8
41.204	41.288	84	12,0	70,7	7,0
41.288	41.374	86	13,2	77,9	6,5
41.374	41.462	88	12,9	75,2	6,8
41.462	41.545	83	11,7	67,9	7,1
41.545	41.633	88	14,7	85,2	6,0
41.633	41.713	80	13,1	75,7	6,1
41.713	41.782	69	11,9	68,6	5,8
41.782	41.853	71	10,1	58,5	7,0
41.853	41.923	70	10,8	62,1	6,5
41.923	42.000	77	11,3	65,3	6,8
42.000	42.075	75	10,6	61,0	7,1
42.075	42.155	80	13,3	77,0	6,0
42.155	42.237	82	13,4	77,1	6,1
42.237	42.318	81	14,0	80,2	5,8
42.318	42.398	80	11,4	65,6	7,0
42.398	42.482	84	12,9	74,2	6,5
42.482	42.564	82	12,1	69,2	6,8
42.564	42.647	83	11,7	67,1	7,1
42.647	42.726	79	13,2	75,6	6,0
42.726	42.805	79	13,0	73,7	6,1
42.805	42.893	88	15,2	86,3	5,8
42.893	42.977	84	12,0	68,3	7,0
42.977	43.057	80	12,3	70,0	6,5
Total		2.855	443,5	2.569,1	Média 6,5

Fonte: Autor.

Com os resultados obtidos é possível observar a diferença de consumo entre os veículos, onde o rendimento do protótipo BVR em Km/l é menor que o protótipo Amaterasu, em cada dia durante as atividades. Esta diferença ocorre devido necessidade de ligar o sistema BVR durante alguns períodos do dia para recarregar a bateria estacionária utilizada nas amostragens, isso faz aumentar o consumo do combustível, enquanto o rendimento do veículo do protótipo Amaterasu se mantém próximos ao manual do proprietário.

Os resultados de Km rodado no mês, quantidade em litros de combustível e valor gasto com o reabastecimento foram consolidados (**Tabela 6**).

Com os dados registrado ao longo do experimento 1, foi calculado o consumo com base no deslocamento total para cálculo e correção de seus respectivos consumos de combustível e valor (Tabela 6). Como ambos os carros são do mesmo modelo, o consumo médio calculado de combustível foi de 8,9 km/l, realizado a correção para o protótipo BVR, seu consumo de deslocamento ajustado é de 321,4 litros.

Tabela 5 – Sistema com geração energética do painel fotovoltaico.

Km inicial	km final	Km/dia	Abastecimento (L)	Valor Abastecimento (R\$)	Rendimento (km/dia)
40.504	40.649	145	16,1	94,9	9,0
40.649	40.790	141	15,3	90,3	9,2
40.790	40.930	140	15,9	93,7	8,8
40.930	41.074	144	16,9	99,8	8,5
41.074	41.212	138	15,3	90,3	9,0
41.212	41.359	147	17,7	104,3	8,3
41.359	41.501	142	16,2	95,0	8,8
41.501	41.585	84	9,3	55,0	9,0
41.585	41.672	87	9,2	53,9	9,5
41.672	41.759	87	9,1	52,7	9,6
41.759	41.840	81	9,0	52,3	9,0
41.840	41.924	84	9,7	56,1	8,7
41.924	42.001	77	9,0	51,7	8,6
42.001	42.071	70	8,3	48,1	8,4
42.071	42.142	71	7,7	44,5	9,2
42.142	42.215	73	8,1	46,8	9,0
42.215	42.291	76	9,4	54,1	8,1
42.291	42.370	79	10,0	57,7	7,9
42.370	42.451	81	10,3	59,2	7,9
42.451	42.535	84	9,4	54,2	8,9
42.535	42.614	79	9,0	51,5	8,8
42.614	42.695	81	8,5	48,9	9,5
42.695	42.778	83	8,8	50,7	9,4
42.778	42.862	84	9,1	52,4	9,2
42.862	42.942	80	8,3	47,8	9,6
42.942	43.023	81	9,0	51,7	9,0
43.023	43.102	79	8,8	50,0	9,0
43.102	43.188	86	9,4	53,2	9,2
43.188	43.268	80	9,4	53,6	8,5
43.268	43.349	81	9,2	52,4	8,8
Total		2.845	321,4	1.866,8	Média 8,9

Fonte: Autor.

Tabela 6 – Comparativos dos resultados entre os sistemas BVR e Amaterasu.

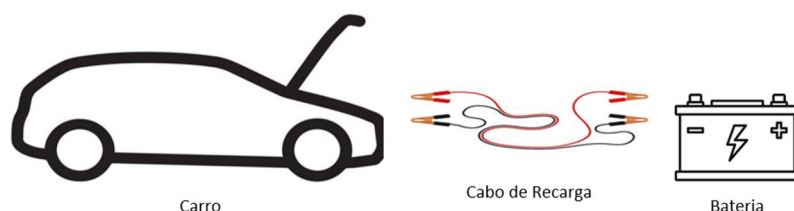
Comparativo primeiro mês		
Protótipo	Abastecimento (L)	Valor Abastecimento (R\$)
Baixa Vazão Raiz	443,5	2.569,1
Amaterasu	321,4	1.866,8
Diferença	122,1	702,3

Fonte: Autor.

Desta maneira, a diferença de consumo entre os protótipos representa o custo energético para a conversão da energia mecânica em energia elétrica realizada pelo sistema convencional BVR, sendo de 122,1 litros ao longo do período do experimento 1. Como o custo médio do combustível foi de R\$ 5,8, o valor gasto para o recarregamento dos sistemas em campo foi de R\$ 702,3.

A diferença se deve ao fato que o carro com o sistema convencional, a bateria estacionária tem que ser recarregada durante o dia de trabalho, onde a bateria estacionária é conectada com os cabos auxiliares de recarga ao alternador do veículo, que transforma a energia mecânica do motor em energia elétrica, sendo consumido combustível no processo de recarga (**Figura 16**).

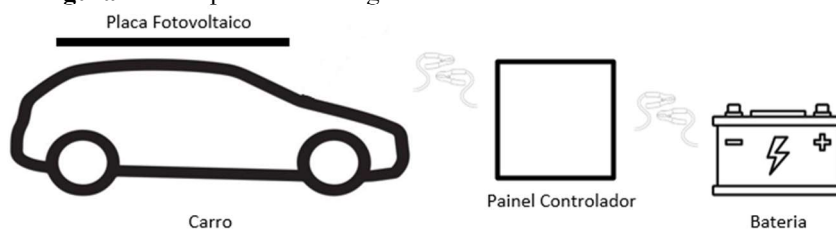
Figura 16 – Esquema de recarga de bateria com queima de combustível (gasolina).



Fonte: Autor.

No protótipo Amaterasu, um sistema passivo de geração de energia que recarrega as baterias ao longo do dia por meio dos painéis com a energia convertida dos raios solares (**Figura 17**). O sistema realiza a recarregar da bateria estacionária instalada no porta-malas do veículo, ou removendo o sistema e instalando em um ponto de apoio próximo ao local de trabalho se a condição do sol for favorável.

Figura 17 – Esquema de recarga de bateria com o sistema fotovoltaico.



Fonte: Autor.

Após os dados de consumo na primeira etapa do experimento, serem consolidadas, estas informações obtidas foram inseridas na calculadora de GEE, sendo possível avaliar a diferença de geração do carbono durante as atividades de amostragem nos protótipos.

Foram geradas tabelas para cada protótipo, contendo os resultados individuais de cada veículo e a diferença de consumo entre os protótipos BVR e Amaterasu.

6.2. Calculadora GEE

Todos os resultados obtidos na calculadora são projetados como impacto por ano para o CO₂ equivalente e o biogênico. Neste estudo de caso, os resultados obtidos da calculadora de GEE foram inseridos em tabelas para melhor apresentação e organização dos dados.

Tabela 7 – Cálculo de GEE em toneladas do sistema BVR.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂	0,71
CH ₄	-
N ₂ O	-
HFCs	-
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-
Perfluorociclopropano	-
SF ₆	-
NF ₃	-
Total	0,71

Fonte: Autor.

Tabela 8 – Cálculo de GEE biogênico do BVR.

Emissões de CO₂ biogênico	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂ (t)	0,18
CH ₄ (t)	-
N ₂ O (t)	-
HFC (t)	-
PFC (t)	-
SF ₆ (t)	-
NF ₃ (t)	-
Emissões de CO₂ biogênico (t)	0,18

Fonte: Autor.

Tabela 9 – Cálculo de GEE em toneladas do Amaterasu.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂	0,52
CH ₄	-
N ₂ O	-
HFCs	-
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-
Perfluorociclopropano	-
SF ₆	-
NF ₃	-
Total	0,52

Fonte: Autor.

Tabela 10 – Cálculo de GEE biogênico do Amaterasu.

Emissões de CO₂ biogênico		
GEE (t)	Escopo 1	
CO ₂ (t)	0,13	
CH ₄ (t)	-	
N ₂ O (t)	-	
HFC (t)	-	
PFC (t)	-	
SF ₆ (t)	-	
NF ₃ (t)	-	
Emissões de CO₂ biogênico (t)	0,13	

Fonte: Autor.

Consolidação e comparação dos resultados obtido no experimento para os GEE dos protótipos.

Tabela 11 – Comparativo de GEE entre os protótipos.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE		
Protótipo	GEE (t)	Escopo 1
Baixa Vazão Raiz	CO ₂	0,71
Amaterasu	CO ₂	0,52
Diferença	CO₂	0,19

Fonte: Autor.

Tabela 12 – Comparativo de CO₂ biogênico entre os protótipos.

Emissões de CO₂ biogênico		
Protótipo	GEE (t)	Escopo 1
Baixa Vazão Raiz	CO ₂ (t)	0,18
Amaterasu	CO ₂ (t)	0,13
Diferença	CO₂ (t)	0,05

Fonte: Autor.

A emissão de CO₂ do projeto Amaterasu foi 27,3% menor comparada com o do BVR, demonstrando que a geração energética com o auxílio do sistema fotovoltaico, reduz a pegada de carbono durante a atividade de amostragem.

Os resultados obtidos no projeto com a economia de combustível demonstrada na **Tabela 6**, entre os sistemas BVR e Amaterasu, que é igual a 122,1 litros, foi inserida na calculadora de GEE e demonstrada, na **Tabela 13** e **14**, demonstrado que com a utilização do protótipo Amaterasu deixou se de emitir GEE.

Tabela 13 – Diferença do cálculo de GEE entre os sistemas BVR e Amaterasu.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂	0,19
CH ₄	-
N ₂ O	-
HFCs	-
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-
Perfluorociclopropano	-
SF ₆	-
NF ₃	-
Total	0,19

Fonte: Autor.

Tabela 14 – Diferença do cálculo de GEE biogênico entre os sistemas BVR e Amaterasu.

Emissões de CO₂ biogênico	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂ (t)	0,05
CH ₄ (t)	-
N ₂ O (t)	-
HFC (t)	-
PFC (t)	-
SF ₆ (t)	-
NF ₃ (t)	-
Emissões de CO₂ biogênico (t)	0,05

Fonte: Autor.

Analisando os resultados obtidos, ao utilizar o sistema Amaterasu não foram emitidos 0,19 tCO₂e de CO₂ equivalente e 0,05 tCO₂ de CO₂ biogênico, o resultado sinaliza o potencial para reduzir o impacto ambiental e no efeito estufa do planeta a longo prazo.

Como os resultados obtidos na primeira fase do experimento foram positivos e demonstraram que a implantação do sistema Amaterasu pode ser uma medida sustentável e viável economicamente, os levantamentos de dados seguiram para a segunda fase para demonstração do *payback*.

6.3. Segunda Fase

Os resultados dos dados obtidos durante os seis meses, com o acompanhamento de litros que foram consumidos e valor do reabastecimento para cada protótipo mês a mês (**Tabela 15 e 16**).

Tabela 15 – Litros de combustível consumidos e valor pago no abastecimento por mês.

Baixa Vazão Raiz		
Mês	Abastecimento litros	Valor Abastecimento R\$
1	442,4	2.569,0
2	506,8	2.909,1
3	392,5	2.252,7
4	529,4	3.038,9
5	477,6	2.741,5
6	508,2	2.917,1
TOTAL	2.856,9	16.428,3

Fonte: Autor.

Tabela 16 – Litros de combustível consumidos e valor pago no abastecimento por mês.

Amaterasu		
Mês	Abastecimento litros	Valor Abastecimento R\$
1	321,4	1.866,7
2	341,5	1.960,4
3	287,3	1.649,1
4	405,5	2.327,5
5	312,7	1.795,0
6	333,2	1.912,7
TOTAL	2.001,6	11.511,4

Fonte: Autor.

Para melhor analisar os dados, os resultados obtidos foram resumidos na **Tabela 17**, fazendo uma comparação entre os protótipos e a diferença nos resultados.

Tabela 17 – Consolidação dos dados dos sistemas BVR e Amaterasu.

Protótipo	Abastecimento litros	Valor Abastecimento R\$
Baixa Vazão Raiz	2.856,9	16.428,4
Amaterasu	2.001,7	11.511,4
Diferença	855,2	4.917,0

Fonte: Autor.

Comparando os resultados registrados ao longo do experimento 2, foi calculado o consumo com base no deslocamento total para cálculo e correção de seus respectivos consumos de combustível e valor, conforme **Tabela 17**. Como ambos os carros são do mesmo modelo, o consumo médio calculado de combustível foi de 8,9 km/l, realizado a correção para o protótipo BVR, seu consumo de deslocamento ajustado é de 2.001,7 litros.

Desta maneira, a diferença de consumo entre os protótipos representa o custo energético para a conversão da energia mecânica em energia elétrica realizada pelo sistema convencional BVR, sendo de 855,2 litros ao longo do período do experimento 2. Como o custo médio do combustível foi de R\$ 5,8, o valor gasto para o recarregamento do sistema BVR em campo foi

de R\$ 4.917,0 durante os seis meses do experimento, representando um aumento de 43% no abastecimento.

Consequentemente confirma-se que a utilização do sistema Amaterasu reduz o impacto ambiental utilizando energia limpa na atividade de amostragem de água subterrânea.

Com os dados de economia no reabastecimento do veículo mês a mês, é possível avaliar a *payback* deste investimento, podendo avaliar a aplicabilidade financeira do investimento e ampliar em outros veículos da frota.

Para calcular quantidades de meses para retorno do investimento basta aplicar a fórmula:

$Payback = \text{investimento inicial} / \text{ganho no período}$

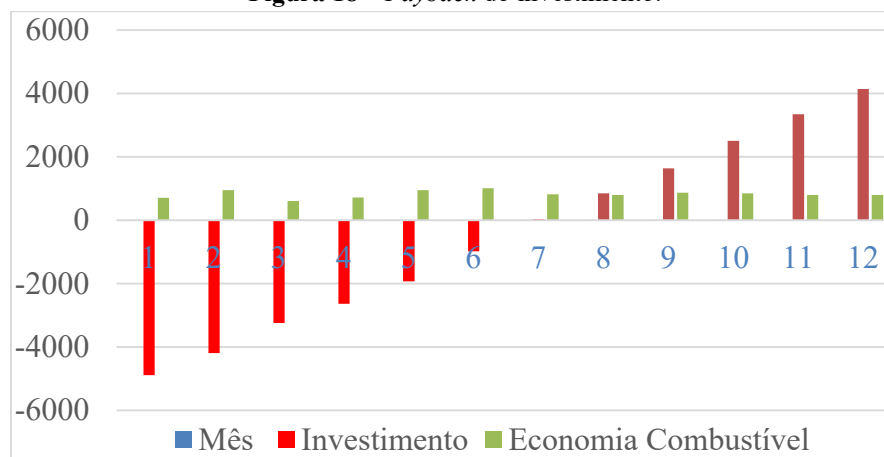
$Payback = \text{R\$ } 4.890,00 / \text{R\$ } 702,3$

$Payback = 7 \text{ meses}$

Com base no resultado da 1ª fase do experimento, o ganho no período foi de R\$ 702,3, aplicando este valor a fórmula do *payback* o retorno do valor do investimento será em 7 meses.

Portanto no sétimo mês, o investimento inicial é recuperado (**Figura 18**). A partir do sétimo mês toda a redução com o abastecimento é acumulada e aplicada para novos investimentos com o projeto.

Figura 18 – Payback do investimento.



Fonte: Autor.

Após todo o levantamento de dados durante os 6 meses de operação dos protótipos, utilizou-se a calculadora GEE, para comparar o impacto gerado no projeto com as emissões CO₂ equivalente e o biogênico para cada situação do presente estudo (**Tabelas 18 a 21**).

A emissão de CO₂ do projeto Amaterasu foi 38% menor comparada com o do Baixa Vazão Raiz, demonstrando que a geração energética com o auxílio do sistema fotovoltaico, reduz a pegada de carbono durante a atividade de amostragem.

A Consolidação e comparação dos resultados obtido no experimento para os GEE dos protótipos é apresentada nas **Tabelas 22 e 23**.

Os resultados obtidos no projeto com a economia de combustível, entre os sistemas BVR e Amaterasu, que é igual a 855,2 litros, foi inserida na calculadora de GEE (**Tabela 24 e 25**), demonstrado que com a utilização do protótipo Amaterasu deixou se de emitir GEE.

Tabela 18 – Cálculo de GEE em toneladas do BVR.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂	4,61
CH ₄	-
N ₂ O	0,26
HFCs	-
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-
Perfluorociclopropano	-
SF ₆	-
NF ₃	-
Total	4,87

Fonte: Autor.

Tabela 19 – Cálculo de GEE biogênico do BVR.

Emissões de CO₂ biogênico	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂ (t)	1,17
CH ₄ (t)	-
N ₂ O (t)	-
HFC (t)	-
PFC (t)	-
SF ₆ (t)	-
NF ₃ (t)	-
Emissões de CO₂ biogênico (t)	1,17

Fonte: Autor.

Tabela 20 – Cálculo de GEE em toneladas do Amaterasu.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂	3,28
CH ₄	-
N ₂ O	0,26
HFCs	-
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-
Perfluorociclopropano	-
SF ₆	-
NF ₃	-
Total	3,54

Fonte: Autor.

Tabela 21 – Cálculo de GEE biogênico do Amaterasu.

Emissões de CO₂ biogênico	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂ (t)	0,84
CH ₄ (t)	-
N ₂ O (t)	-
HFC (t)	-
PFC (t)	-
SF ₆ (t)	-
NF ₃ (t)	-
Emissões de CO₂ biogênico (t)	0,84

Fonte: Autor.

Tabela 22 – Comparativo de CO₂e entre os protótipos.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE		
Protótipo	GEE (t)	Escopo 1
Baixa Vazão Raiz	CO ₂	4,87
Amaterasu	CO ₂	3,55
Diferença	CO₂	1,32

Fonte: Autor.

Tabela 23 – Comparativo de CO₂ biogênico entre os protótipos.

Emissões de CO₂ biogênico		
Protótipo	GEE (t)	Escopo 1
Baixa Vazão Raiz	CO ₂ (t)	1,17
Amaterasu	CO ₂ (t)	0,84
Diferença	CO₂ (t)	0,33

Fonte: Autor.

Tabela 24 – Diferença do cálculo de GEE entre os sistemas BVR e Amaterasu.

Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE		
GEE (t)	Escopo 1	
CO ₂	1,38	
CH ₄	-	
N ₂ O	-	
HFCs	-	
Trifluorometil pentafluoreto de enxofre	-	
Perfluorociclopropano	-	
SF ₆	-	
NF ₃	-	
Total	1,38	

Fonte: Autor.

Tabela 25 – Cálculo de GEE biogênico entre os sistemas BVR e Amaterasu.

Emissões de CO₂ biogênico	
GEE (t)	Escopo 1
CO ₂ (t)	0,35
CH ₄ (t)	-
N ₂ O (t)	-
HFC (t)	-
PFC (t)	-
SF ₆ (t)	-
NF ₃ (t)	-
Emissões de CO₂ biogênico (t)	0,35

Fonte: Autor.

Analisando os resultados obtidos nas **Tabelas 24 e 25** temos, ao utilizar o sistema Amaterasu não foram emitidos 1,38 tCO₂e de CO₂ equivalente e 0,35 tCO₂ de CO₂ biogênico, o resultado sinaliza o potencial para reduzir o impacto ambiental e no efeito estufa do planeta a longo prazo.

Com o resultado durante as duas fases do experimento a contribuição ao meio ambiente foi comprovada deixando de emitir GEE (**Tabela 26**), demonstrando a aplicabilidade do sistema dentre as atividades de amostragem.

Tabela 26 – Consolidação das reduções das emissões de GEE.

Tipo	GEE (t)	Escopo 1
Emissões em toneladas métricas, por tipo de GEE	CO ₂	1,38
Emissões de CO ₂ biogênico	CO ₂ (t)	0,35

Fonte: Autor.

Ressalta-se que durante todo o levantamento de dados, não ocorreu mudança climáticas que pudessem interferir no estudo, todos os dias foram ensolarados com boa geração energética, contudo vale salientar que o rendimento da geração energética diminui com dias nublados e chuvosos, por isso um planejamento prévio antes da atividade deve ser realizado para garantir excelência nos trabalhos sem depender da queima de combustível durante a operação para suprir a falta do sol.

Os equipamentos utilizados nos estudos possuem visor que possibilita identificar o percentual de carga da bateria, desta maneira, ampliar as células de recarga, usando mais baterias para aproveitar a recarga no sistema e uma alternativa para garantir energia limpa mesmo em dias com condições climáticas desfavoráveis.

7. CONCLUSÃO

O estudo teve como objetivo demonstrar a viabilidade de utilização de um sistema fotovoltaico instalado em um automóvel, para a geração de energia limpa e renovável a ser utilizado em equipamentos de amostragem de água subterrânea, atividades ocorridas sempre em plantas de clientes com dificuldades de utilizar a estrutura elétrica ou sem este recurso, sendo comparada à utilização de energia gerada através da queima do combustível fóssil (gasolina) para recarregar uma bateria.

Os resultados apresentados neste estudo, demonstram que o sistema fotovoltaico em relação ao método de recarga através da queima de gasolina é uma alternativa viável, gerando economia financeira na 1ª Fase de R\$ 702,3, referente a não dependência de 122,1 litros de combustível no primeiro mês, deixando de emitir 0,19 tCO₂ e 0,05 tCO₂ biogênico por ano no meio ambiente.

A 2ª Fase de estudo demonstrou que a viabilidade na aplicação do sistema fotovoltaico como uma fonte alternativa de energia, com uma redução financeira total de R\$ 4.917,0, referente a não dependência de 855,2 litros de combustível comparado com o sistema BVR, deixando de emitir 1,38 tCO₂e e 0,35 tCO₂ biogênico por ano no meio ambiente.

O *payback* total do protótipo Amaterasu é de 7 meses, recuperando todo o custo de investimentos deste projeto, possibilitando uma maior autonomia de campo, menor risco de contaminações cruzadas e reduzindo as emissões de GEE.

O protótipo se demonstra como uma alternativa eficaz, obtendo retorno financeiro e reduzindo o impacto ambiental, a viabilidade da geração de energia limpa e renovável aplicada nas atividades de amostragem de água subterrânea.

São necessários maiores testes para verificação e cálculo de vida útil do sistema, recorrência de manutenção, busca por painéis mais eficientes, sistema de armazenamento de maior capacidade e possibilidade de escalonamento para veículos de grande porte.

8. REFERÊNCIA BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14001 – Sistemas de Gestão Ambiental, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT PR 2060:2022 Especificação para a demonstração de neutralidade de carbono, 2022a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16210 - Modelo conceitual no gerenciamento de áreas contaminadas - procedimentos, 2022b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14064-1 – Gases de Efeito Estufa, 2023a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT PR 2030 – [Ambiental, social e governança \(ESG\) – Conceitos, diretrizes e modelo de avaliação e direcionamento para organizações](#) (Versão Corrigida), 2023b

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ISO Brochura 2:2023- Mitigação às mudanças climáticas, 2023c.

EUROPEAN STANDARDS. PAS 2060:2014 *Specification for the demonstration of carbon neutrality*, 2014.

FGVces. Centro de Estudos em Sustentabilidade. Disponível em: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd28GUG1Kc8wXj8JNRAFhMRh32r24Wome4RBuEdsnEb3OLB0Q/viewform> Acesso em: 23 dez 2023.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. Programa Brasileiro GHG *Protocol*. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol>. Acesso em: 01 nov. 2023

GREEN HOUSE GAS PROTOCOL. Disponível: <https://ghgprotocol.org/>. Acesso em 26 nov. 2023.

INMET. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/o-que-%C3%A9-e-quais-os-impactos-do-el-ni%C3%B1o-entenda-agora> Acesso em: 12 mar. 2024

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. O que são Mudanças Climáticas. Disponível em: <http://www.inpe.br/faq/index.php?pai=9> Acesso em: 04 mar. 2024

IPCC. WGI *Interactive Atlas*. Disponível em <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>. Acesso em 01 nov. 2023.

IPCC. *Working Group I The Physical Science Basis*. Disponível em <https://www.ipcc.ch/working-group/wg1/>. Acesso em: 01 de nov. 2023b.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. Disponível em: www.gov.br
Acessado em: 01 fev. 2024.

PACTO GLOBAL. Movimento Ambição Net Zero. Disponível em:
<https://www.pactoglobal.org.br/movimentos/movimento-ambicao/> Acesso em: 04 mar. 2024

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL. “FGV” Disponível em:
<https://eaesp.fgv.br/centros/centro-estudos-sustentabilidade/projetos/programa-brasileiro-ghg-protocol> Acesso em: 01 nov. 2023.

UNITED NATIONS. Climate Change, Synthesis Report, 2023.