Padrões de adopção de sistemas solares domésticos na zona rural de Moçambique: evidência do distrito da Manhiça

Alberto Daniel[1*], Rogério José Uthui[2] e Geraldo Nhumaio[2]

[1]Departamento de Ciências Básicas, Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Prol. Av. Kim Il Sung, Edf. D1, Maputo, Moçambique

[2]Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Av. Julius Nyerere, Campus Principal, Maputo, Moçambique

*e-mail do autor correspondente: *adaniel.isutc@gmail.com*

***Resumo* – Moçambique reúne condições excepcionais para a energia solar descentralizada, com irradiação abundante, organismos públicos activos e operadores certificados em crescimento, mas a adopção de sistemas solares domésticos (SHS) nas zonas rurais permanece muito abaixo do potencial. Este estudo procura compreender porque é que condições aparentemente favoráveis não se traduzem em resultados de mercado proporcionais. Com base numa amostra de 382 agregados familiares do distrito da Manhiça, equitativamente distribuídos entre adoptantes e não adoptantes, combinaram-se análise bivariada, Análise Factorial Exploratória e regressão logística binária. Os resultados mostram que a adopção não decorre de um único factor, mas da conjugação de condições que só ganham visibilidade em simultâneo. O rendimento e a proximidade ao mercado são os determinantes de maior magnitude, com agregados de rendimento superior a 20.001 MT a apresentarem mais de 5,6 vezes mais chances de adopção e o conhecimento de um fornecedor local a quase triplicar as chances. A percepção positiva do SHS explica 28% da variância total, revelando que o problema central não é a falta de valorização da tecnologia, mas barreiras financeiras e de mercado que impedem a concretização de uma intenção de adopção já existente. A escolaridade produz um efeito paradoxal, com os agregados chefiados por analfabetos a registarem maior probabilidade de adopção do que todos os grupos com escolaridade formal, por necessidade e não por escolha. Esta evidência pode apoiar os decisores políticos e os operadores de mercado na formulação de estratégias de incentivo à adopção, nomeadamente ao nível do financiamento adaptado aos ciclos agrícolas, da expansão de agentes locais e do reforço regulatório.**

***Palavras-chave* -** *Sistemas Solares Domésticos; Adopção de Tecnologia; Electrificação Rural; Regressão Logística; Moçambique.*

I. INTRODUÇÃO

O acesso à energia é hoje reconhecido como uma condição estrutural do desenvolvimento humano, e não apenas como um indicador de progresso técnico (ESMAP e IEA, 2023). É neste enquadramento que o Objectivo de Desenvolvimento Sustentável 7 adquire a sua plena dimensão política e social (United Nations, 2015). Moçambique situa-se entre os países onde esta realidade se apresenta com maior acuidade: apenas cerca de 36% da população tinha acesso à electricidade em 2023, proporção que cai para valores muito inferiores a 10% nas zonas rurais (World Bank, 2023a, b). É neste contexto que os sistemas solares domésticos (Solar Home Systems, SHS) emergem como alternativa estratégica e tecnicamente madura, beneficiando da queda contínua dos custos dos módulos fotovoltaicos (IEA, 2025). Contudo, um paradoxo persiste: um país com irradiação solar entre as mais elevadas da África Austral, com organismos públicos a promover activamente a tecnologia e operadores certificados em operação, regista uma penetração de mercado que não corresponde ao potencial identificado. Compreender este paradoxo, e não apenas descrevê-lo, é o problema central que motiva esta investigação.

Moçambique dispõe de um potencial solar estimado em 23.000 GW, com radiação que varia entre 4,5 e 6,0 kWh/m²/dia ao longo do território (IRENA, 2023). O mercado formal de SHS tem registado crescimento sustentado: em 2022, cinco empresas certificadas – SolarWorks!, ENGIE Energy Access, Ignite, Epsilon e Digitech – haviam comercializado, em conjunto, mais de 187.000 sistemas nas onze províncias do país (GOGLA, 2022). O Programa BRILHO, financiado pelos governos do Reino Unido e da Suécia, beneficiou mais de 3 milhões de moçambicanos com soluções energéticas off-grid desde 2019.

Apesar deste crescimento, a evidência empírica específica sobre o comportamento dos consumidores moçambicanos revela um padrão paradoxal e persistente. USAID (2020) documentaram que, embora 68% dos agregados familiares demonstrem conhecimento dos produtos SHS, apenas 30% manifestam preferência pela tecnologia face à rede convencional, e apenas 37% declaram intenção de compra a curto prazo, um fosso entre conhecimento e adopção efectiva que constitui precisamente o problema central desta investigação. Quanto à capacidade de pagamento, a avaliação de mercado conduzida por Economic Consulting Associates e Greenlight (2018) para a Província de Maputo indicou que 86% dos agregados têm capacidade teórica de pagamento

para um sistema pico-solar básico em regime PAYGO, mas Uamusse et al. (2019), em trabalho de campo na Província de Manica, documentaram que a disposição declarada para pagar coexiste com uma acentuada relutância em especificar montantes concretos, reflexo, segundo os autores, da ausência de folga orçamental típica das economias rurais de subsistência, e não de desinteresse pela tecnologia. Ogeya et al. (2025), com base em entrevistas a 33 actores-chave do sector energético nacional, sistematizaram ainda quatro categorias de barreiras específicas do contexto moçambicano: coordenação institucional deficiente entre o MIREME, a ARENE, a EDM e o FUNAE; desconfiança comunitária alimentada pela circulação de produtos de qualidade inferior no mercado informal; constrangimentos de financiamento; e custos de última milha associados à dispersão geográfica das comunidades rurais. Um único estudo de viabilidade técnica, conduzido no distrito de Mapai, Província de Gaza, avaliou a electrificação solar descentralizada em contexto moçambicano (Punguane et al., 2026). Contudo, nenhum estudo até à data combinou análise factorial das percepções e barreiras com modelação estatística da probabilidade de adopção em contexto rural moçambicano, lacuna que a presente investigação procura colmatar.

O quadro teórico que orienta esta investigação é a Teoria da Difusão de Inovações de Rogers (2003), que explica a adopção como um processo social influenciado por cinco atributos percebidos da inovação: vantagem relativa (o grau em que a inovação é percebida como superior à alternativa que substitui), compatibilidade (a consistência com valores, experiências e necessidades dos potenciais adoptantes), complexidade (a dificuldade percebida de compreensão e uso), experimentabilidade (a possibilidade de testar a inovação de forma limitada antes da adopção definitiva) e observabilidade (a visibilidade dos resultados da adopção para terceiros). O mesmo quadro teórico descreve o processo de decisão como sequencial, composto por conhecimento, persuasão, decisão, implementação e confirmação, e classifica os potenciais adoptantes em cinco categorias segundo a sua propensão a adoptar precocemente: inovadores, adoptantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatários. Esta categorização fundamenta a lógica de segmentação de mercado que sustenta as recomendações de política formuladas na Secção 5. O quadro estrutura, no seu conjunto, tanto a interpretação dos factores latentes identificados na análise factorial como a discussão comparativa com a evidência internacional apresentada na Secção 4.

Para colmatar a lacuna identificada, este estudo combina análise factorial das percepções e barreiras com regressão logística dos determinantes socioeconómicos, aplicada a uma amostra representativa de agregados familiares do distrito da Manhiça, Província de Maputo, com o objectivo de analisar os factores que determinam a adopção ou a resistência à adopção de sistemas solares domésticos nesta região. O resto do artigo organiza-se da seguinte forma: a Secção 2 descreve a metodologia; a Secção 3 apresenta os resultados em três etapas complementares (bivariada, factorial e regressão logística); a Secção 4 discute os resultados à luz da literatura internacional sobre determinantes da adopção de SHS; e a Secção 5 apresenta as conclusões e recomendações de política.

II. METODOLOGIA

Adoptou-se um desenho de investigação quantitativo e transversal. A população de referência corresponde aos 221.172 habitantes do distrito da Manhiça (INE, 2023), convertidos em 50.266 agregados familiares através da dimensão média do agregado (4,4 pessoas). O tamanho da amostra foi calculado através da fórmula de Cochran para populações finitas (Cochran, 1977):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{E^2 \times (N-1) + Z^2 \times p \times q} \qquad (1)$$

onde n é o tamanho da amostra, N é o tamanho da população de referência, Z é o valor crítico da distribuição normal padrão associado ao nível de confiança adoptado, p é a proporção esperada do fenómeno em estudo, q = 1 − p, e E é a margem de erro admitida. Considerando um nível de confiança de 95% (Z = 1,96), margem de erro de 5% e p = 0,5, obteve-se uma amostra de 382 agregados familiares, distribuídos equitativamente entre 191 adoptantes e 191 não adoptantes de SHS, seleccionados nos seis postos administrativos do distrito. Considerou-se adoptante o agregado familiar com pelo menos um sistema solar doméstico instalado e em funcionamento no domicílio à data da inquirição, e não adoptante o agregado sem qualquer sistema deste tipo instalado. O distrito da Manhiça foi seleccionado por reunir condições estruturais típicas das zonas rurais moçambicanas com défice energético, combinadas com presença efectiva de operadores certificados de SHS desde 2020 (GOGLA, 2022), condição necessária para que a comparação entre adoptantes e não adoptantes seja válida.

Os dados foram recolhidos através de questionário estruturado junto do chefe do agregado familiar ou da pessoa responsável pelas decisões de consumo energético, cobrindo características sociodemográficas e económicas, conhecimento sobre SHS, e 26 itens de percepção, barreira e satisfação avaliados em escala de Likert de 5 pontos, organizados em três blocos conceptuais: percepções e expectativas sobre o SHS (13 itens), barreiras à adopção (7 itens) e satisfação/experiência de utilização (6 itens).

A análise seguiu três etapas complementares, realizadas em R. Primeiro, aplicou-se análise bivariada com teste do Qui-quadrado para associar cada característica ao estado de adopção; o p-valor reportado corresponde ao teste de independência entre cada variável (considerando todas as suas categorias em conjunto) e o estado de adopção, e não a comparações par-a-par entre categorias individuais. Em seguida, recorreu-se à Análise Factorial Exploratória (AFE), com extracção por Componentes Principais e rotação Varimax, para identificar as dimensões latentes de percepção e barreira, precedida da verificação de adequação através do índice Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do teste de esfericidade de Bartlett (Hair et al., 2010). Por fim, estimou-se um modelo de regressão logística binária:

$$ln\left[\frac{p}{1-p}\right] = \beta_0 + \sum_{k=1}^{K} \beta_k X_k \qquad (2)$$

onde p representa a probabilidade de adopção de SHS, β_0 é o intercepto do modelo, β_k são os coeficientes estimados para cada uma das K variáveis explicativas X_k incluídas no modelo. Os efeitos foram interpretados através do Odds Ratio (OR = e^β), e a qualidade do ajuste foi avaliada pelo teste de Hosmer–Lemeshow e pela área sob a curva ROC (AUC) (Gujarati e Porter, 2011). Em todos os testes estatísticos considerou-se um nível de significância de 5%, alinhado ao nível de confiança de 95% adoptado no cálculo do tamanho da amostra.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterização Bivariada

A Tabela 1 cruza as características sociodemográficas, económicas e de conhecimento sobre SHS dos 382 agregados inquiridos com o respectivo estado de adopção. Quatro variáveis alcançaram significância estatística ao nível de 5%: sexo (χ^2 = 4,620; p = 0,032), rendimento mensal (χ^2 = 26,948; p < 0,001), conhecimento geral sobre SHS (χ^2 = 10,909; p = 0,001) e conhecimento de um fornecedor local de SHS (χ^2 = 18,484; p < 0,001). As restantes variáveis (estado civil, nível escolar, propriedade e material da casa, e treinamento formal em SHS) não atingiram significância estatística nesta análise.

A totalidade dos 382 respondentes declarou não ter acesso a crédito formal, pelo que o teste do Qui-quadrado não pôde ser calculado para esta variável por ausência de variabilidade. Os agregados chefiados por analfabetos registaram a maior proporção de adopção de toda a amostra (73,7%), acima de todos os níveis de escolaridade formal (48,2%–50,8%), ainda que sem significância estatística nesta análise bivariada (p = 0,202).

3.2. Estrutura Factorial

A adequação dos dados para a AFE foi confirmada pelo índice KMO = 0,850 e pelo teste de Bartlett (χ^2 = 5.243,181; gl = 325; p < 0,001). Foram retidos seis factores, responsáveis por 70% da variância total (Tabela 2), dos quais quatro admitem interpretação substantiva com base nos itens de maior carga factorial (Tabela 3).

O primeiro factor concentra, isoladamente, 28% da variância, mais do que o dobro do segundo factor. O segundo factor associa deficiências de qualidade dos sistemas à insuficiência de formação técnica. O terceiro factor é dominado pela percepção de falta de regulamentação adequada. O quarto factor reúne satisfação, redução de custos e rendimento adicional, itens que reflectem experiências já realizadas pelos adoptantes, e não apenas expectativas.

Tabela 1. Uso de SHS segundo características sociodemográficas e de conhecimento (n = 382; *p < 0,05)

Variável	Categoria	Não usa n (%)	Usa n (%)	χ^2	*p*-valor
Sexo	Feminino	83 (44,4)	104 (55,6)	4,620	0,032*
	Masculino	108 (55,4)	87 (44,6)		
Estado civil	Solteiro	71 (52,6)	64 (47,4)	5,075	0,079
	Casado	89 (45,2)	108 (54,8)		
	Divorciado	31 (62,0)	19 (38,0)		
Nível escolar	Analfabeto	5 (26,3)	14 (73,7)	4,615	0,202
	Básico	73 (51,8)	68 (48,2)		
	Médio	81 (51,6)	76 (48,4)		
	Superior	32 (49,2)	33 (50,8)		
Propriedade da casa	Alugada	123 (53,0)	109 (47,0)	2,151	0,142
	Própria	68 (45,3)	82 (54,7)		
Material da casa	Cimento	97 (48,3)	104 (51,7)	2,245	0,326
	Madeira	66 (55,5)	53 (44,5)		
	Outro	28 (45,2)	34 (54,8)		
Rendimento mensal (MT)	< 5.000	75 (68,8)	34 (31,2)	26,948	<0,001*
	5.001–10.000	64 (49,6)	65 (50,4)		
	10.001–20.000	34 (38,2)	55 (61,8)		
	≥ 20.001	18 (32,7)	37 (67,3)		
Conhecimento sobre SHS	Sim	92 (42,6)	124 (57,4)	10,909	0,001*
	Não	99 (59,6)	67 (40,4)		
Treinamento em SHS	Não	134 (50,4)	132 (49,6)	0,050	0,824
	Sim	57 (49,1)	59 (50,9)		
Conhece fornecedor de SHS na zona	Não	119 (60,7)	77 (39,3)	18,484	<0,001*
	Sim	72 (38,7)	114 (61,3)		
Acesso a crédito	Não	191 (50,0)	191 (50,0)	–	–

Tabela 2. Variância explicada pelos factores retidos na AFE.

Factor	% Variância	% Acumulada
RC1: Percepção positiva do SHS	28	28
RC2: Barreiras de qualidade/formação	12	40
RC3: Custo e ausência de regulação	9	49
RC4: Satisfação e benefícios realizados	7	56
RC5 / RC6: Componentes residuais	14	70

Tabela 3. Principais itens por factor (carga factorial).

Item	Carga
RC1: Percepção Positiva (28%)	
O SHS reduz a poluição	0,85
O custo do SHS é inferior ao da EDM	0,83
Contribui para redução da pegada de carbono	0,79
O SHS gera rendimento adicional	0,78
RC2: Barreiras de Qualidade/Formação (12%)	
Deficiências na qualidade dos sistemas	0,89
Insuficiência de formação em SHS	0,84
Baixa viabilidade económica	0,67
RC3: Custo e Ausência de Regulação (9%)	
Falta de regulamentação adequada	0,89
Limitações técnicas na zona	0,71
Custo elevado de aquisição e manutenção	0,64
RC4: Satisfação e Benefícios (7%)	
Preferência pelo SHS face à EDM	0,77
Obtenção de rendimento adicional	0,71
Redução de custos energéticos	0,64

3.3. Regressão Logística

O modelo de regressão logística (Tabela 4) apresenta ajuste excelente, confirmado pelo teste de Hosmer–Lemeshow (χ^2 = 3,059; p = 0,931) e por uma área sob a curva ROC de AUC = 0,881, com acurácia de classificação de 80,10%. O sexo, significativo na análise bivariada, perde significância estatística neste modelo multivariado. A par do modelo ajustado (multivariado), a Tabela 4 reporta também o Odds Ratio bruto (univariado) de cada variável, estimado isoladamente e sem controlo pelas restantes, o que permite identificar variáveis cujo efeito é atenuado ou amplificado por factores de confusão.

O rendimento mensal é o determinante de maior magnitude tanto no modelo bruto como no ajustado: os agregados com rendimento igual ou superior a 20.001 MT apresentam um OR de 4,534 isoladamente e de 5,610 após ajuste. O conhecimento de um fornecedor local apresenta um OR de 2,447 no modelo bruto e de 2,900 no ajustado.

Todos os níveis de escolaridade formal apresentam OR inferiores a 1 face à categoria de referência (analfabetos), tanto no modelo bruto como no ajustado. Note-se ainda o padrão da habitação própria: sem significância estatística no modelo bruto (OR = 1,361; p = 0,143), mas claramente significativa no modelo ajustado (OR = 2,045; p = 0,013). Este contraste é indício de que o seu efeito estava a ser mascarado no modelo bruto pela correlação entre propriedade da casa e rendimento, só emergindo com clareza quando este último é controlado estatisticamente. Note-se também que a categoria de rendimento mais elevado apresenta o intervalo de confiança mais amplo de todo o modelo ajustado ([2,289; 14,320]), reflexo do menor número de observações nessa categoria (apenas 55 agregados, dos quais 37 adoptantes), pelo que esta estimativa deve ser interpretada com a devida cautela. A Figura 1 apresenta graficamente estes coeficientes: as variáveis à direita da linha de referência (OR > 1) apresentam associação positiva com a adopção; os três níveis de escolaridade, à esquerda (OR < 1), apresentam associação negativa face à categoria de referência (analfabetos).

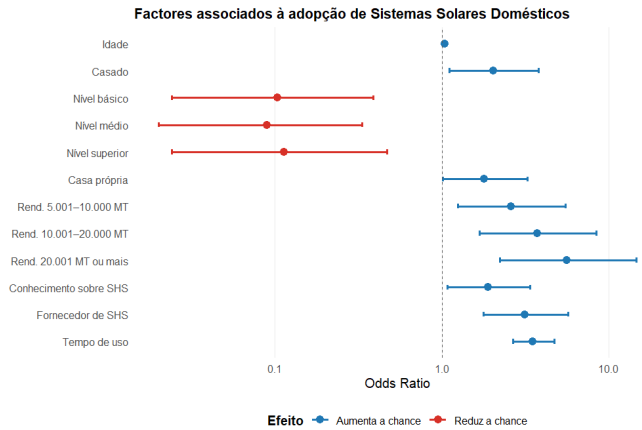


Figura 1. Odds Ratio e intervalos de confiança de 95% para as variáveis significativas do modelo (escala logarítmica; linha tracejada = OR de referência 1).

3.4. Validação do Modelo

O ajuste do modelo foi confirmado pelo teste de Hosmer–Lemeshow (χ^2 = 3,059; gl = 8; p = 0,931) e por uma área sob a curva ROC de AUC = 0,881 (Figura 2). O modelo apresenta uma acurácia de classificação global de 80,10%, com sensibilidade e especificidade simétricas.

A Figura 3 mostra a distribuição das probabilidades previstas de adopção para cada variável. No painel (e) (rendimento), a probabilidade mediana sobe de valores próximos de 30% na categoria de menor rendimento para valores superiores a 65% na categoria mais elevada. No painel (g) (tempo de uso), observa-se uma relação positiva com tendência de estabilização em níveis elevados após alguns anos de experiência com o sistema. No painel (c) (nível escolar), os analfabetos concentram-se em probabilidades previstas mais elevadas do que os restantes grupos de escolaridade formal. Nos painéis (b) (estado civil), (d) (tipo de residência) e (i) (tamanho da família), a dispersão das probabilidades previstas entre categorias é visualmente menor, consistente com a ausência de significância estatística destas variáveis no modelo multivariado (Secção 3.3). Os painéis (a) (idade), (f) (conhecimento sobre SHS) e (h) (conhecimento de

fornecedor) apresentam padrões crescentes moderados, compatíveis com os coeficientes positivos e estatisticamente significativos estimados para estas três variáveis.

IV. DISCUSSÃO

A literatura internacional sobre adopção de SHS confirma, de forma consistente, a natureza multidimensional do fenómeno, ainda que com resultados nem sempre convergentes entre contextos, o que fornece um quadro comparativo útil para interpretar os resultados desta investigação.

Quanto aos atributos tecnológicos da inovação, Alrashoud e Tokimatsu (2019), num estudo que testou directamente os cinco atributos de Rogers na adopção de SHS, encontraram que a vantagem relativa é o determinante mais importante, com destaque para os subatributos de impacto ambiental e inesgotabilidade do recurso solar, achado consistente com o presente estudo, em que o primeiro factor da AFE (Percepção Positiva do SHS) concentra isoladamente 28% da variância, mais do que o dobro do segundo factor, confirmando que a avaliação global da tecnologia é a dimensão dominante nas atitudes dos inquiridos da Manhiça, muito à frente das barreiras específicas. Quanto à complexidade, Barrie e Cruickshank (2017) documentaram que os SHS são percebidos como mais complexos do que tecnologias comparáveis, como as lanternas solares; contudo, Qureshi et al. (2017), no Paquistão, não encontraram relação significativa entre manutenção ou exigência de serviço e adopção, concluindo que é antes a dificuldade de acesso a técnicos qualificados que se revela mais determinante do que a complexidade técnica intrínseca, conclusão convergente com o segundo factor identificado neste estudo, que associa deficiências de qualidade dos sistemas à insuficiência de formação técnica. Ogeya et al. (2025) documentaram este mesmo mecanismo em Moçambique, associando-o à circulação de equipamento de qualidade inferior no mercado informal, o que ajuda a explicar por que razão, em contextos rurais com cobertura técnica limitada como a Manhiça, a percepção de qualidade inadequada está directamente ligada à incapacidade de reparação quando o sistema falha, amplificando o risco percebido da compra. Quanto à experimentabilidade, estruturalmente limitada nos SHS, Opiyo (2019), no Quénia, mostraram que muitos adoptantes decidem instalar o sistema depois de observar exemplos nas habitações vizinhas, o que Rogers designa de experimentabilidade vicária.

Tabela 4. Determinantes da adopção de SHS: Odds Ratios brutos (univariados) e ajustados (modelo multivariado) (categoria de referência da escolaridade: analfabeto; *p < 0,05)

	OR bruto (univariado)			OR ajustado (multivariado)		
Variável	**OR**	**IC 95%**	*p*	**OR**	**IC 95%**	*p*
Idade (anos)	1,030	[1,013; 1,048]	0,001*	1,034	[1,010; 1,058]	0,005*
Nível escolar: Básico	0,333	[0,114; 0,973]	0,044*	0,133	[0,032; 0,487]	0,003*
Nível escolar: Médio	0,335	[0,115; 0,975]	0,045*	0,131	[0,031; 0,473]	0,003*
Nível escolar: Superior	0,368	[0,119; 1,141]	0,083	0,159	[0,035; 0,635]	0,012*
Habitação própria	1,361	[0,901; 2,055]	0,143	2,045	[1,170; 3,635]	0,013*
Rendimento ≥20.001 MT	4,534	[2,266; 9,075]	0,000*	5,610	[2,289; 14,320]	0,000*
Rendimento 10.001–20.000 MT	3,568	[1,980; 6,431]	0,000*	3,130	[1,460; 6,863]	0,004*
Rendimento 5.001–10.000 MT	2,240	[1,316; 3,815]	0,003*	2,668	[1,328; 5,485]	0,007*
Conhecimento sobre SHS	1,992	[1,320; 3,004]	0,001*	1,960	[1,134; 3,425]	0,017*
Conhece fornecedor local	2,447	[1,622; 3,692]	0,000*	2,900	[1,671; 5,131]	0,000*
Tempo de uso (anos)	2,944	[2,333; 3,715]	0,000*	3,135	[2,430; 4,159]	0,000*

Nota: variáveis não significativas em ambos os modelos (sexo, estado civil, tamanho da família) omitidas por brevidade. Os modelos brutos foram estimados através de regressão logística simples, uma variável de cada vez, sem controlo pelas restantes; o modelo ajustado corresponde ao modelo multivariado completo, com todas as variáveis incluídas em simultâneo.

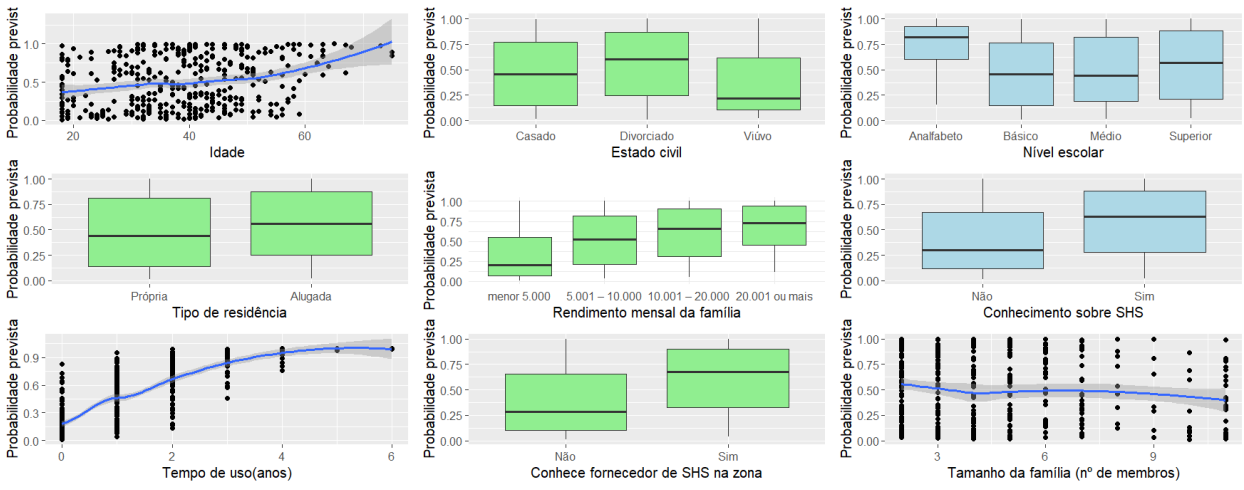


Figura 3. Probabilidade prevista de adopção de SHS por variável explicativa: (a) idade; (b) estado civil; (c) nível escolar; (d) tipo de residência; (e) rendimento mensal da família; (f) conhecimento sobre SHS; (g) tempo de uso; (h) conhecimento de fornecedor de SHS na zona; (i) tamanho da família.

Quanto aos factores económicos, o rendimento familiar surge como determinante robusto em múltiplos contextos: Komatsu et al. (2013), no Bangladesh, Etongo e Naidu (2022), nas Seicheles, e Smith e Urpelainen (2014), na Tanzânia, documentaram uma relação positiva entre rendimento e adopção. Os resultados desta investigação confirmam e quantificam este padrão para o contexto moçambicano, com controlo estatístico simultâneo de outras variáveis: os agregados com rendimento igual ou superior a 20.001 MT apresentam um OR de 5,610 face aos de menor rendimento (Secção 3.3). O acesso ao crédito reforça este efeito na literatura internacional: Etongo e Naidu (2022) identificaram-no como um dos principais determinantes, e Ahmed et al. (2022) confirmaram, noutro contexto africano, que a ausência de mecanismos de microcrédito acessíveis constitui uma das principais barreiras à adopção por famílias de baixo rendimento. A ausência total de acesso a crédito formal verificada na amostra moçambicana (Secção 3.1) sugere que esta barreira é mais severa em Moçambique do que nos contextos comparados, onde o crédito, ainda que limitado, pelo menos existe como via alternativa.

O efeito do conhecimento de um fornecedor local (OR de 2,900) quantifica, para o contexto moçambicano, o mecanismo que Ogeya et al. (2025) descreveram como um "mercado de dois andares": a cobertura territorial desigual dos operadores certificados cria, na prática, dois mercados distintos, um onde a tecnologia está fisicamente acessível e testável, outro onde permanece abstracta.

Quanto aos factores familiares e demográficos, o efeito do tamanho da família é positivo e relativamente consistente na literatura (Ahmed et al., 2022; Guta, 2020), mas o efeito do sexo do chefe de família é contraditório entre estudos: Zhu et al. (2011) encontraram maior propensão masculina para a adopção de novas tecnologias, enquanto Guta (2018), em contexto rural africano, documentaram o padrão inverso. Neste estudo, o sexo foi significativo na análise bivariada, com as mulheres a registarem maior proporção de adopção (55,6% vs. 44,6%), mas perdeu significância no modelo multivariado (Secção 3.3). Kizilcec e Parikh (2020), numa revisão sistemática sobre género e SHS na África Subsaariana, explicam este tipo de contradição pela intersecção entre género, classe e estruturas de poder doméstico, interpretação consistente com o resultado aqui obtido: em contextos onde género, rendimento e conhecimento sobre a tecnologia estão fortemente correlacionados, efeitos aparentemente demográficos podem, na realidade, ser efeitos económicos e informacionais disfarçados.

Quanto à educação, Walsh et al. (2020), em estudo especificamente moçambicano, documentaram um padrão inverso ao que a intuição sugeriria: o uso de energia solar para iluminação é mais elevado entre indivíduos com escolaridade primária do que entre os sem escolaridade ou com educação superior, resultado que os autores associam à maior correlação entre escolaridade superior e rendimento, por sua vez associado à preferência pela electricidade convencional. Os resultados desta investigação são consistentes com este padrão e estendem-no: os agregados chefiados por analfabetos registaram a maior proporção de adopção de toda a amostra (73,7%), e todos os níveis de escolaridade formal apresentam Odds Ratios inferiores a 1 no modelo multivariado, de forma consistente, face a esta categoria de referência. A leitura mais plausível, alinhada com o conceito de adopção por necessidade de Guta (2018), é que os agregados menos escolarizados enfrentam privação energética mais severa e menos alternativas viáveis de electrificação convencional, pelo que o SHS não constitui uma escolha entre opções, mas a única disponível, em contraste com a adopção por escolha dos grupos mais escolarizados, que dispõem de alternativas.

Quanto aos factores institucionais, o acesso à electricidade convencional completa o quadro de determinantes: Guta (2018) identificaram a ligação prévia à rede eléctrica como determinante negativo da adopção de SHS, e Smith e Urpelainen (2014) documentaram que domicílios já ligados à rede tendem a adoptar SHS apenas como sistema de backup. No terceiro factor da AFE, dominado pela percepção de falta de regulamentação adequada, os inquiridos parecem associar o vazio regulatório, dado que a capacidade da ARENE sobre o mercado de SHS em Moçambique permanece limitada (Ogeya et al., 2025), a um custo adicional de natureza não financeira: a incerteza sobre a chegada da rede eléctrica convencional, que gera dúvidas quanto à necessidade de adoptar ou não o SHS. O quarto factor, que reúne satisfação, redução de custos e rendimento adicional, capta experiências já realizadas pelos adoptantes, e não apenas expectativas, distinção que corresponde à diferença entre as fases de persuasão e confirmação no modelo de Rogers (2003), e é consistente com o que Thomas et al. (2021) e Naidoo e Loots (2020) documentaram noutros contextos: o problema central não é a insatisfação de quem já adoptou, mas as barreiras que impedem os restantes de experimentar a tecnologia.

Em síntese, os três momentos analíticos deste estudo convergem para uma conclusão central, consistente com a tese de Rogers (2003) sobre a natureza multidimensional da difusão de inovações: a adopção de SHS no distrito da Manhiça não é explicada por um único factor dominante, mas pela conjugação de condições económicas, informacionais e institucionais que só ganham poder explicativo quando analisadas em conjunto. A barreira à adopção em Moçambique não é, primariamente, atitudinal: a percepção positiva do SHS foi a dimensão dominante da estrutura factorial, e o conhecimento sobre a tecnologia aumenta significativamente as chances de adopção, e ainda assim a maioria dos agregados que conhecem e valorizam positivamente a tecnologia não a adopta. Este padrão substancia, com dados quantitativos, a gap entre consciencialização e preferência efectiva que USAID (2020) haviam apenas descrito qualitativamente para o contexto moçambicano. O obstáculo, portanto, não é convencer os agregados de que o SHS é uma boa tecnologia, já estão convencidos, mas remover as barreiras financeiras e de mercado que impedem a concretização dessa convicção em compra efectiva.

V. CONCLUSÃO

A adopção de SHS no distrito da Manhiça não tem uma causa única, mas resulta da conjugação de condições económicas, informacionais e institucionais que só se tornam visíveis quando analisadas em conjunto. Os dois determinantes de maior magnitude, rendimento e conhecimento de fornecedores locais, revelam que o obstáculo central não é a falta de valorização da tecnologia, mas a coexistência de uma barreira financeira e de uma barreira de mercado que impedem a concretização de uma intenção de adopção já existente.

Com base nesta evidência, recomenda-se ao Governo e reguladores o desenvolvimento de produtos financeiros com calendários de amortização alinhados aos ciclos agrícolas e a expansão da cobertura de dinheiro móvel, condição para viabilizar modelos de pagamento faseado. Aos operadores de mercado recomenda-se a expansão da rede de agentes locais certificados, a alavanca com maior retorno marginal identificada nos dados, e a promoção de demonstrações comunitárias em espaços de elevada visibilidade, explorando o mecanismo de observabilidade social já documentado na literatura sobre difusão de inovações (Rogers, 2003; Opiyo, 2019). Ao regulador (ARENE), recomenda-se o reforço da fiscalização da qualidade dos sistemas comercializados informalmente, dado que a percepção de vazio regulatório emergiu como dimensão própria e distinta na estrutura factorial.

O estudo apresenta limitações que devem ser consideradas. O desenho transversal impede a captura da dinâmica temporal da adopção. A circunscrição ao distrito da Manhiça, mais próximo de Maputo e com maior presença de operadores certificados do que a média rural moçambicana, recomenda cautela na extrapolação dos resultados. A formulação da questão sobre acesso a crédito pode ter subestimado formas informais de financiamento. Ainda assim, o modelo estimado apresenta robustez estatística suficiente (AUC = 0,881; acurácia de 80,10%) para orientar, com razoável grau de confiança, decisões de política e de mercado no contexto rural moçambicano, e abre caminho para investigação futura que replique este desenho em distritos mais remotos, testando se o efeito da proximidade ao mercado urbano se mantém, se atenua ou se inverte.

REFERÊNCIAS

Ahmed, Y., Ebrahim, S., e Ahmed, M. (2022). Determinants of solar technology adoption in rural households: The case of Belesa districts, Amhara region of Ethiopia. Cogent Economics and Finance, 10(1).

Alrashoud, K. e Tokimatsu, K. (2019). Factors influencing social perception of residential solar photovoltaic systems in Saudi Arabia. Sustainability, 11(19).

Barrie, J. e Cruickshank, H. J. (2017). Shedding light on the last mile: A study on the diffusion of pay as you go solar home systems in central east africa. Technical report.

Cochran, W. G. (1977). Sampling Techniques. John Wiley & Sons, 3 edition.

Economic Consulting Associates e Greenlight (2018). Off-grid solar market assessment in Mozambique: Final report. Technical report, Economic Consulting Associates.

ESMAP e IEA (2023). Tracking SDG7: The energy progress report. Technical report, World Bank / International Energy Agency.

Etongo, D. e Naidu, H. (2022). Determinants of household adoption of solar energy technology in Seychelles in a context of 100% access to electricity. Discover Sustainability, 3(1).

GOGLA (2022). Global off-grid solar market report: Semi-annual sales and impact. Technical report, Global Off-Grid Lighting Association.

Gujarati, D. N. e Porter, D. C. (2011). Econometria Básica. AMGH Editora / McGraw-Hill, 5 edition.

Guta, D. D. (2018). Determinants of household adoption of solar energy technology in rural Ethiopia. Journal of Cleaner Production, 204:193–204.

Guta, D. D. (2020). Determinants of household use of energy-efficient and renewable energy technologies in rural Ethiopia. Technology in Society, 61.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., e Anderson, R. E. (2010). Análise Multivariada de Dados. Pearson Prentice Hall, 7 edition.

IEA (2025). Financing electricity access in africa. Technical report, International Energy Agency.

INE (2023). Estatísticas do distrito de manhiça. Technical report, Instituto Nacional de Estatística de Moçambique.

IRENA (2023). Renewable energy statistics. Technical report, International Renewable Energy Agency.

Kizilcec, V. e Parikh, P. (2020). Solar home systems: A comprehensive literature review for sub-Saharan Africa. Energy for Sustainable Development, 58:78–89.

Komatsu, S., Kaneko, S., Ghosh, P. P., e Morinaga, A. (2013). Determinants of user satisfaction with solar home systems in rural Bangladesh. Energy, 61:52–58.

Naidoo, K. e Loots, C. (2020). Mozambique / energy and the poor – unpacking the investment case for clean energy. Technical report, UNDP / UNCDF.

Ogeya, M., Ogara, O., e Andersen, A. B. (2025). Community energy and sustainable energy transitions: Experiences from Ethiopia, Malawi and Mozambique. Technical report.

Opiyo, N. N. (2019). Impacts of neighbourhood influence on social acceptance of small solar home systems in rural western Kenya. Energy Research and Social Science, 52:91–98.

Punguane, F., Vilanculo, J., e Andrade, M. (2026). Technical, economic and social feasibility analysis of photovoltaic solar systems for rural electrification in Mapai district-Mozambique. Journal of Energy and Natural Resources, 15(1):1–9.

Qureshi, T. M., Ullah, K., e Arentsen, M. J. (2017). Factors responsible for solar PV adoption at household level: A case of Lahore, Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78:754–763.

Rogers, E. M. (2003). Diffusion of Innovations. The Free Press, New York, 5 edition.

Smith, M. G. e Urpelainen, J. (2014). Early adopters of solar panels in developing countries: Evidence from Tanzania. Review of Policy Research, 31(1):17–37.

Thomas, P. J. M., Williamson, S. J., e Harper, P. W. (2021). The diffusion of solar home systems in Rwandan refugee camps. Energy for Sustainable Development, 63:119–132.

Uamusse, M. M., Tussupova, K., Persson, K. M., e Berndtsson, R. (2019). Mini-grid hydropower for rural electrification in Mozambique: Meeting local needs with supply in a nexus approach. Water, 11(2).

United Nations (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations.

USAID (2020). Can Mozambican household afford SHS? insights from a local survey. Technical report, USAID.

Walsh, K., Reeders, C., Seedat, A., Filby, S., Theron, R., e Spazzoli, R. (2020). Making access possible: Energy and the poor – Mozambique. Technical report, UNDP.

World Bank (2023a). Access to electricity (% of population) – Mozambique. World Development Indicators.

World Bank (2023b). Access to electricity, rural (% of rural population) – Mozambique. World Development Indicators.

Zhu, B., Zhang, W., Du, J., Zhou, W., Qiu, T., e Li, Q. (2011). Adoption of renewable energy technologies (RETs): A survey on rural construction in China. Technology in Society, 33(3–4):223–230.