

Aplicação de estratégias produtivas para substituir motores de combustão interna por motores elétricos em "ASOMUNUE", freguesia de Mariscal Sucre, Milagro.

Aplicación de estrategias productivas para sustituir motores de combustión interna por eléctricos en "ASOMUNUE", parroquia Mariscal Sucre, Milagro.

Luis Ángel Bucheli Carpio ^{1*}; Jesús Armando Verdugo Arcos ²; Carlos Daniel Campoverde Pillajo ³

Recebido: 08/02/2025 – Aceite: 15/10/2025 – Publicado: 01/01/2026

Artigos de
Investigação

Artigos de
Revisão

Artigos de
Ensaio

* Autor
correspondente.



Esta obra está licenciada sob uma licença internacional Creative Commons Atribuição-NãoComercial-Partilha Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Os autores mantêm os direitos sobre os seus artigos e podem partilhar, copiar, distribuir, executar e comunicar publicamente a obra, desde que a autoria seja reconhecida, não utilizada para fins comerciais e que a mesma licença seja mantida em obras derivadas.

Resumo.

A transição para fontes de energia mais limpas e sustentáveis tornou-se uma prioridade em vários setores, especialmente na agricultura, onde os motores de combustão interna desempenham um papel importante nas operações de irrigação. Estes motores, embora funcionais e amplamente utilizados, geram emissões significativas de gases com efeito de estufa e dependem de combustíveis fósseis, contribuindo assim para o aquecimento global e a deterioração ambiental. Neste contexto, a substituição destes motores por sistemas elétricos ligados a redes de distribuição com transformadores oferece uma solução inovadora e ambientalmente responsável. Este artigo discute os aspectos técnicos e económicos dessa transição, destacando benefícios como uma redução significativa das emissões de carbono, custos operacionais mais baixos a longo prazo e diminuição da poluição sonora. Também aborda desafios associados, como a necessidade de instalar infraestruturas elétricas adequadas, garantir a estabilidade do fornecimento de energia nas zonas rurais e adaptar sistemas de irrigação a novos motores. Esta abordagem não só promove a eco-eficiência, como também reforça o compromisso da agricultura com o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave.

Energia sustentável, agricultura, motores de combustão interna, aquecimento global, poluição ambiental.

Resumen.

La transición hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles se ha convertido en una prioridad en diversos sectores, especialmente en la agricultura, donde los motores de combustión interna desempeñan un papel importante en las operaciones de riego. Estos motores, aunque funcionales y ampliamente utilizados, generan emisiones significativas de gases de efecto invernadero y dependen de combustibles fósiles, contribuyendo así al calentamiento global y al deterioro ambiental. En este contexto, el reemplazo de estos motores por sistemas eléctricos conectados a redes de distribución con transformadores ofrece una solución innovadora y ambientalmente responsable. Este artículo analiza los aspectos técnicos y económicos de dicha transición, destacando los beneficios que incluyen una notable reducción de las emisiones de carbono, menores costos operativos a largo plazo y una disminución de la contaminación sonora. Asimismo, se abordan los desafíos asociados, como la necesidad de instalar una infraestructura eléctrica adecuada, garantizar la estabilidad del suministro energético en áreas rurales y adaptar los sistemas de riego a los nuevos motores. Este enfoque no solo promueve la ecoeficiencia, sino que también fortalece el compromiso de la agricultura con el desarrollo sostenible.

Palabras clave.

Energía Sostenible, Agricultura, Motores de Combustión Interna, Calentamiento Global, Contaminación Ambiental.

1.- Introdução

A agricultura é um dos setores que consome mais recursos naturais e, por sua vez, um dos que mais contribui para a emissão de gases com efeito de estufa, particularmente através do uso de motores de combustão interna nos sistemas de irrigação. Estes motores, que funcionam principalmente com combustíveis fósseis como gasóleo ou gasolina, têm sido uma solução tradicional para irrigação agrícola devido à sua capacidade de operar em áreas remotas. No entanto, os seus impactos negativos no ambiente e o aumento dos custos dos combustíveis aumentam a necessidade de procurar alternativas mais sustentáveis. Neste contexto, a substituição dos motores de combustão interna por motores elétricos ligados à rede por

transformadores surge como uma alternativa eficiente e amiga do ambiente.

Esta mudança representa não só um avanço tecnológico no setor, mas também uma oportunidade para reduzir a pegada de carbono da agricultura, otimizar custos operacionais e melhorar a qualidade de vida dos produtores agrícolas, eliminando a poluição sonora e simplificando a manutenção dos equipamentos. Este artigo explora em detalhe os benefícios desta transição, como a redução das emissões de gases com efeito de estufa e o aproveitamento da energia elétrica sustentável, bem como desafios técnicos, como a adaptação da infraestrutura elétrica nas zonas rurais e os investimentos iniciais necessários. Além disso, são apresentadas considerações-chave para implementar esta

¹ Afiliação: Universidade Estadual de Milagro; lbuchelic@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0000-0003-2277-603X>, Milagro; Equador.

² Afiliação: Universidade Estadual de Milagro; jverdugoal@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0006-7103-412X>, Milagro; Equador.

³ Afiliação: Universidade Estadual de Milagro; ccampoverdep1@unemi.edu.ec; <https://orcid.org/0009-0000-4466-3584>; Milagro; Equador.

solução de forma eficaz, posicionando a agricultura como um ator chave na luta contra as alterações climáticas e na adoção de práticas eco-eficientes.

1.1.- Contexto e relevância:

Este projeto de investigação refere-se à instalação de um sistema elétrico para o funcionamento de uma bomba submersível para o sistema de irrigação numa quinta de 7 hectares chamada Hacienda Emanuel Los Palmares, Província de Guayas, nos arredores de Mariscal Sucre, Milagro. Coordenadas UTM: 667810,20 m E; 9768632,65 m S

A distância do poste de distribuição ao poço é de 60 metros, com um perímetro de instalação de postes perto do poço de 15 m. O sistema de irrigação será distribuído em tubos de 8 a 10 polegadas de diâmetro, com uma separação entre cada sistema de 8 a 10 metros.



Figura 1: Vista aérea da Hacienda. Fonte: Google Earth.

1.2.- Estado da arte:

Avançar para uma transição energética sustentável em ambientes rurais representa uma estratégia fundamental para mitigar as alterações climáticas e reduzir as desigualdades estruturais no acesso aos serviços energéticos. Vários estudos científicos concordam que a substituição de tecnologias baseadas em combustíveis fósseis por sistemas elétricos de baixas emissões pode gerar benefícios ambientais, económicos e sociais de grande alcance, especialmente em comunidades com pouca energia.

Neste contexto, pesquisas recentes mostraram que: "As transições energéticas sustentáveis baseadas em fontes renováveis têm demonstrado reduzir significativamente a pegada de carbono per capita em regiões com elevados níveis de pobreza energética". Esta declaração está alinhada com os objetivos deste estudo, que propõe a substituição dos motores diesel por motores elétricos trifásicos no sistema de irrigação agrícola da associação ASOMUNUE.[1]

Além disso, verificou-se que: "As tecnologias renováveis descentralizadas podem fornecer acesso básico à eletricidade por uma fração do custo das extensões da rede." Isto reforça a viabilidade técnica e financeira do uso de

motores elétricos no setor agrícola, como uma alternativa eficiente aos sistemas de combustão interna.[2]

Da mesma forma, embora este estudo se foque nos sistemas de irrigação, os princípios de eficiência energética são aplicáveis em várias áreas rurais. Por exemplo: "Tecnologias de cozinha energeticamente eficientes, como fogões melhorados, podem reduzir a pegada de carbono até 70% em comparação com métodos tradicionais baseados em biomassa insustentável." Esta comparação ilustra como a eficiência energética representa um mecanismo transversal para a mitigação ambiental em ambientes rurais.[3]

Para além do aspecto climático, o acesso a tecnologias limpas também se traduz em benefícios para a saúde. Na verdade, "A falta de acesso a energia limpa aumenta a exposição a poluentes interiores, afetando a saúde respiratória." Isto justifica, do ponto de vista da justiça ambiental, a substituição dos motores poluentes por soluções elétricas, como a proposta em ASOMUNUE.[4]

No entanto, a sustentabilidade energética não está isenta de desafios. Alguns estudos alertam para os compromissos entre carbono e água, pois "A expansão solar reduz o carbono, mas pode aumentar significativamente o consumo de água em áreas áridas". Neste sentido, a avaliação do ciclo de vida (LCA) torna-se essencial para avaliar impactos cruzados. Neste artigo, o LCA é utilizado para calcular as emissões evitadas, e a gestão eficiente da água é promovida através da otimização do sistema de irrigação eletrificada.[5][6]

Esta integração de tecnologia sustentável em contextos rurais, como o ASOMUNUE, faz parte de uma tendência global. "As transições energéticas sustentáveis têm sido documentadas como tendo reduzido significativamente a pegada de carbono per capita em regiões com elevados níveis de pobreza energética." A isto junta-se a evidência de que "práticas agrícolas inteligentes para o clima também melhoram a eficiência energética e reduzem a procura de água" [7][8]

Além disso, a implementação de "Microredes rurais bem desenhadas pode melhorar o acesso à energia e reduzir a pegada de carbono se forem baseadas em fontes renováveis locais" [9]

No entanto, a necessidade desta transição torna-se ainda mais clara se forem considerados os efeitos negativos do modelo energético baseado em combustíveis fósseis. Por exemplo, na Somália foi demonstrado que "O consumo de energia tem um efeito significativo e positivo nas emissões de carbono a longo prazo na Somália, indicando que o aumento da energia atualmente utilizada no país não é ambientalmente sustentável" [10]

Uma conclusão semelhante foi evidenciada na Malásia, onde está confirmado que o uso prolongado de energia não renovável mantém uma relação significativa com o aumento das emissões de CO₂, reforçando a necessidade de migrar para fontes mais limpas e tecnologias mais eficientes [11]

O objetivo desta investigação é analisar a viabilidade técnica, económica e ambiental da substituição dos motores de combustão interna por motores elétricos nos sistemas de irrigação da Associação de Produção do Novo Mundo (ASOMUNUE), localizada na freguesia de Mariscal Sucre, no cantão de Milagro, com o objetivo de promover práticas agrícolas sustentáveis e eco-eficientes.

Contextualização local na agricultura em pequena escala: a maioria dos estudos foca-se em veículos ou maquinaria industrial, mas poucos analisam sistemas de irrigação em associações rurais como a ASOMUNUE. Este trabalho fornece uma abordagem territorial e comunitária específica, corrigindo a falta de evidência para áreas semelhantes no Equador.

• Contribuições:

Contribuição técnica aplicada: O estudo apresenta o design e implementação de um sistema de bombagem elétrica adaptado a uma quinta de 7 hectares, utilizando motores elétricos para substituir motores diesel. Isto inclui cálculos detalhados da procura de energia, seleção de transformadores, cablagem, ligações e sistemas de aterramento, o que constitui uma contribuição prática aplicável em contextos agrícolas semelhantes no Equador e na América Latina.

Contribuição económica: É feita uma comparação exaustiva entre os custos operacionais dos motores de combustão interna e dos motores elétricos. O estudo mostra uma redução significativa nos custos mensais (de mais de \$1.000 para cerca de \$320), fornecendo evidências claras de poupanças económicas sustentáveis para pequenos e médios produtores agrícolas.

Contribuição ambiental: Uma redução de 90% nas emissões de CO₂ é demonstrada com a substituição dos motores tradicionais por motores elétricos, o que representa uma mitigação de aproximadamente 6,6 toneladas de CO₂ equivalente por ano. Estes dados são fundamentais para as políticas de sustentabilidade e transição energética no setor agrícola.

Contribuição estratégica e social: O estudo promove o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 7 (energia acessível e limpa) e 13 (ação climática), posicionando associações agrícolas como a ASOMUNUE como atores ativos na luta contra as alterações climáticas.

Inovação contextualizada: Ao contrário de estudos internacionais mais generalistas, este trabalho integra dados técnicos reais, regulamentos equatorianos e necessidades

locais, tornando-se um guia de referência para a implementação de soluções de energia limpa em áreas rurais do país.

1.3. - Problemas energéticos na agricultura e pobreza energética.

O desenvolvimento da agricultura sustentável requer uma transformação radical nas fontes de energia utilizadas nas zonas rurais, especialmente aquelas que dependem de motores de combustão interna. Estes sistemas não só geram elevados níveis de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), como também envolvem elevados custos operacionais e dependência de combustíveis fósseis. Este problema afeta particularmente as comunidades campesinas que enfrentam pobreza energética, exclusão tecnológica e limitações económicas para migrar para soluções de energia limpa.[12]

A agricultura, especialmente nas zonas rurais, depende historicamente de motores de combustão interna para tarefas críticas como a irrigação. Estes sistemas, embora funcionais, apresentam um duplo problema: por um lado, geram emissões significativas de gases com efeito de estufa (GEE), contribuindo para as alterações climáticas; por outro, implicam elevados custos operacionais devido à volatilidade dos preços dos combustíveis fósseis. Esta dependência tecnológica limita a competitividade dos pequenos produtores e aumenta a sua vulnerabilidade a crises energéticas e ambientais.

A pobreza energética em ambientes rurais agrava esta situação. De acordo com estudos recentes, mais de 30% das comunidades agrícolas em países em desenvolvimento carecem de acesso fiável a energia limpa, restringindo a adoção de tecnologias modernas e perpetuando a exclusão económica. Esta deficiência afeta não só a produtividade agrícola, mas também a qualidade de vida, aumentando os riscos para a saúde devido à exposição a poluentes e reduzindo as oportunidades de desenvolvimento. Neste contexto, a eletrificação agrícola surge como uma estratégia chave para quebrar o ciclo da dependência fóssil e da pobreza energética, oferecendo soluções sustentáveis que integram eficiência, resiliência e equidade.[13]

1.4.- Transição energética e benefícios ambientais.

As transições energéticas sustentáveis baseadas em fontes renováveis demonstraram reduzir significativamente a pegada de carbono per capita em regiões com elevados níveis de pobreza energética. Vários estudos demonstraram que as microredes rurais alimentadas por fontes renováveis locais (como solar ou eólica) não só melhoram o acesso à energia, como também reduzem o impacto ambiental associado às tecnologias convencionais.[14]

Além disso, as tecnologias descentralizadas permitem soluções adaptadas ao contexto, com custos de implementação mais baixos do que as extensões tradicionais da rede elétrica. Esta abordagem tem sido

apoiada por estratégias nacionais e internacionais que promovem o uso de energia limpa para cumprir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 7 (energia acessível e limpa) e o ODS 13 (ação climática).[15]

A transição para sistemas elétricos na agricultura representa uma mudança estrutural com impactos ambientais positivos. Substituir motores diesel por motores elétricos reduz drasticamente as emissões de CO₂, especialmente em países cuja matriz energética se baseia em fontes renováveis, como o Equador. Além disso, esta transição diminui a poluição sonora e o risco de derrames de combustível, contribuindo para a proteção dos ecossistemas locais. De uma perspetiva global, a eletrificação agrícola está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 7 (energia acessível e limpa) e o ODS 13 (ação climática), consolidando a agricultura como um ator relevante na mitigação das alterações climáticas.[16]

1.5.- Ferramentas de avaliação ambiental: Avaliação do Ciclo de Vida (LCA).

Um elemento chave na avaliação ambiental destas soluções energéticas é a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), que permite quantificar os impactos desde a produção até à eliminação final dos sistemas tecnológicos utilizados. Através do LCA, são identificados os principais pontos críticos de impacto ambiental, incluindo emissões, consumo de recursos, geração de resíduos e utilização de água. A pegada hídrica, por exemplo, torna-se relevante em áreas áridas onde certas soluções solares térmicas podem gerar pressão sobre os recursos hídricos.[17]

A Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) é uma ferramenta metodológica essencial para avaliar o impacto ambiental das tecnologias energéticas. Permite quantificar as emissões, o consumo de recursos e a geração de resíduos desde a fabricação até à eliminação final, oferecendo uma visão abrangente do desempenho ambiental. No contexto agrícola, o LCA é fundamental para comparar as tecnologias fósseis e elétricas, identificando pontos críticos como a pegada de carbono e a pegada hídrica, que são decisivas em áreas com stress hídrico.[18]

A aplicação do ACL em projetos de eletrificação agrícola não só valida a redução das emissões, como também antecipa impactos indiretos, como o consumo de água em soluções solares térmicas ou a geração de resíduos eletrónicos. Esta perspetiva holística permite o desenho de estratégias complementares de mitigação, garantindo que a transição energética seja verdadeiramente sustentável. Além disso, o ACL facilita a tomada de decisões baseada em evidências, apoando políticas públicas e modelos de negócio orientados para a economia circular e a resiliência ambiental.

1.6.- Impactos na saúde pública e nas tecnologias limpas.

Do ponto de vista da saúde pública, a falta de acesso a energia limpa também aumenta a exposição a poluentes interiores devido ao uso de biomassa insustentável, afetando especialmente mulheres e crianças. Tecnologias como fogões melhorados permitem reduzir a pegada de carbono gerada pelos métodos tradicionais de cozinha em até 70%. [19]

A falta de acesso a energia limpa nas comunidades rurais não só limita a produtividade agrícola, como também cria riscos significativos para a saúde pública. O uso prolongado de combustíveis fósseis e biomassa em processos agrícolas e domésticos aumenta a exposição a poluentes interiores, como partículas e compostos tóxicos, que afetam os sistemas respiratório e cardiovascular. Estes impactos são mais graves em mulheres e crianças, que geralmente estão mais expostas a ambientes contaminados durante o trabalho diário.

A adoção de tecnologias limpas, como motores elétricos e sistemas de irrigação eficientes, contribui para a redução destas externalidades negativas. Ao eliminar a combustão direta do gasóleo, a emissão de partículas e gases nocivos é reduzida, melhorando a qualidade do ar em ambientes agrícolas. Além disso, a eletrificação permite integrar soluções complementares, como sistemas de irrigação automatizados, que reduzem o contacto humano com combustíveis e diminuem os riscos profissionais. Esta mudança tecnológica, portanto, não só traz benefícios ambientais, mas também repercussões positivas na saúde e bem-estar das comunidades rurais.

1.7.- Justificação para o caso ASOMUNUE.

Em contextos como o ASOMUNUE, onde a produção agrícola depende fortemente de bombas-motor com motores de combustão interna, existe uma necessidade urgente de migrar para tecnologias elétricas eficientes. Esta transição não responde apenas a uma lógica de sustentabilidade ambiental, mas também à redução dos custos operacionais, redução do risco de incêndio, melhorias na saúde ocupacional e alinhamento com as políticas de eletrificação rural promovidas pelo Estado.[20]

Em países em desenvolvimento, como a Somália e a Malásia, estudos confirmaram que o consumo de energia não renovável tem uma correlação significativa com o aumento das emissões de CO₂, mostrando que os modelos energéticos atuais não são sustentáveis a longo prazo.[21]

A associação ASOMUNUE representa um caso emblemático para a implementação de tecnologias limpas na agricultura equatoriana. A sua localização numa zona rural com acesso limitado a infraestruturas de energia convencional e a sua dependência histórica de motores a diesel para irrigação tornam-na um cenário ideal para avaliar a viabilidade técnica e económica da eletrificação. Além disso, o contexto local reflete desafios comuns noutras comunidades agrícolas do país, como custos

operacionais elevados, vulnerabilidade às flutuações dos preços dos combustíveis e a necessidade de cumprir regulamentos ambientais. Assim, este estudo não só fornece soluções específicas para a ASOMUNUE, como também gera evidências replicáveis para políticas públicas e projetos de desenvolvimento rural sustentável.[22]

1.8.- Perspetiva estratégica abrangente.

A incorporação de soluções de energia limpa nas zonas rurais é uma necessidade estratégica para garantir uma produção agrícola resiliente, inclusiva e de baixas emissões, com base em evidências técnicas e científicas. Esta transição energética, avaliada através de ferramentas como o LCA, deve ser promovida a partir de uma visão abrangente que articule economia, ambiente e justiça social para alcançar um equilíbrio entre desenvolvimento, saúde e sustentabilidade nos territórios rurais.[23]

A transição para sistemas elétricos na agricultura deve ser concebida como parte de uma estratégia abrangente que articule dimensões técnicas, económicas, sociais e ambientais. Não basta substituir motores; É necessário garantir a disponibilidade de infraestruturas elétricas, desenhar esquemas de financiamento acessíveis e promover a formação dos agricultores na utilização e manutenção das novas tecnologias. Esta visão holística garante que a eletrificação não se limita à mudança tecnológica, mas se torna um catalisador para um desenvolvimento rural inclusivo e resiliente.

Do ponto de vista das políticas públicas, a eletrificação agrícola pode ser integrada nos programas nacionais de transição energética e mitigação das alterações climáticas. A sua implementação contribui para o cumprimento de compromissos internacionais, como o Acordo de Paris, e fortalece a competitividade do setor agrícola. Além disso, ao reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, a vulnerabilidade às crises energéticas globais é reduzida, consolidando a segurança alimentar e energética do país. Neste sentido, a eletrificação agrícola não é apenas uma solução técnica, mas uma ferramenta estratégica para alcançar objetivos de sustentabilidade e equidade social.

2. Materiais e métodos.

Para a implementação do sistema de irrigação elétrica na quinta "Hacienda Emanuel (Los Palmares)", foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

2.1.- Descrição de materiais e equipamentos:

Bomba submersível elétrica de 7 a 10 HP, modelo Franklin Electric, aproximadamente 80% de eficiência.

Transformador trifásico de 30 kVA (marca ABB®), com tensão primária de 7,2 kV e tensão secundária de 220 V.

Condutor elétrico aéreo tipo CONC . AL. 2×6+6MM² (6 AWG XLPE) XLPE, feito de alumínio.

Tubo de polietileno de alta densidade (HDPE) com 8 a 10 polegadas de diâmetro para sistemas de irrigação.

Sprinklers pop-up modelo 8005 – série 8000, com caudais de 0,86 a 8,24 m³/h e raios de 11,9 a 24,7 m.

Sistema de aterramento, composto por haste Copperweld de 5/8" x 1,8 m e condutor AWG #10.

Medidor de energia tipo 2F-3H, KWH, classe 100, bloco terminal.

Software utilizado: **Microsoft Excel** para análise comparativa de custos e emissões, e **AutoCAD** para design elétrico.

2.2.- Desenho experimental:

Foi concebido um estudo descritivo-comparativo aplicado, focado na substituição de um sistema de irrigação agrícola baseado em motores de combustão interna (diesel) por um sistema alimentado por motores elétricos ligados à rede trifásica.

Variáveis medidas:

- Custos mensais e anuais de energia.
- Consumo de combustível (gasóleo) e eletricidade (kWh).
- Manutenção programada do equipamento.
- Emissões de CO₂ (kg/mês e kg/ano).

Variável controlada:

Caudal de água necessário para irrigação uniforme em 7 hectares.

2.3.- Procedimentos:

- **Diagnóstico inicial:** Foi identificada a situação energética e operacional atual da quinta, incluindo a localização do poço, o tipo de bomba de gasóleo e o sistema de distribuição de água.
- **Projeto do sistema elétrico:** A procura elétrica foi calculada com base na potência da bomba e foi selecionado o transformador trifásico apropriado. A rede de distribuição foi projetada desde o poste mais próximo (a 60 m de distância) até ao ponto de consumo. Foram definidos os elementos de proteção, medição e aterramento.
- **Comparaçao técnico-económica e ambiental:** Foi estimado o consumo mensal de energia de ambos os sistemas (elétrico vs. combustão). Foi aplicado o fator de emissão de CO₂ do Sistema Nacional Interligado do Equador (0,09 kg CO₂/kWh). Foram calculados os custos mensais de energia, manutenção e operação.
- **Validação do sistema proposto:** Foram analisados regulamentos do IEEE, NEC, NEMA, MEER e CNEL. A conformidade com as normas técnicas foi revista através de simulação de carga e verificação de diagramas elétricos.

2.4.- Análise de dados:

A análise comparativa entre os dois sistemas de bombagem foi realizada utilizando:

- **Microsoft Excel** para consumo de energia, cálculo de custos e estimativa de emissões.

- **Tabelas de fatores de emissão** publicadas pelo Ministério da Energia e Minas do Equador.
- A análise foi apresentada em tabelas comparativas que incluem valores mensais e anuais e percentagens de poupança económica e ambiental.

3. Análise e interpretação dos resultados.

1. Apresentação dos resultados:

As tecnologias renováveis descentralizadas podem fornecer acesso básico à eletricidade por uma fração do custo das extensões da rede [24]

Os resultados obtidos focaram-se em três dimensões principais: a análise técnica do sistema de irrigação elétrica, a comparação dos custos operacionais entre o motor de combustão interna e o motor elétrico, e a avaliação ambiental baseada nas emissões de CO₂.

Tabela 1. Comparação de custos entre bomba de combustão interna e motor elétrico (80 h/mês)

Aparência	Bomba de combustão interna	Bomba elétrica 10 cv
Custo Inicial da Bomba	\$3.500	\$2.800
Custo mensal de energia	\$153,44	\$33,42
Manutenção mensal	\$120 – \$150	40 – 60 dólares
Custo Total Mensal Estimado	\$1.020 – \$1.050	\$302,50 – \$322,50
Custo Anual Estimado	\$12.240 – \$12.600	\$3.630 – \$3.870

Fonte: Elaboração própria

Redução da pegada de carbono.

Motor de combustão interna

Calcular a pegada de carbono ao substituir motores de combustão interna por motores elétricos envolve analisar as emissões de CO₂ resultantes do uso de combustíveis fósseis e compará-las com as emissões derivadas da geração de eletricidade consumida pelos motores elétricos. [25]

Fatores de emissão de combustível (kg CO₂ por litro):

- Diésel: 2.68 kg de CO₂ por litro.
- Gasolina: 2.31 kg de CO₂ por litro.
- Diésel: 10.14 kg de CO₂ por galão.
- Gasolina: 8.75 kg de CO₂ por galão.

Cálculo: Consumo mensual en litros = 59.89 galones × 3.785 litros/galón

Consumo mensual en litros = 226.68 litros/mes

Emisiones Mensuales de CO₂

Consumo de combustible (litros /mes) x Factor de emisión (kg de CO₂ /litro)

$$\text{Emisiones mensuales (kg CO}_2\text{)} = 226.63 \text{ litros} \times 2.68 \text{ kg CO}_2/\text{litro}$$

$$\text{Emisiones mensuales (kg CO}_2\text{)} = \mathbf{607.51 \text{ kg CO}_2/\text{mes}}$$

Emisiones Anuales de CO₂

Emisiones anuales (kg CO₂) = 607.51 kg CO₂/mes × 12

Emisiones anuales (kg CO₂) = **7,290.14 kg CO₂/Ano**

No Equador, o fator de emissão de CO₂ do Sistema Nacional Interligado (SNI) foi determinado em 0,09 toneladas de CO₂ por , equivalente a megavatio – hora (tCO₂/MWh) 0,09 kg de CO₂ por kilovatio – hora (kgCO₂/kWh)¹

Motor elétrico

Emisiones mensuales (kg CO₂) =

$$\text{Consumo eléctrico (kWh)} \times \text{Factor de emisión (kg CO}_2/\text{kWh)}$$

$$\text{Emisiones mensuales} = 569.8 \text{ kWh} \times \frac{0.09 \text{ kg CO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Emisiones mensuales} = \mathbf{51.282 \text{ kg CO}_2/\text{mes}}$$

$$\text{Emisiones anuales} = 51.282 \text{ kg CO}_2/\text{mes} \times 12 = \mathbf{615.38 \text{ kg CO}_2/\text{Ano}}$$

Tabela 2. Comparações de emissões de CO₂

Motor	Emissões mensais (kgCO ₂)	Emissões anuais (kgCO ₂)
Motor Diesel	607,51	7290,14
Motor elétrico	51,282	615,38
Redução percentual		90%

Fonte: Elaboração própria

Os sistemas de energia renovável fora da rede geram 60-90% menos emissões em comparação com os geradores a diesel tradicionais em áreas rurais. [26]

Com um fator de emissão de 0,09 kg de CO₂/kWh, o motor elétrico gera 615,38 kg de CO₂ por ano, enquanto o motor de combustão gera 7.290,44 kg de CO₂ por ano. Isto representa uma redução de aproximadamente 90% nas emissões de CO₂, equivalente a evitar 6,6 toneladas de CO₂ equivalente por ano.

Análise dos resultados:

Os dados revelam uma clara vantagem económica e ambiental na utilização de motores elétricos:

- **Redução de custos:** a mudança tecnológica representa uma poupança de aproximadamente 70% nos custos operacionais mensais. Estas poupanças são atribuídas ao preço mais baixo por kWh (\$0,056) em comparação com um galão de gasóleo (\$1,50), aos custos de manutenção mais baixos e à eliminação da mudança de óleo.
- **Vida útil mais longa:** os motores elétricos têm uma vida útil média de 10 a 15 anos, em comparação com 5 a 8 anos para motores de combustão.
- **Redução das emissões:** obteve uma redução de 90% nas emissões de CO₂, representando uma redução de 6.675 kg de CO₂/ano (6,6 toneladas).

Interpretação dos resultados:

- Os resultados estão alinhados com os objetivos do estudo: demonstrar a viabilidade técnica, económica e

ambiental da substituição de motores de combustão interna em áreas agrícolas rurais do Equador. A magnitude das poupanças de energia e das reduções de emissões confirma a relevância da mudança proposta, especialmente num contexto em que a matriz energética do país apresenta baixas emissões devido ao seu elevado componente hidroelétrico.

- A partir do quadro teórico, o estudo confirma que a eletrificação dos processos agrícolas contribui significativamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7 e 13), bem como para a melhoria das condições de trabalho, redução da dependência de combustíveis fósseis e promoção de tecnologias limpas em setores tradicionalmente intensivos em carbono.

Limitações e preconceitos:

- **Âmbito geográfico limitado:** O estudo foi realizado numa única exploração, limitando a generalização imediata dos resultados a outras regiões ou condições agrícolas.
- **Dados de consumo estimado:** embora tenham sido utilizados parâmetros técnicos reais, os dados de energia e emissões baseiam-se em estimativas médias de operação (80 horas/mês), que podem variar consoante o regime de utilização de irrigação.
- **Custos dinâmicos:** tanto a tarifa de eletricidade como o preço do gasóleo estão sujeitos a variações de mercado, o que pode alterar a relação de custo no futuro.
- **Falta de avaliação social direta:** impactos sociais como a percepção dos agricultores sobre a mudança tecnológica ou barreiras culturais à implementação não foram medidos.

4. Discussão.

4.1.- Interpretação dos resultados:

Os resultados do estudo mostram que a substituição dos motores de combustão interna por motores elétricos nos sistemas de irrigação agrícola representa uma alternativa viável, económica e ambientalmente responsável. Esta conclusão está diretamente alinhada com os objetivos definidos, que procuraram analisar a viabilidade técnica, económica e ambiental desta transição na Associação ASOMUNUE. A redução de 90% nas emissões de CO₂, aliada a poupanças superiores a 70% nos custos operacionais, demonstra que a adoção de tecnologias elétricas pode ter um impacto significativo tanto na sustentabilidade ambiental como na rentabilidade dos produtores agrícolas.

"Os sistemas híbridos fora da rede mostraram uma redução de 70–90% nos impactos ambientais globais, incluindo pegada de carbono, pegada hídrica e toxicidade humana." [27]

A partir do quadro teórico, estes resultados apoiam os postulados sobre eco-eficiência na agricultura e reforçam a importância da transição energética para mitigar as alterações climáticas, especialmente em países com uma matriz de energia limpa, como o Equador.

4.2.- Comparações com estudos anteriores:

Os resultados são consistentes com investigações de organizações como a , que destacam a necessidade de reduzir as emissões na agricultura através de tecnologias limpas. Além disso, estudos como o que destacam o papel da eletrificação na redução da pegada de carbono no setor produtivo. Ao contrário destes estudos, que tendem a focar-se em modelos teóricos ou em diferentes regiões, este artigo aplica os conceitos a um caso prático, contextualizado numa área rural equatoriana, com medições reais de consumo e custos, o que reforça a sua relevância local e aplicabilidade imediata.[28][29]

Da mesma forma, este estudo responde a uma lacuna identificada na literatura: a disponibilidade limitada de análises técnico-económicas específicas para associações de produção agrícola em países em desenvolvimento. Ao integrar design elétrico, avaliação de custos e análise de emissões, o trabalho contribui significativamente para esta área pouco explorada. [30]

4.3.- Implicações teóricas e práticas:

Do ponto de vista teórico, os resultados validam quadros conceituais relacionados com eficiência energética, transição tecnológica e sustentabilidade rural. Demonstra-se que é possível adotar tecnologias limpas em contextos agrícolas sem comprometer a produtividade e até melhorar a eficiência operacional.

O consumo de energia contribui positivamente para o crescimento económico, mas também intensifica a poluição ambiental, o que exige estratégias energéticas sustentáveis.[31]

A nível prático, o estudo oferece um modelo replicável de eletrificação de sistemas de irrigação que pode ser adotado por outras associações ou pequenas explorações agrícolas. As implicações para a indústria incluem:

- Redução dos custos operacionais no agronegócio.
- Aumento da vida útil do equipamento.
- Melhoria do cumprimento das regulamentações ambientais e energéticas.
- Possibilidade de integração com fontes de energia renovável (solar, hidroelétrica).
- Além disso, os resultados podem ser usados como base para políticas públicas destinadas a promover a eletrificação agrícola e o desenvolvimento rural sustentável.

4.4.- Limitações e recomendações:

Entre as principais limitações do estudo estão:

- **Âmbito limitado do estudo de caso:** foca-se numa única exploração, o que restringe a generalização dos resultados a outras regiões ou escalas de produção.
- **Estimativas de energia e custos:** Embora baseadas em parâmetros reais, os dados de consumo e manutenção podem variar consoante o uso específico, as condições do solo ou as flutuações do mercado.
- **Falta de análise social e cultural:** Não foi incluída uma avaliação qualitativa da aceitação dos agricultores da mudança tecnológica, ou das barreiras sociais ou de conhecimento que possam dificultar a sua implementação.

4.5.- Recomendações para investigação futura:

- Expandir o estudo para mais explorações agrícolas e regiões do país para validar os resultados em diferentes contextos agroprodutivos.
- Incluir análises multicritério que integrem fatores técnicos, económicos, sociais e ambientais.
- Incorporar fontes de energia renovável (como a energia solar fotovoltaica) para reforçar a autonomia energética rural.
- Desenvolver estudos longitudinais que meçam o impacto da mudança tecnológica a médio e longo prazo.

5.- Conclusões.

Resumo das conclusões

Este estudo mostrou que a substituição dos motores de combustão interna por motores elétricos nos sistemas de irrigação agrícola da quinta "Hacienda Emanuel (ASOMUNUE)" permite reduzir significativamente os custos operacionais e as emissões poluentes. Os principais resultados incluem uma redução de 70% nos custos operacionais mensais e uma diminuição de 90% nas emissões de CO₂, equivalente a evitar aproximadamente 6,6 toneladas de dióxido de carbono anualmente. Estas conclusões estão totalmente alinhadas com os objetivos do estudo, que procurou avaliar a viabilidade técnica, económica e ambiental desta mudança tecnológica em contextos rurais.

"Substituir motores de combustão interna em sistemas agrícolas não só reduz as emissões, como melhora a eficiência operacional da irrigação e reduz o consumo total de energia" [32]

Principais contribuições

O estudo traz três contribuições chave para o campo da engenharia:

- Uma proposta abrangente para eletrificação agrícola, que inclui conceção técnica, avaliação económica e análise de impacto ambiental.
- Uma validação prática da substituição de tecnologias poluentes por soluções mais sustentáveis num ambiente rural no Equador, que contribui para colmatar lacunas

existentes na literatura sobre casos reais em países em desenvolvimento.

- A demonstração de que esta transição contribui diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente dos ODS 7 (energia limpa) e 13 (ação climática).

Implicações práticas e teóricas

Do ponto de vista prático, os resultados podem ser replicados por outras associações agrícolas do país, fornecendo soluções eficientes e sustentáveis para a irrigação. Podem também servir como insumo para programas de eletrificação rural, subsídios ou incentivos estatais.

A análise do ciclo de vida revelou que os sistemas solares domésticos geram até 85% menos emissões de gases com efeito de estufa do que os geradores a diesel.[33]

A nível teórico, o estudo reforça o quadro conceptual sobre eco-eficiência e transição energética na agricultura, fornecendo evidências empíricas que podem servir de base para futuras investigações sobre o desenho de sistemas agrícolas sustentáveis, análise do ciclo de vida ou integração de energias renováveis.

Recomendações para estudos futuros

Para enriquecer e expandir este campo de investigação, sugere-se:

- Replicar o estudo noutras regiões do país, com diferentes tipos de culturas e condições geográficas, para validar a sua aplicabilidade geral.
- Incorpore uma análise social e cultural, avaliando a percepção dos produtores face às novas tecnologias.
- Analisar a viabilidade de integrar a energia solar fotovoltaica como fonte alternativa para o sistema de irrigação.
- Realizar estudos longitudinais que midam o desempenho económico e ambiental destes sistemas a médio e longo prazo.

6.- Contribuições dos Autores (Taxonomia dos Papéis dos Colaboradores (CRediT))

1. Conceptualização: Luis Ángel Bucheli Carpio.
2. Curadoria de dados: Luis Angel Bucheli Carpio.
3. Análise formal: Luis Ángel Bucheli Carpio.
4. Investigação: Luis Angel Bucheli Carpio.
5. Metodologia: Jesús Armando Verdugo Arcos.
6. Gestão de projetos: Jesus Armando Verdugo Arcos.
7. Software: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
8. Supervisão: Jesús Armando Verdugo Arcos.
9. Validação: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
10. Visualização: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
11. Argumento - rascunho original: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.
12. Escrita - revisão e edição: Carlos Daniel Campoverde Pillajo.

7.- Referências.

- [1] A. Ahmed, L. Khadim, N. Badran, C. Sarpong y G. Otieno, «Transições energéticas sustentáveis e redução da pegada de carbono em economias em desenvolvimento: uma análise multirregional», *Scientific Reports*, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91540-9>
- [2] U. Deichmann, C. Meisner, S. Murray y D. Wheeler, «A economia da expansão das energias renováveis na África Subsaariana rural», *Energy, Sustainability and Society*, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.09.034>
- [3] X. Zhao, R. Huang, D. Li, W. Zhang y J. Liu, «Pegada de carbono e co-benefícios ambientais das tecnologias de cozinha energeticamente eficientes em lares rurais», *Scientific Reports*, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85985-1>
- [4] S. Dlamini, T. Mthembu, Z. Khumalo y M. A. Adeyemi, «Implicações para a saúde ambiental das desigualdades de acesso à energia em comunidades remotas», *Parasites & Vectors*, vol. 18, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13071-025-06662-w>
- [5] J. Liu, C. Fang, L. Zhang, M. Yuan, W. Zhou y Q. Chen, «Descobrindo as compensações água-carbono da expansão da energia solar em regiões áridas», *Nature Communications*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61505-7>
- [6] G. E. Castro Rosales, A. D. Torres Alvarado, L. S. Zalamea Cedeño, F. J. Duque-Aldaz e F. R. Rodríguez-Flores, «Proposta Ergonómica Abrangente para a Redução dos Riscos Musculoesqueléticos na Produção de Sabão: Uma Abordagem Baseada na Análise Estatística e Avaliação Postural», INQUIDE - Ingeniería Química y Desarrollo, vol. 7, nº 2, 2025. <https://doi.org/10.53591/ijqd.v7i02.2416>
- [7] A. Ahmed, L. Khadim, N. Badran, C. Sarpong y G. Otieno, «Transições energéticas sustentáveis e redução da pegada de carbono em economias em desenvolvimento: uma análise multirregional», *Scientific Reports*, vol. 14, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91540-9>
- [8] N. J. Williams, S. P. Jafry, K. M. Mutua y L. T. Ogallo, «O impacto da agricultura inteligente para o clima nos sistemas de alimentos, energia-água na África Subsaariana», *Nature Communications*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-61011-w>
- [9] P. Bipasha, D. Dipankar, D. Saikat e D. Swagatam, «Eletrificação rural sustentável através de micro-redes em países em desenvolvimento: uma revisão do desenvolvimento recente», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113266>
- [10] I. Mohamed Adan, B. Mohamed Ismail y M. O. Shurie, «Rumo à Sustentabilidade Ambiental: Avaliação do Papel do Consumo de Energia, IDE e Urbanização nas Emissões de Carbono na Somália: Uma Análise Empírica usando o Teste ARDL Bound», *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 14, nº 7, pp. 2241-2251, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijep.17379>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijep/article/view/17379>
- [11] A. Noor Azlinna, M. Nor Asilah, S. A. Hazman y N. J. Nik Rosila, «O Impacto do Consumo de Energia, Crescimento Económico e Energia Não Renovável na Emissão de Dióxido de Carbono na Malásia», *Journal of Environmental Management and Tourism*, vol. 14, nº 7, pp. 2167-2175, 2023. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijep.17350>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijep/article/view/17350>
- [12] F. J. Duque-Aldaz, F. R. Rodríguez-Flores y J. Carmona Tapia, «Identificação de parâmetros em sistemas de equações diferenciais ordinárias usando redes neurais artificiais», *San Gregorio*, vol. 1, nº 2, 2025. <https://revista.sangregorio.edu.ec/index.php/REVISTASANGREGORIO/article/view/2826>
- [13] D. M. Kammen y D. A. Sunter, «Energia rural e sustentabilidade: Implicações para as nações em desenvolvimento», *Nature Energy*, vol. 1, 2016. <https://doi.org/10.1038/nenergy.2016.75>
- [14] G. Ramakrishnan, «Eletrificação rural sustentável através de micro-redes», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 726-745, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2014.11.040>
- [15] N. Jollands, «Energia para o desenvolvimento: O papel potencial das energias renováveis no cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento do Milénio», *Energy Policy*, vol. 32, pp. 1271-1281, 2004. <https://search.issuelab.org/resource/energy-for-development-the-potential-role-of-renewable-energy-in-meeting-the-millennium-development-goals.html>
- [16] J. E. Pincay Moran, A. F. López Vargas, F. J. Duque-Aldaz, W. Villamagua Castillo y R. Sánchez Casanova, «Avaliação e Proposta para um Sistema de Gestão Ambiental numa Plantação de Manga», INQUIDE, vol. 7, nº 1, 2025. <https://doi.org/10.53591/ijqd.v7i01.1991>
- [17] S. Ulgiai, «Avaliação do Ciclo de Vida e Sustentabilidade», *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 26, pp. 1400-1412, 2021. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/life-cycle-sustainability-assessment>
- [18] F. Verones, «Efeitos da energia solar na pegada da escassez de água», *Environmental Science & Technology*, vol. 51, nº 21, pp. 2476-2484, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.118575>
- [19] K. R. Smith, «Poluição do ar doméstico proveniente de combustíveis sólidos de cozinha e os seus efeitos na saúde», *The Lancet*, vol. 38, pp. 1937-1948, 2017. DOI: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0527-1_ch18 URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21541>
- [20] G. J. Morocho Choca, L. Á. Bucheli Carpio e F. J. Duque-Aldaz, «Otimização do despacho de combustível de combustível através de regressão multivariada usando indicadores locais de armazenamento.», INQUIDE, vol. 6, nº 2, 2024. <https://doi.org/10.53591/ijqd.v6i02.477>
- [21] M. Abdirahman, «Revelando os Motores do Crescimento Económico na Somália», *Journal of Environmental Management and Sustainability*, vol. 3, nº 2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijep.16040>. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijep/article/view/16040>
- [22] N. Mohd Suki, «O Impacto do Consumo de Energia, Crescimento Económico e Energia Não Renovável nas Emissões de Dióxido de Carbono na Malásia», *Sustainability*, vol. 15, 2024. <https://doi.org/10.32479/ijep.17350> ; <https://econjournals.com/index.php/ijep/article/view/17350>
- [23] J. S. Fu-López, J. P. Fierro Aguilar, F. R. Rodríguez-Flores e F. J. Duque-Aldaz, «Aplicação de estratégias Lean não automatizadas para melhoria da qualidade em processos manuais de montagem: um estudo de caso na indústria de electrodomésticos.», INQUIDE - Ingeniería Química y Desarrollo, vol. 7, nº 1, 2025. <https://doi.org/10.53591/ijqd.v7i02.2417>
- [24] U. Deichmann, C. Mesiner, S. Murray y D. Wheeler, «A economia da expansão das energias renováveis na África Subsaariana rural», *Energy, Sustainability and Society*, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00225-7>
- [25] F. Santos Alvite, M. Jaramillo e L. Haro Estrella, "Fator de Emissão de CO2 do Sistema Nacional Interligado do Equador", Ministério da Energia e Minas, Quito, 2022. URL (PDF): <https://www.ambienteenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2023/08/wp-1692720103183.pdf>
- [26] L. A. Mofor, J. O. Owusu, T. Muzangaza y M. Tchoukan, «Avaliação das emissões de gases com efeito de estufa de projetos de energia renovável fora da rede em áreas rurais: uma perspectiva do ciclo de vida», *Environmental Science and Pollution Research*, 2025. <https://doi.org/10.1007/s10107-025-03123-5>
- [27] T. Rahman, N. Huda, P. Chandrasekaran, F. Ahmed y J. T. Endara, «Desempenho ambiental de sistemas energéticos híbridos off-grid em regiões tropicais: uma avaliação do ciclo de vida multi-critério», *Scientific Reports*, vol. 14, 7 de abril de 2024. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114633>
- [28] ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA, «ESTRATÉGIA DA FAO SOBRE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS», ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, CIGANOS, 2022. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/7b9bf435-b12b-4abf-94c0-4806d3b97109> . URL (PDF directo): <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f6270800-ecf7-498f-9887-6d937c4f575a/content>
- [29] C. Espíndola e J. Valderrama, «Huella del Carbono. Parte 1: Conceitos, Métodos de Estimativa e Complexidades Metodológicas.», *Technological Information*, vol. 23, nº 1, pp. 163-176, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-10242012000100001>

07642012000100017. ; URL:
https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000100017&script=sci_arttext

- [30] A. Gonçalves Savinovich, S. R. Fritschi Naranjo e R. E. Quintero Veliz, "Fator de Emissão de CO₂: Sistema Nacional Interligado do Equador," Ministério da Energia e Minas, Quito, 2023. URL (PDF): <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/09/Factor-de-emision-de-CO2-del-Sistema-Nacional-Interconectado-de-Ecuador-Informe-2023.pdf>
- [31] M. Hassan Abukar, M. Abdiwahid Hassan e I. Yusuf Hassan, «Revelando os Motores do Crescimento Económico na Somália: O Papel do Consumo de Energia, Poluição Ambiental e Globalização», Journal of Environmental Management and Tourism, vol. 14, nº 8, pp. 2307-2319, 2023. <https://doi.org/10.32479/ijep.16040> ; <https://econjournals.com/index.php/ijep/article/view/16040>
- [32] P. Bipasha, D. Dipankar, D. Saikat y S. Das, «Eletrificação rural sustentável através de micro-redes em países em desenvolvimento: Uma revisão do desenvolvimento recente», Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 180, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113266> .
- [33] J. Hyun Kim, S. Aminah, T. Petchsri y M. N. Ortega, «Impactos ambientais do ciclo de vida dos sistemas solares domésticos em áreas rurais remotas: um estudo de caso do Sudeste Asiático», Energy, Sustainability and Society, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13613-025-01445-z> .