



MGP

MINI-GRIDS
PARTNERSHIP

RELATÓRIO

**ESTADO DO MERCADO
GLOBAL DE MINI-REDES**

2024



AGRADECIMENTOS

Este relatório foi elaborado por Elena Adamopoulou, Iro Sala, Adrian Pilco e Christopher Lewis, da Economic Consulting Associates (ECA), e Kathryn Fluehr, da Odyssey Energy Solutions.

Este relatório foi encomendado em nome da Parceria Mini-Grids pela equipa SEforALL, liderada por Irene Calvé Saborit, Niklas Hayek, Bala Viswanathan, Miquilina Selasie Anagbah, Anja Barradas, Neil Claydon, Nicolás Larrañaga e Maja Grsic, que trabalharam em estreita colaboração com o TCE.

Este relatório recebeu comentários perspicazes de revisores externos. Gostaríamos de agradecer a Bernard Tenenbaum, James Knuckles, Chris Greacen, Sylvain Boursier, Nicolas Allien (Banco Mundial), Benjamin Curnier (BAD), Steven Hunt (FCDO), Churchill Agutu (PNUD), Grace Perkins e Amon Mwadime (AMDA), Nishant Narayan (SEforALL), Michael Feldner e Rebecca Symington (GET.Invest Finance Catalyst), Iva Indriunaite (Camco Energy) e Agustin Cabo (Power for All) pelo seu valioso *feedback* e comentários de especialistas.

Este Relatório de Parceria de Mini-Redes foi produzido com o financiamento da ajuda do governo do Reino Unido através da plataforma Transforming Energy Access.

Agradecemos também a todos os que foram entrevistados e deram contributos para este estudo: Benjamin Curnier (BAD), Jon Exel e Tatia Lemondzhava (Banco Mundial), Dennis Nderitu (GEAPP), Jessica Stiefler (MIGA), Veit Goehringer, Jasper Haerig, Soumana Kailou e Carlos Miro (GIZ), Giorgia Pasqualetto, Ben Hartley, Ingrid Rohrer, Anita Otubu, Nishant Narayan, Dolapo Oluwatosin Adeosun, Louis Tavernier e Abdul Yakubu (SEforALL), Michael Feldner, Maurice Pigaht e Rebecca Symington (GET.Invest Finance Catalyst), Agustin Carbo e Carolina Ines Pan (Power for All), Carol Zulu (PNUD), Miriam Atuya e Tombo Banda (CrossBoundary Innovation Lab), Frank Bergh (NRECA), Debajit Palit (NTPC School of Business, Índia), Elena van Hove (ASU), Stewart Hicks (Bamboo Capital), Jean-Denis Collin (ElectriFI), Nicole Poindexter (Energicity), Clifford Aron (Greenmax Capital), Marie Testard (Engie Energy Access), James Todd (Oikocredit), Sarah Alexander (SNV), Torsten Schreiber (Africa GreenTech), Kule Hamilton (Nuru Energy), Trey Jarrard (Renewvia Solar Africa), Idris Tayebi (Winch Energy), Roger Sallent (Trama TecnoAmbiental), Olivier Dumont (1pwafrica), Vijay Dongare (Sugar Corporation of Uganda Limited), Omozaphue Akalumhe (PriVida Energy) e Ignatius Anayawa (GEI Power).

Este relatório foi editado por Justin French-Brooks.

FINANCIADO POR



O presente relatório (incluindo quaisquer anexos e apêndices) foi elaborado para uso e benefício exclusivo da SEforALL e apenas para os fins para os quais é fornecido. A não ser que nos seja dado consentimento prévio por escrito, nenhuma parte deste relatório deve ser reproduzida, distribuída ou comunicada a terceiros. Não nos responsabilizamos caso este relatório seja utilizado para um fim diferente daquele a que se destina, nem perante terceiros relativamente a este relatório.

Isenção de responsabilidade: este material foi financiado pela ajuda do governo do Reino Unido; no entanto, as opiniões expressas não reflectem necessariamente as políticas oficiais do governo do Reino Unido.

ÍNDICE

QUADROS, FIGURAS E CAIXAS.....	5
ABREVIATURAS.....	9
SUMÁRIO EXECUTIVO	11
1. ANTECEDENTES E OBJETIVOS	21
1.1 Antecedentes	21
1.2 Objetivos	25
2. TENDÊNCIAS DO MERCADO DAS MINI-REDES	26
2.1 Tendências gerais do mercado	28
2.2 Tendências de um ambiente favorável	32
2.3 Inovações nos modelos de negócio	50
2.4 Tendências de financiamento	64
2.5 Tendências tecnológicas	84
2.6 Tendências económicas	96
3. IMPACTOS	105
3.1 Medição do impacto no quadro dos ODS	106
3.2 Abordagens centradas no cliente para medir o impacto	110
3.3 Medir os progressos realizados na implementação feita por doadores	112
4. PERSPECTIVAS DE MERCADO.....	115
4.1 Perspetivas sobre o ambiente favorável	116
4.2 Perspetivas sobre o modelo de negócio	118
4.3 Perspetivas de financiamento	119
4.4 Perspetivas tecnológicas	120
4.5 Perspetivas para a economia	121
5. RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES.....	123
ANEXO ESTUDOS DE CASO	129

A1 Serra Leoa.....	130
A1.1 Contexto do país	130
A1.2 Quadro político	134
A1.3 Quadro regulamentar	135
A1.4 Economia	140
A2 Índia.....	145
A2.1 Contexto nacional	145
A2.2 Quadro político	149
A2.3 Quadro regulamentar	150
A2.4 Economia	151
A3 Quênia	155
A3.1 Contexto nacional	155
A3.2 Quadro político	158
A3.3 Quadro regulamentar	159
A3.4 Economia	161
A4 Recolha de dados	165

QUADROS, FIGURAS E CAIXAS

TABELAS

Tabela 2.1 Visão geral das bases de dados dos fluxos de financiamento.....	27
Tabela 2.2 Visão geral da base de dados FMR	27
Tabela 3.1 Métricas de impacto de 60 decibéis para o setor das mini-redes.....	111
Tabela 6.1 Tarifas das mini-redes para os três operadores.....	141

FIGURAS

Figura 1.1 Apoio político para as mini-redes durante a COVID-19.....	23
Figura 1.2 O papel atual das mini-redes	24
Figura 1.3 Percentagem da população ligada a uma mini-rede de abastecimento.....	24
Figura 2.1 Mini-redes instaladas e ligações adicionadas, 2018-2024, e crescimento em relação ao ano de referência (2018).....	29
Figura 2.2 Percentagem do consumo total de energia das mini-redes por tipo de consumidor, 2014-2024.....	30
Figura 2.3 Percentagem acumulada da capacidade instalada por tipo de combustível, 2018-2024	31
Figura 2.4 Resumo das tendências ambientais favoráveis.....	32
Figura 2.5 Percentagem de programas de mini-redes que oferecem assistência técnica, por financiador	34
Figura 2.6 Evolução das pontuações RISE para enquadramentos de mini-redes por região, 2010-2021.....	35
Figura 2.7 Pontuações RISE para enquadramentos de mini-redes por país, 2021	35
Figura 2.8 Resumo dos elementos constitutivos das tarifas no modelo de estandardizado de aplicação de tarifas no Quênia.....	41
Figura 2.9 Eficácia global da regulamentação relativa às mini-redes contra a invasão da rede principal.....	43
Figura 2.10 Captura do motor de busca de mini-redes interligadas na Nigéria	46
Figura 2.11 Potenciais disposições contratuais para mini-redes undergrid	47
Figura 2.12 Modelos de negócio UPE	53
Figura 2.13 Consumo médio por utilizador por hora do dia, antes e depois da entrega do eletrodoméstico, África Oriental	56

Figura 2.14 Modelo Gridless	62
Figura 2.15 Financiamento total autorizado para programas em curso por região.....	65
Figura 2.16 Financiamento total autorizado para programas em curso por região.....	66
Figura 2.17 Número de programas por financiador e financiamento médio autorizado por programa.....	67
Figura 2.18 Financiamento médio autorizado por ligação planeada e número total de ligações planeadas para programas selecionados.....	69
Figura 2.19 Duração média do programa por financiador.....	70
Figura 2.20 Duração média dos programas por instrumento de financiamento primário	70
Figura 2.21 Instrumentos de financiamento utilizados por financiador (percentagem de programas).....	72
Figura 2.22 Percentagem de programas de mini-redes por instrumento de financiamento primário	73
Figura 2.23 Percentagem de financiamento por fase de desenvolvimento das mini-redes e instrumento de financiamento primário	75
Figura 2.24 Percentagem de programas de mini-redes com financiamento em moeda local, por financiador	78
Figura 2.25 Modelo de financiamento transfronteiriço para mini-redes	81
Figura 2.26 Volume fotovoltaico previsto e custos dos módulos até 2030.....	85
Figura 2.27 Capacidade nominal de armazenamento, indexada a 2018	87
Figura 2.28 Diminuição dos preços das baterias de iões de lítio, 2019-2023	87
Figura 2.29 Planeamento financeiro através da plataforma Odyssey	91
Figura 2.30 Perfil de carga e projeto de geração na plataforma Odyssey	92
Figura 2.31 Exemplo de um painel de controlo técnico.....	94
Figura 2.32 Exemplo de painel de controlo de KPI.....	95
Figura 2.33 LCOE por fator de carga e tipo de solução de armazenamento	98
Figura 2.34 Curva LCOE de eletrificação para a África Subsariana por nível	99
Figura 2.35 Custos de Despesas de Capital por kW instalado	100
Figura 2.36 Número médio de clientes por mini-rede comunicada	101
Figura 2.37 Custos médios de despesas de capital por kW	103
Figura 3.1 ODS e mini-redes	107
Figura 3.2 Captura dos indicadores de impacto do GEAPP.....	109
Figura 3.3 Resumo do impacto projetado pelo PEE para a sua portfólio ativo, enquadrado nos ODS.....	109
Figura 3.4 Financiamento total autorizado vs. desembolsado por ano	113

Figura 4.1 Perspetivas de mercado.....	115
Figura 4.2 Reduções previstas no LCOE até 2030.....	122
Figura 5.1 Áreas de ação	124
Figura 6.1 Plano de eletrificação de menor custo na Serra Leoa	130
Figura 6.2 Mini-redes do UNOPS.....	133
Figura 6.3 Modelo de ativos fracionados do RREP (PT2).....	140
Figura 6.4 Acumulação de custos tarifários com base nos custos médios dos três operadores	142
Figura 6.5 Taxa de eletrificação nacional, Índia , 2001-2021	145
Figura 6.6 Percentagem de agregados familiares sem acesso à eletricidade, Índia por estado	146
Figura 6.7 Corte diário de eletricidade, em horas, zonas rurais	147
Figura 6.8 Política de mini-redes na Índia, entre estados.....	150
Figura 6.9 Análise das tarifas das mini-redes na Índia, a partir de várias fontes.....	152
Figura 6.10 Distribuição das empresas rurais na Índia.....	154
Figura 6.11 Mini-redes existentes e potenciais	155
Figura 6.12 Plano de eletrificação de menor custo no Quênia	156

CAIXAS

Caixa 2.1 Quadro de distribuição integrado para o planeamento energético	37
Caixa 2.2 Programa de aceleração de mini-redes interligadas na Nigéria.....	46
Caixa 2.3 "Soluções de mini-rede para clientes mal servidos": Recomendações	47
Caixa 2.4 Mini-redes da PowerGen na Nigéria.....	48
Caixa 2.5 Integração da comunidade local em projetos de mini-redes	50
Caixa 2.6 Abordagens governamentais ao desenvolvimento de mini-redes.....	52
Caixa 2.7 A estratégia AEC na prática	54
Caixa 2.8 arrefecimento refrigeração sustentável como forma de aumentar a procura de eletricidade de mini-redes	55
Caixa 2.9 Modelo de aceleração de negócio: Engie Equatorial.....	57
Caixa 2.10 JUMEME: Apoio ao desenvolvimento direcionado.....	57
Caixa 2.11 Oikocredit: Construir um ecossistema em torno da UPE.....	58
Caixa 2.12 Capacitação da comunidade através do UPE.....	60
Caixa 2.13 Utilização do excesso de eletricidade para a mineração de criptomoedas: Gridless	61

Caixa 2.14 Redes de malha da Okra Solar	63
Caixa 2.15 Universal Energy Facility.....	74
Caixa 2.16 Incorporação da flexibilidade nos programas FBR.....	75
Caixa 2.17 Empréstimos perdoáveis para pré-financiamento do FBR: CEI África.....	76
Caixa 2.18 Garantias de extensão de prazo	78
Caixa 2.19 Modelo financeiro da CrossBoundary para mini-redes.....	81
Caixa 2.20 Workshops para investidores realizados pela EEP África.....	82
Caixa 2.21 Ferramentas digitais de modelação técnica e financeira: Odyssey	91
Caixa 2.22 Análises de monitorização avançadas.....	94
Caixa 2.23 Uma abordagem faseada para o dimensionamento do sistema.....	99
Caixa 3.1 Inquéritos finais efetuados pela Oikocredit	112
Caixa 3.2 Acompanhamento da implementação dos doadores: Power for All.....	113

ABREVIATURAS

Acesso CB	Acesso Transfronteiriço
ADELE	Acesso à Eletricidade Distribuída e à Iluminação na Etiópia
AFD	Agência Francesa de Desenvolvimento
AFUR	Fórum Africano De Reguladores De Serviços Públicos
AIE	Agência Internacional da Energia
AMAP	Programa de Aceleração de Mini-redes em África
AMDA	Associação Africana de Promotores de Mini-Redes
AMR	Ativo Da Mini-Rede
ARPU	Receita Média Anual por Cliente
ASG	Ambiental, Social e de Governação
BAD	Banco Africano de Desenvolvimento
BGFA	Beyond the Grid Fund for Africa
BMZ	Ministério Federal para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
C&I	Comercial & Industrial
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CO -eq₂	Dióxido de Carbono Equivalente
CREDA	Chhattisgarh Renewable Energy Development Agency
DART	Demand Aggregation for Renewable Technology
DOEN	Fundação DOEN
DREAM	Distributed Renewable Energy-Agriculture Modalities
D-REC	Créditos de Energia Renovável Distribuída
EAC	Engenharia, Aquisição e Construção
EnDev	Energising Development
ESMAP	Energy Sector Management Assistance Program
FBR	Financiamento Baseado Em Resultados
FCDO	Foreign, Commonwealth and Development Office
FMR	Financiadores de Mini-Redes

GEAPP	Global Alliance for People and Planet
GEP	Global Electrification Platform
IBS	Imposto sobre Bens e Serviços
IMPrensa-D	Promoção de serviços de energias renováveis para o desenvolvimento social
KPI	Indicador-chave de Desempenho
LCOE	Custo nivelado de energia
Li-ion	Iões de lítio
MIGA	Multilateral Investment Guarantee Agency
MPME	Micro, Pequenas e Médias Empresas
MW	megawatt
MNRE	Ministério das Energias Novas e Renováveis
MYTO	Multi-Year Tariff Order
Na-ion	ião de sódio
NEFCO	Nordic Environment Finance Corporation
NEP	Plano Nacional De Eletrificação
O&M	Operação E Manutenção
ODS	Objetivo De Desenvolvimento Sustentável
P-REC	Crédito De Energia Renovável Para A Paz
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PPP	Parceria Público-Privada
PV	Fotovoltaico
REC	Crédito De Energia Renovável
REREC	Rural Electrification And Renewable Energy Corporation
RISE	Indicadores Regulamentares Para A Energia Sustentável
RREP	Rural Renewable Energy Project
SEforALL	Sustainable Energy for All
TPRMG	Tata Power Renewable Microgrid
UNOPS	Escritório das Nações Unidas para os Serviços de Projetos
UPE	Utilização Produtiva Da Energia
WBREDA	West Bengal Renewable Energy Development Agency



SUMÁRIO EXECUTIVO

ANTECEDENTES E OBJETIVOS

O desafio global da eletrificação, crucial para alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, tem registado tanto progressos como retrocessos. Em particular, o número de pessoas sem acesso à eletricidade diminuiu em 466 milhões entre 2010 e 2021, devido aos avanços nas energias renováveis, ao aumento do investimento e a uma maior cooperação internacional. No entanto, a maioria dos ganhos ocorreu fora da África Subsariana. As mini-redes surgiram como um motor essencial da eletrificação em zonas remotas. Eventos recentes, nos quais se incluem a pandemia de COVID-19 e conflitos geopolíticos como a invasão da Ucrânia pela Rússia tiveram um efeito disruptivo no progresso. Estes desafios sublinham a necessidade de reforçar os esforços de eletrificação sustentável.

O Relatório acerca do Estado do Mercado Global de Mini-Redes 2024 serve como um recurso completo que procura impulsionar o investimento e informar a tomada de decisões no sector. Recorrendo a uma metodologia *bottom-up*, o relatório fornece informações atualizadas e estratégias orientadas para o futuro para desenvolvimento sustentável do setor, sintetizando contributos de entrevistas a partes interessadas relevantes e uma extensa investigação documental.

A análise quantitativa que consta neste relatório baseia-se em dados de duas bases de dados primárias: a base de dados de Financiadores de Mini-Redes (FMR) e a base de dados de Ativos de Mini-Redes (AMR). A base de dados FMR engloba mais de 160 projetos de 14 financiadores, fornecendo informações detalhadas sobre o financiamento de projetos, ligações

planeadas e instrumentos de financiamento utilizados em 45 países, sobretudo em África e na Ásia. A base de dados MGA oferece informações de aproximadamente 1.100 projetos de mini-redes em 16 países, sobre aspetos que incluem escolhas tecnológicas, segmentação de clientes e estruturas de custos. Foram efetuadas comparações com outras bases de dados relevantes para garantir uma avaliação abrangente e variada das principais tendências no mercado das mini-redes.

TENDÊNCIAS DO MERCADO

Tendências gerais

Ao longo da última década, tem-se verificado à escala global uma tendência consistente e significativa para o aumento das instalações de mini-redes. Quando comparado com 2018, o número de instalações é agora mais de seis vezes superior. Este crescimento, particularmente significativo na África Subsariana, sublinha o crescente reconhecimento das mini-redes como uma solução viável para a eletrificação em áreas remotas.

Entre 2018 e 2024, registou-se um declínio significativo na quota de capacidade a gásóleo nas mini-redes, caindo de 42% para 29%. Esta redução resulta dos esforços globais para reduzir as emissões de carbono, do aumento dos custos operacionais associados ao gásóleo, bem como a diminuição dos custos de armazenamento de baterias. Pelo contrário, a quota de sistemas solares fotovoltaicos registou um aumento notável, passando de 14% para 59% durante o mesmo período. Este deve-se aos avanços na tecnologia solar, à acessibilidade económica, à possibilidade de *scale-up* e às políticas de apoio que incentivam a implementação da energia solar.

Tendências do entorno propício

Verifica-se um enfoque crescente no reforço da capacidade governamental e no estabelecimento de políticas claras que permitam a participação do setor privado. Os financiadores estão a incluir assistência técnica nos seus programas de mini-redes, e mais países adotaram quadros regulamentares abrangentes para as mini-redes em comparação com 2020, com a Nigéria, Angola, Etiópia, Quénia e Zâmbia a fazerem progressos notáveis. No entanto, continua a existir uma lacuna entre as regulamentações formais escritas e a sua implementação.

A integração do planeamento energético para além dos planos nacionais de eletrificação está a ganhar força. Apesar do aumento do número de planos nacionais de eletrificação desenvolvidos, faltam orientações detalhadas para a sua implementação. Para resolver este problema, estão a ser feitos esforços para expandir os quadros integrados de planeamento do acesso à energia para pôr estes planos em funcionamento, através de estratégias financeiras exequíveis para cada modalidade de eletrificação. Estão também a ser feitos esforços para integrar diferentes modos de eletrificação, combinando sistemas ligados à rede, mini-redes e sistemas autónomos, tirando partido de subsídios cruzados e de parcerias público-privadas.

Os processos reguladoras estão a ser adaptados a diferentes escalas de mini-redes para aumentar a flexibilidade e reduzir os custos. Os sistemas de pequena escala com menos de 100 kW estão frequentemente isentos de licenciamento e de aprovação de tarifas, permitindo aos operadores estabelecer tarifas em consulta com as comunidades, como se viu na Nigéria e na Índia. Esta abordagem dependente da capacidade equilibra baixos custos de desenvolvimento em mercados emergentes com uma maior proteção em mercados maduros, embora seja encarada com algum ceticismo pelo sector, devido ao risco que a ausência de qualquer licença formal e acordo de tarifas emitido pelo governo representa.

A regulamentação das mini-redes está a permitir cada vez mais a apresentação de candidaturas a carteiras de projetos e o prolongamento da duração das licenças, para melhorar a capacidade para gerar lucro. Os pedidos de portfólio minimizam os custos de transação e atraem financiadores privados ao permitirem negócios maiores, reduzindo os riscos e permitindo processos de licitação competitivos. Além disso, é essencial para a viabilidade do projeto garantir que as durações das autorizações e licenças estejam alinhadas com os acordos de financiamento, normalmente de 10 a 25 anos.

As tarifas de recuperação de custos, que utilizam uma fórmula baseada nos custos para calcular os requisitos de receitas, tornaram-se comuns nos mercados de mini-redes, incluindo países como a Etiópia, o Quênia, a Nigéria, a Tanzânia e a Zâmbia. À luz dos recentes desafios macroeconómicos, o foco está a mudar em direção a mecanismos de ajustamento eficientes que considerem a inflação e as flutuações cambiais para garantir a capacidade de gerar lucro no quadro tarifário, protegendo simultaneamente os clientes de mini-redes de encargos económicos excessivos.

Está a ser desenvolvida mais regulamentação sobre mini-redes para enfrentar o desafio da extensão da rede, mas a implementação destes regulamentos está muitas vezes atrasada, combinada com uma falta de clareza e detalhe suficientes no que respeita à avaliação da transferência de ativos.

Tem havido um impulso no sentido da standardização das abordagens políticas para garantir uma rápida expansão, mas são necessários mais progressos. Embora os quadros tenham de ser adaptados aos contextos nacionais, certas disposições, como a proteção dos investimentos e as metodologias de tarifas, podem basear-se em modelos. Apesar dos progressos registados, a standardização dos processos de diligência devida continua a ser um desafio.

Estão em curso esforços para simplificar e digitalizar os processos de candidatura a licenças e autorizações de mini-redes. Com a urgência de acelerar a eletrificação universal, as tecnologias digitais oferecem um processamento de dados automatizado, acelerando assim a implementação. Os parceiros de desenvolvimento estão a apoiar as entidades reguladoras e os ministérios na criação de balcões únicos para as candidaturas a mini-redes.

Os esforços para integrar as mini-redes na rede principal estão a ganhar força, com o objetivo de aumentar a resiliência do sistema elétrico e beneficiar tanto os consumidores como as empresas de serviços públicos e os operadores de mini-redes. Os quadros regulamentares desempenham um papel fundamental na garantia de uma integração sem descontinuidades, com as recomendações a sublinharem as configurações voluntárias e uma regulamentação ligeira.

Verifica-se uma mudança notável no sentido de uma maior colaboração entre os partes interessadas relevantes, abrangendo reguladores, doadores, entidades do setor privado e comunidades locais. O diálogo entre os partes interessadas é crucial, com destaque para a consulta precoce dos investidores, a fim de desenvolver regulamentos suscetíveis de serem financiados. No entanto, é necessário dar maior ênfase à colaboração nos processos de candidatura e de diligência devida entre os financiadores.

Inovações do modelo de negócio

A evolução dos modelos de negócio das mini-redes reflete uma passagem do mero fornecimento de eletricidade para a promoção da utilização produtiva da energia (UPE), muitas vezes com um âmbito alargado, como o fornecimento de aparelhos e o desenvolvimento de cadeias de valor de UPE, apoiando, em última análise, o desenvolvimento rural sustentável e o crescimento económico. Neste contexto, os financiadores estão a reconhecer cada vez mais a importância do financiamento de aparelhos para aumentar a UPE.

As empresas estão a aproveitar aplicações alternativas e de elevado valor para a energia excedente durante as fases iniciais das operações das mini-redes para aumentar as receitas e reduzir as tarifas. Um modelo inovador utiliza o excesso de eletricidade de mini-redes renováveis para a mineração de bitcoin de forma a gerar um fluxo de receitas estável, proporcionando uma procura e receitas previsíveis.

As redes em malha estão a ser cada vez mais consideradas como uma solução eficaz para eletrificar áreas com baixa densidade populacional. Ao contrário das mini-redes, que requerem áreas densamente povoadas, as redes em malha ligam casas próximas para partilhar energia, permitindo que o seu consumo seja combinado.

Para otimizar os custos, as empresas de mini-redes estão a formar cada vez mais parcerias e a operar em cadeias de valor verticalmente integradas. Esta integração, que engloba fases como a conceção técnica, a construção, as vendas e a operação e manutenção (O&M), permite economias de escala, margens de lucro mais elevadas e um melhor controlo da qualidade, levando a uma maior satisfação do cliente.

Tendências de financiamento

Apesar dos aumentos substanciais no financiamento do setor das mini-redes nos últimos 15 anos, continua a existir um significativo défice de financiamento. A África Subsariana tem sido a principal beneficiária de financiamento de investidores privados, governos e parceiros de desenvolvimento. São evidentes duas tendências principais: um aumento significativo do financiamento total autorizado, excedendo os 2,5 mil milhões de USD em 2023, e um aumento de seis vezes no investimento privado, de menos de 100 milhões de USD em 2015 para quase 600 milhões de USD em 2022. Globalmente, o financiamento total autorizado para os programas em curso ascende a mais de 3,1 mil milhões de dólares em 377 programas, com os países africanos a receberem a maior parte deste investimento. O financiamento por ligação é, em média, de 411 USD, variando consoante a região e o programa. As durações mais longas dos programas, normalmente associadas a assistência técnica e condições de

financiamento favoráveis, sublinham ainda mais o empenho dos financiadores na implementação sustentável de mini-redes.

Nos últimos anos registou-se um aumento significativo dos compromissos totais de financiamento, mantendo-se a taxa de desembolso na ordem dos 60%. No entanto, existe uma variação considerável nas taxas de implementação entre os financiadores. Entre os programas com dados disponíveis, 57% dos fundos autorizados foram desembolsados até Março de 2024, sublinhando a necessidade de uma melhor monitorização e estratégias para acelerar o desembolso de fundos.

Estão a ser concebidos mecanismos inovadores para reduzir o risco dos investimentos em mini-redes, abordando o elevado risco percebido e a flutuação da procura. O financiamento misto - combinando subsídios, capital próprio e dívida - tem sido fundamental para atrair investidores comerciais e de impacto, melhorando a sustentabilidade e a capacidade de financiamento dos projetos de mini-redes. Além disso, estão a ser desenvolvidas plataformas de financiamento de balcão único, que oferecem soluções financeiras abrangentes que incluem pré-financiamento, subsídios baseados em resultados e assistência técnica, para proporcionar a adaptabilidade necessária ao desenvolvimento de mini-redes.

A reformulação dos instrumentos de financiamento para resolver as ineficiências no desembolso está a tornar-se crucial para o avanço dos projetos de mini-redes em zonas de difícil acesso. Embora os subsídios e os esquemas de financiamento com base em resultados (FBR) continuem a ser vitais, muitas vezes estão associados a requisitos restritivos e prazos limitados, dificultando o desenvolvimento de projetos. Reconhecendo estes desafios, estão a ser feitos esforços para simplificar os processos e proporcionar estruturas de financiamento mais flexíveis. Soluções inovadoras como os empréstimos perdoáveis proporcionam financiamento pré-desenvolvimento, colmatando lacunas de financiamento cruciais e acelerando o início dos projetos.

Os financiadores estão cada vez mais a explorar garantias para mitigar o risco cambial nos investimentos em mini-redes. Estas garantias alinham os fluxos de receitas com os custos de financiamento, reduzindo o impacto das flutuações cambiais. No entanto, apesar da sua importância, o financiamento em moeda local continua a ser limitado, com apenas alguns financiadores a oferecerem estas opções.

O aproveitamento das opções de financiamento climático apresenta uma via promissora para reforçar os fluxos de receitas no setor das mini-redes. Mecanismos inovadores como os Créditos de Energia Renovável Distribuída (D-RECs) e os Créditos de Energia Renovável de Paz (P-RECs) estão a emergir como ferramentas eficazes para financiar projetos de mini-redes.

A procura de escala continua a ser uma estratégia importante para garantir a sustentabilidade financeira dos projetos de mini-redes. A agregação destes projetos, seja através do agrupamento de portfólios ou de plataformas de agregação, oferece aos promotores a oportunidade de capitalizarem economias de escala, tanto em termos de custos duros como de custos suaves.

Registaram-se progressos limitados no sentido da normalização dos mecanismos de informação e dos quadros de monitorização do impacto entre a comunidade de doadores e investidores, e é necessário mais apoio para as empresas de mini-redes em fase inicial,

especialmente as empresas locais, a fim de cumprir os rigorosos requisitos de diligência devida dos financiadores.

Tendências tecnológicas

A redução dos custos dos componentes das mini-redes, incluindo módulos fotovoltaicos, inversores, baterias, inversores de bateria e contadores inteligentes, aumentou significativamente a viabilidade financeira dos projetos de mini-redes. Nomeadamente, o preço dos painéis solares fotovoltaicos caiu cerca de 90% na última década, devido ao aumento da oferta e aos avanços tecnológicos. Apesar das perturbações de curto prazo causadas pela pandemia global de COVID-19 e das tensões geopolíticas, como a invasão da Ucrânia pela Rússia, o mercado fotovoltaico manteve a sua trajetória de descida dos preços.

Há uma prevalência crescente de baterias de íões de lítio, uma vez que o seu custo continua a diminuir. Em 2021, o custo médio das baterias de íões de lítio situava-se em cerca de 123 USD por kWh, significativamente inferior ao das baterias de chumbo-ácido, que variavam entre 200 e 220 USD por kWh. As previsões apontam para uma descida contínua dos custos das baterias de íões de lítio, podendo atingir 75 USD por kWh até 2030. As baterias de íões de lítio oferecem uma vida útil mais longa, uma maior eficiência e requisitos de manutenção reduzidos em comparação com as variantes de chumbo-ácido, embora fatores específicos do local possam influenciar as preferências dos promotores no sentido do chumbo-ácido em determinados casos, como as necessidades de energia mais baixas.

Soluções de software robustas estão a revolucionar o desenvolvimento de mini-redes em todas as fases do ciclo de vida do projeto, otimizando o planeamento, a origem do financiamento, a aquisição de equipamento e a devida diligência. Os avanços nas tecnologias de monitorização e controlo remotos facilitaram a gestão eficiente mesmo dos locais mais remotos, produzindo poupanças de custos substanciais estimadas em pelo menos 15% nas despesas de O&M. Além disso, surgiram soluções tecnológicas centralizadas para simplificar o processamento e a gestão de dados, permitindo que os promotores obtenham informações pormenorizadas e acompanhem os principais indicadores de desempenho da sua carteira.

Tendências económicas

O custo nivelado de energia (LCOE) tem vindo a diminuir em linha com as reduções de custos mais amplas observadas em todo o setor nos últimos anos. As análises revelam uma notável redução de 31% no LCOE, de 0,55 USD por kWh em 2018 para 0,38 USD por kWh em 2021, impulsionada principalmente pela diminuição dos custos dos componentes das mini-redes, particularmente da produção e armazenamento fotovoltaicos. No entanto, é essencial contextualizar os valores do LCOE, considerando fatores como os níveis de eletrificação e as condições específicas de cada país, que têm impacto nos cálculos financeiros e económicos do LCOE.

Tem havido uma trajetória descendente significativa nas despesas de capital nos últimos quatro anos. As despesas de capital médias por ligação à mini-rede caíram 43%, de USD 1.250 em 2020 para USD 707 em 2024. As despesas de capital por kWp mantiveram-se relativamente estáveis entre 2021 e 2024, oscilando em torno de USD 3.000 antes de cair para

aproximadamente USD 2.200 em 2024. Esta tendência descendente dos custos reflete os avanços da indústria em termos de tecnologia e eficiências de aquisição, bem como a escala das operações.

PERSPETIVAS DE MERCADO

Tendências do ambiente favorável

- **Planeamento energético integrado:** É provável que o setor passe de modalidades de eletrificação separadas para uma abordagem integrada, exemplificada por modelos como o Quadro de Distribuição Integrado, centrado na integração multifacetada de modos e setores de eletrificação.
- **Abordagens regulamentares à recuperação de custos:** O setor está a mudar para mecanismos flexíveis de recuperação de custos, tais como ajustamentos automáticos das tarifas, reconhecendo a importância da escala para atingir a viabilidade e permitindo pedidos de licenças e tarifas em portfólios.
- **Normalização das abordagens e instrumentos regulamentares:** É de esperar uma maior standardização dos aspetos regulamentares, como as metodologias de fixação de tarifas, apoiada em projetos estabelecidos e na colaboração entre as partes interessadas através de entidades como a AMDA.
- **Avaliação abrangente de ativos em caso de chegada da rede:** As metodologias de avaliação de ativos de mini-redes estão a evoluir, com regulamentos emergentes sobre o direito a compensação em cenários de chegada da rede, com o objetivo de encorajar o envolvimento do setor privado.
- **Mini-redes interligadas:** Será dada uma maior atenção à melhoria do acesso à energia através de mini-redes interligadas para fazer face à má qualidade do serviço.

Perspetivas do modelo de negócio

- **Modelos de negócio inovadores para a eletrificação no último quilómetro:** Os promotores estão a explorar abordagens inovadoras, como as redes em malha, para chegar a zonas com baixa densidade populacional, oferecendo poupanças de custos na distribuição e uma implementação rápida sem necessidade de aquisição de terrenos. No entanto, isto pode levar a que sejam escolhidos especificamente locais com potencial comercial, colocando desafios às políticas de subsídios.
- **Abordagem pró-ativa à UPE:** A UPE continuará a ser crucial, levando a uma mudança para modelos pró-ativos como as abordagens de aceleração do negócio e de fornecedor-comprador, exemplificadas por iniciativas que envolvem a oferta de educação, formação e desenvolvimento empresarial para micro, pequenas e médias empresas (MPMEs), com o objetivo de aumentar a rentabilidade das mini-redes ao mesmo tempo que capacita as comunidades.

Perspetivas tecnológicas

- **Agregação para garantir a viabilidade financeira das mini-redes:** As plataformas e fundos agregadores deverão tornar-se cada vez mais cruciais para permitir que as empresas mais pequenas beneficiem de economias de escala, assegurando equipamento e financiamento com desconto, de forma a aumentar a viabilidade financeira.
- **Colaboração intersectorial para a expansão do setor:** As parcerias no seio da comunidade de doadores e entre setores deverão ter como objetivo acabar com os silos, reunir recursos e incentivar a inovação, ao mesmo tempo que salientam o papel do financiamento climático na expansão do setor das mini-redes.

Perspetivas económicas

- **Maior redução do LCOE:** A modelização feita pelo Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) prevê reduções contínuas no LCOE para as melhores mini-redes da sua classe, devido às reduções de custos antecipadas em componentes como painéis solares e baterias de iões de lítio até 2030, impulsionadas pela escala da indústria e pelos avanços em setores associados, como parques solares e veículos elétricos.

RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

Áreas de ação para o sector público

- **Planos claros e atualizados de expansão da rede de distribuição** para mitigar o risco de invasão da rede.
- **Consideração das mini-redes interligadas** como uma potencial solução de menor custo.
- **O tratamento regulamentar das mini-redes como infraestruturas deve corresponder** à sua natureza de investimentos a longo prazo.
- **Mecanismos claros e eficazes de indexação das tarifas** para atenuar parcialmente os principais riscos, como a depreciação da moeda e a inflação.
- **Envolvimento precoce dos investidores no desenvolvimento do quadro regulamentar** para criar quadros suscetíveis de serem financiados e incentivar o investimento privado.
- **Reforço da colaboração entre as entidades reguladoras** a nível regional.

Áreas de ação para os financiadores

- **Melhoria da colaboração e partilha de dados** entre financiadores para poupar recursos aos doadores, investidores e promotores de mini-redes.
- **Abordagens direcionadas** para o desenvolvimento de mini-redes com base numa compreensão profunda do contexto local e na inclusão de intervenientes locais.
- **Acesso simplificado às subvenções e processos de candidatura normalizados** para melhorar a eficiência e reduzir os custos de financiamento para os promotores.
- **Prolongamento da duração dos programas dos doadores** para se alinharem com o prazo mais longo necessário para o desenvolvimento do setor das mini-redes e permitir que os promotores recuperem os custos de investimento.
- **Maior ênfase no financiamento das fases de crescimento**, que são frequentemente negligenciadas, para reduzir os tempos de aquisição de financiamento para expansões.
- **Relações duradouras entre financiadores e promotores**, facilitadas por reuniões regulares, para reforçar a confiança e a compreensão, conduzindo a um apoio financeiro contínuo.
- **Assistência técnica específica** aos governos para promover um ambiente propício e às empresas de mini-redes em fase inicial para facilitar o acesso a subvenções e melhorar as capacidades empresariais.

Áreas de ação para o setor privado

- **Agregação de sítios maiores e de maior risco com sítios mais pequenos e de maior risco** para obter economias de escala, garantir melhores condições comerciais e atenuar o risco cambial.
- **Construir casos mais sólidos com trajetórias de rentabilidade claras e métricas de impacto transparentes** para atrair investidores e destacar o compromisso do promotor com os ODS.
- **Priorização da PUE** não só para a capacitação económica, mas também para o desenvolvimento comunitário, por exemplo, através da eletrificação de instituições públicas.

Responsabilidades partilhadas

- **Redução da fragmentação do setor através da partilha de dados sobre a economia das mini-redes** para permitir que as partes interessadas identifiquem tendências e enfrentem desafios de forma mais eficiente e eficaz, promovendo assim a transparência, a responsabilização e um ambiente propício à inovação e ao investimento.
- **Maior eficiência no desembolso dos fundos** através de melhores processos e procedimentos entre os financiadores e de condições políticas e regulamentares favoráveis - incluindo acordos público-privados claros sobre tarifas - por parte do setor público.
- **Criação em colaboração de um quadro abrangente que permita o** desenvolvimento de mini-redes, que envolva regulamentação de apoio, instrumentos de financiamento adaptados e acesso a capital de longo prazo.
- **Adoção de uma perspetiva de longo prazo baseada na viabilidade comercial** para desenvolver projetos de mini-redes sustentáveis, o que implica ter um modelo comercial viável e acesso a financiamento misto, bem como reconhecer que os retornos são realizados durante um período prolongado e que a rentabilidade tem de ser equilibrada com objetivos de eletrificação mais amplos, não financeiros, e com os ODS.



CAPÍTULO UM

ANTECEDENTES E OBJETIVOS

Antecedentes

O desafio global da eletrificação, crucial para alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7, tem registrado tanto progressos como retrocessos. Em particular, o número de pessoas sem acesso à eletricidade diminuiu em 466 milhões entre 2010 e 2021, passando de 1,14 mil milhões para 675 milhões.¹ Este progresso pode ser atribuído a uma combinação de fatores, nos quais se incluem os avanços nas tecnologias de energias renováveis, o aumento do investimento em projetos de eletrificação e a cooperação internacional. No entanto, é importante notar que a maioria destas reduções ocorreu em regiões fora da África Subariana. Durante este período, a energia solar emergiu como um motor essencial da eletrificação em áreas remotas e rurais, devido à sua escalabilidade e ao custo decrescente da tecnologia. As mini-redes e os sistemas solares autônomos tornaram-se as abordagens de eletrificação para fornecer eletricidade a comunidades onde a extensão da rede tradicional não é economicamente viável. Além disso, os decisores políticos de todo o mundo deram prioridade ao acesso universal à eletricidade, o que resultou em iniciativas específicas para colmatar o déficit de acesso à energia.

¹ SEforALL. 2023. [Deep Dive Analysis: Tracking SDG7: The Energy Progress Report 2023](#).

No entanto, os recentes acontecimentos à escala global criaram novos desafios e exacerbaram os já existentes no caminho para a eletrificação universal. A pandemia de COVID-19 foi particularmente disruptiva, afetando as cadeias de abastecimento, aumentando o custo dos materiais e desviando a atenção e os recursos dos governos para crises sanitárias e económicas imediatas. Estas perturbações atrasaram ou paralisaram os projetos de eletrificação, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde os recursos são mais limitados. A pandemia também teve impacto nas condições financeiras de muitas famílias e empresas, reduzindo assim a sua capacidade de pagar a eletricidade. Esta situação, por sua vez, afetou negativamente as receitas das empresas de energia, pondo em risco a sua viabilidade financeira. A invasão da Ucrânia pela Rússia no início de 2022 complicou ainda mais o panorama global da eletrificação. Este conflito levou a maiores desafios logísticos e aumentou o custo do capital. A perturbação dos mercados da energia, especialmente na Europa, teve repercussões a nível mundial, afetando tanto a disponibilidade como o custo dos recursos energéticos. Além disso, o conflito contribuiu para uma redefinição das prioridades globais, com muitos países a focarem-se na segurança energética, potencialmente desviando a atenção e os recursos dos esforços de acesso à energia nos países em desenvolvimento. O panorama da eletrificação em África foi ainda afetado pelo aumento da agitação civil na região, com as empresas a enfrentarem perturbações nas cadeias de abastecimento, o aumento dos custos dos seguros e ameaças à segurança dos trabalhadores.² Esta situação, juntamente com a inflação elevada e o consequente paradigma marcado pela manutenção de taxas de juro elevadas, tornou inexecutáveis projetos que anteriormente teriam sido viáveis.

As consequências destes retrocessos são multifacetadas. Embora ameacem abrandar o ritmo da eletrificação e possam mesmo inverter os ganhos em algumas áreas, também oferecem uma oportunidade para desenvolver abordagens inovadoras para o financiamento, fornecimento e implementação de tecnologias de mini-redes. De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (AIE), o número de pessoas em todo o mundo que vivem sem eletricidade aumentou em 2022,³ traduzindo-se no primeiro aumento global desde que a AIE começou a acompanhar os números há 20 anos. O aumento verifica-se sobretudo na África Subsariana, onde o total de pessoas sem acesso à eletricidade está quase a atingir o pico de 2013. A longo prazo, estes desafios sublinham a importância da inovação contínua nos métodos de eletrificação, especialmente nos que são sustentáveis e menos dependentes das cadeias de abastecimento globais. Há também um reconhecimento crescente da necessidade de encontrar mecanismos de financiamento mais flexíveis para apoiar a eletrificação, sobretudo devido às incertezas económicas globais. No entanto, embora a pandemia tenha apresentado desafios sem precedentes, também se tornou um catalisador para respostas políticas inovadoras destinadas a minimizar os impactos no acesso, na qualidade e na acessibilidade da eletricidade.⁴

De acordo com um novo modelo presente no inquérito sobre Indicadores Regulamentares para a Energia Sustentável de 2022 (do original, "Regulatory Indicators for Sustainable Energy" - RISE), que se centra nas políticas de acesso à eletricidade durante a pandemia, muitos países incorporaram medidas específicas nos seus pacotes de recuperação da COVID-19 para apoiar

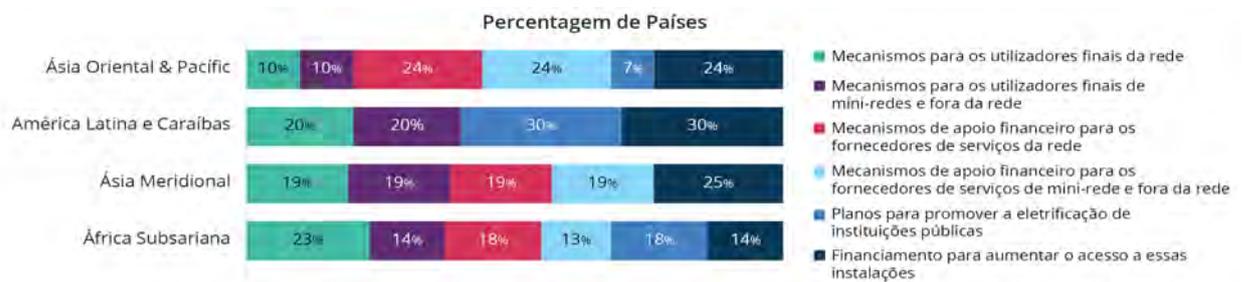
² Maplecroft. 2023. [Civil unrest in Africa hits 6-year high](#)

³ IEA. 2023. [Access to electricity improves slightly in 2023, but still far from the pace needed to meet SDG7.](#)

⁴ Entrevista na Universidade do Estado do Arizona.

o setor7 da eletricidade, como se verifica na Figura 1.1 abaixo.⁵ Cerca de 41% dos países inquiridos implementaram mecanismos para apoiar os utilizadores finais, enquanto 39% forneceram assistência financeira aos prestadores de serviços. Além disso, 44% dos países tomaram medidas para apoiar a eletrificação de instituições públicas. Estes esforços foram cruciais para manter o esforço de alcançar o acesso universal à eletricidade. Em particular, o *Global Indicators Briefs 2022* do Banco Mundial destacou que as empresas de eletricidade continuaram a estabelecer novas ligações elétricas durante a pandemia, demonstrando resiliência e adaptabilidade.⁶ As empresas de mini-redes, reconhecidas como "serviços essenciais" em muitos países, desempenharam um papel fundamental na garantia da continuidade do serviço, mesmo durante os períodos de confinamento.

Figura 1.1 Apoio político para as mini-redes durante a COVID-19



Fonte: ESMAP. 2022. Indicadores Regulatórios para a Energia Sustentável (RISE).

As mini-redes desempenham um papel crucial nos esforços de eletrificação. As mini-redes surgiram como uma solução fundamental para colmatar o déficit global de acesso à eletricidade, particularmente em áreas onde a extensão da rede principal não é viável ou rentável. Isto é também válido em países onde os esforços de eletrificação permitiram alcançar em quase 100 por cento o acesso à eletricidade. As mini-redes são essenciais para alcançar o “quilómetro final” em locais remotos e de difícil acesso, como regiões insulares, e para resolver o problema da má qualidade do abastecimento em lugares com redes fracas. Estes sistemas descentralizados oferecem uma abordagem versátil à eletrificação. Em regiões onde a rede principal não é confiável, as mini-redes oferecem uma alternativa mais fiável. São também frequentemente a opção de eletrificação mais económica em zonas rurais e remotas, onde reside mais de 80% da população mundial sem acesso a eletricidade.⁷ O potencial das mini-redes é ainda realçado pela sua capacidade de rápida adaptação às inovações do mercado, tanto do ponto de vista tecnológico como nos modelos de negócio, e pelo seu alinhamento com as exigências da rede do futuro. Além disso, as mini-redes podem ser instaladas numa abordagem faseada, aumentando a capacidade de produção e a disponibilidade em função do crescimento da procura, apoiando assim eficazmente as atividades geradoras de rendimentos. Esta adaptabilidade é crucial para ligar os cerca de 660 milhões de pessoas que necessitam de acesso à eletricidade até 2030 para alcançar o ODS 7.⁸

⁵ ESMAP. 2022. [Regulatory Indicators for Sustainable Energy](#).

⁶ ESMAP. 2022. [Regulatory Indicators for Sustainable Energy](#).

⁷ ESMAP. 2023. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

⁸ ESMAP. 2023. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#)

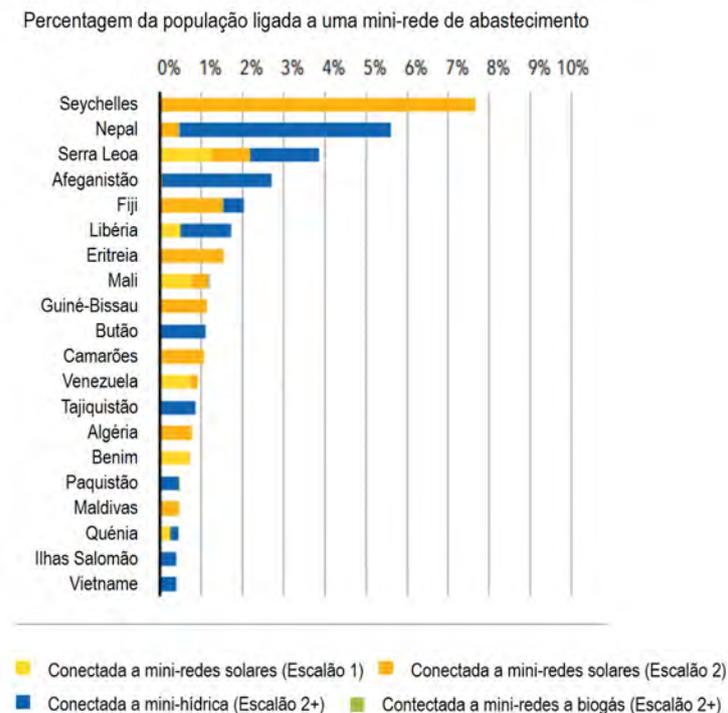
Figura 1.2 O papel atual das mini-redes



Fontes: AIE et al. 2023. [Tracking SDG7. The energy progress report 2023](#); ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

O acesso às mini-redes continua a aumentar, impulsionado pelo apoio dos decisores políticos, dos investidores privados e dos consumidores. As mini-redes surgiram como uma solução de eletrificação para as zonas rurais, juntamente com a extensão da rede e os sistemas autónomos, para fornecer eletricidade confiável a comunidades remotas ou afetadas por frequentes interrupções no acesso à energia. Dos 20 países com maior acesso a mini-redes de eletricidade, quase metade situa-se na África Subariana. As Seychelles e o Nepal estão a fornecer eletricidade de mini-rede a mais de 5% das suas populações.

Figura 1.3 Percentagem da população ligada a uma mini-rede de abastecimento



Fonte: ESMAP. 2023. [Tracking SDG7](#)

Objetivos

Este relatório sobre o Estado do Mercado visa aumentar a consciencialização acerca das mini-redes, mobilizar o investimento no setor das mini-redes e servir de referência que os decisores possam medir o progresso do setor. O relatório fornece as últimas atualizações sobre o mercado global de mini-redes e destaca as principais tendências do setor que, em conjunto, podem constituir a fonte de informação crucial para partes interessadas. Este relatório sobre o Estado do Mercado das mini-redes vai além dos estudos existentes acerca desta matéria, distinguindo-se pela sua por recorrer a uma metodologia de *bottom-up*.

O relatório não só reúne o estado atual do mercado das mini-redes, como propõe uma estratégia prospetiva para a sua expansão sustentável. Sintetiza os resultados de entrevistas extensas realizadas a cerca de 25 intervenientes e uma revisão de mais de 100 estudos e avaliações. Apresenta uma perspetiva holística e bem informada sobre o setor das mini-redes e funciona ainda como um guia para o desenvolvimento estratégico e crescimento sustentável do setor. Ao combinar dados, opiniões de especialistas e uma abordagem visionária, este relatório pretende ser uma ferramenta essencial para decisores, financiadores e especialistas no terreno empenhados em atingir o objetivo de acesso universal a eletricidade a preços acessíveis, garantindo que ninguém é deixado para trás.





CAPÍTULO DOIS

TENDÊNCIAS DO MERCADO DAS MINI-REDES

Juntamente com as entrevistas a partes interessadas, foram analisadas as seguintes bases de dados para compreender as principais tendências no mercado das mini-redes:

- A base de dados dos Financiadores de mini-redes (FMR)
- A base de dados dos Ativos de mini-redes (AMR).

A **base de dados dos FMR** abrange mais de 160 projetos de 14 financiadores do grupo FMR (de agora em diante, seguindo o original, MGF), em mais de 45 países, principalmente em África e na Ásia.⁹ Estes projetos representam 2,4 mil milhões de dólares de financiamento autorizado, dos quais 260 milhões de dólares foram utilizados até à data. Os dados comunicados incluem variáveis como a duração do programa, o tipo de instrumentos de financiamento utilizados, o total de ligações planeadas e o total de financiamento autorizado e desembolsado.

Sempre que possível, foram incluídos na análise os dados fornecidos pelo Banco Mundial sobre "acordos de investimento" relativos a 217 projetos, com um total de fundos autorizados de 700

⁹ O Grupo MGF foi inicialmente formado em 2017 e atualmente inclui aproximadamente 30 financiadores e financiadores do setor que colaboram e trocam ideias. A liderança do Grupo é garantida pelo Banco Mundial, o Banco Africano de Desenvolvimento (BAD) e o FCDO do Reino Unido, com o Carbon Trust a atuar como secretariado. A recolha de dados para esta base de dados teve lugar entre dezembro de 2023 e abril de 2024.

milhões de dólares, assegurando que não há duplicação entre as bases de dados. O quadro 2.1 apresenta uma visão geral destes dados por região. Quadro 2.1. A metodologia pormenorizada de recolha de dados é apresentada no Anexo A4.

Tabela 2.1 Visão geral das bases de dados dos fluxos de financiamento

REGIÃO	NÚMERO DE PROJETOS	FINANCIAMENTO TOTAL AUTORIZADO (MILHÕES DE USD)
Dados da base de dados do FGM		
Mundial	10	197
África	142	2,119
Ásia	8	94
Total	160	2,410
Dados fornecidos pelo Banco Mundial		
África	151	437
Mundial	50	185
América Latina e Caraíbas	4	15
Ásia (Centro-Sul)	12	71
Total	217	708
Total geral	377	3,118

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM e em dados fornecidos pelo Banco Mundial.

A **base de dados FMR** inclui dados atualizados de aproximadamente 1.100 projetos de mini-redes atualmente em funcionamento em 16 países. A base de dados da MGA foi comparada com outras bases de dados, como a desenvolvida para o relatório 2020 *State of the Global Mini-Grids Market*¹⁰ e o estudo 2022 *Benchmarking Africa's Minigrids*¹¹ da Associação Africana de Promotores de Mini-Redes (*Africa Mini-Grid Developers Association - AMDA*), para obter informações sobre tendências.

Tabela 2.2 Visão geral da base de dados FMR

PAÍS	NÚMERO DE MINI-REDES	CAPACIDADE TOTAL INSTALADA (MW)	DIMENSÃO MÉDIA (KW)
 MADAGÁSCAR	357	20	55
 ÍNDIA	280	n/a	n/a
 NIGÉRIA	117	14	143

¹⁰ SEforALL. 2020. *State of the Global Mini-Grids Market Report*.

¹¹ AMDA. 2022. *Benchmarking Africa's Minigrids Report*.

PAÍS	NÚMERO DE MINI-REDES	CAPACIDADE TOTAL INSTALADA (MW)	DIMENSÃO MÉDIA (KW)
 BENIM	108	14	132
 ZÂMBIA	72	5	73
 SERRA LEOA	71	7	92
 QUÊNIA	36	4	111
OUTROS PAÍSES	56	11	202
Total	1,097	75	

Notas: kW significa quilowatt; MW significa megawatt.
Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados MGA.

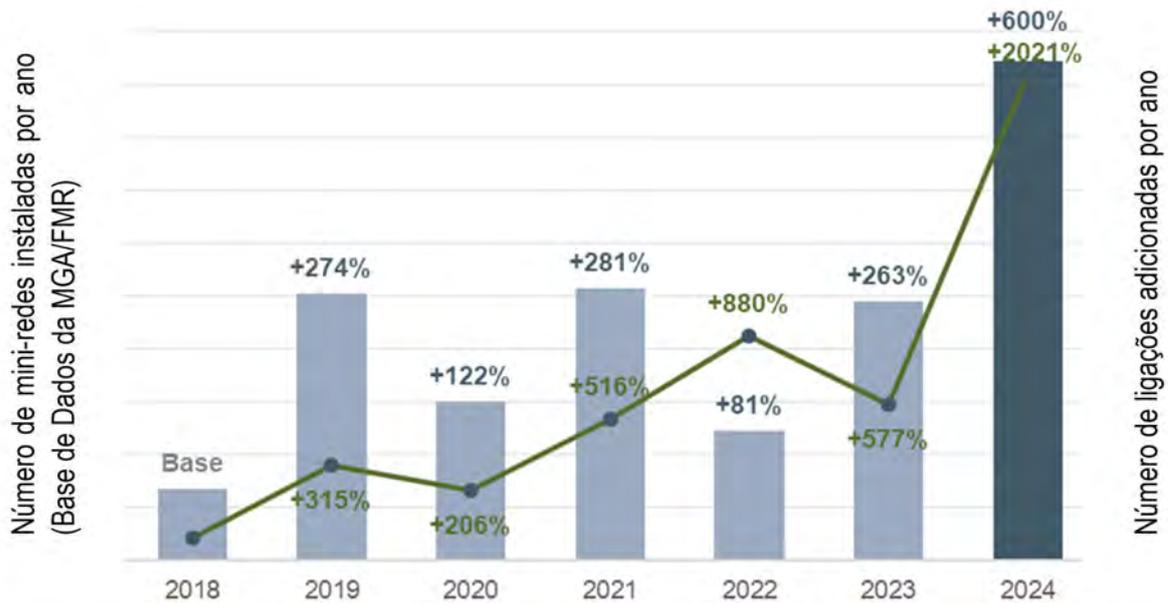
Tendências gerais do mercado

Os dados apresentam uma narrativa convincente do crescimento no setor das mini-redes. Ao longo da última década, registou-se uma tendência consistente e notável para o aumento das instalações de mini-redes a nível global. Este aumento indica o claro reconhecimento crescente das mini-redes como uma solução viável para a eletrificação, especialmente em zonas remotas e mal servidas. As projeções baseadas na base de dados da FMR sugerem que as instalações de mini-redes em 2024 serão cerca de seis vezes superiores às de 2018. Só na África Subsariana, o número de ligações instaladas quase duplicou entre 2019 e 2021, passando de 40 700 em dezembro em 2019 para mais de 78 000 em dezembro de 2021, apesar dos desafios colocados pela pandemia da COVID-19. Embora parte deste aumento derive da implementação de projetos que foram interrompidos durante as fases iniciais da pandemia e os pacotes de apoio oferecidos durante este período, também releva a dinâmica de crescimento do setor.¹² Os avanços tecnológicos e a diminuição dos custos das fontes de energia renováveis, tal como referido na secção 2.5 contribuíram para este crescimento substancial. Além disso, o desenvolvimento de políticas de apoio e de quadros regulamentares em alguns países, incluindo na Nigéria e Serra Leoa, desempenharam um papel crucial na facilitação desta expansão.

Este crescimento consistente do setor das mini-redes não é apenas um testemunho dos sucessos anteriores do setor, mas também um reflexo de que estão a ser alcançados modelos viáveis, com potencial de investimento e politicamente aceitáveis pelo menos em alguns países.

¹² Estes dados foram recolhidos junto dos membros da AMDA e representam apenas a África Subsariana.

Figura 2.1 Mini-redes instaladas e ligações adicionadas, 2018-2024, e crescimento em relação ao ano de referência (2018)

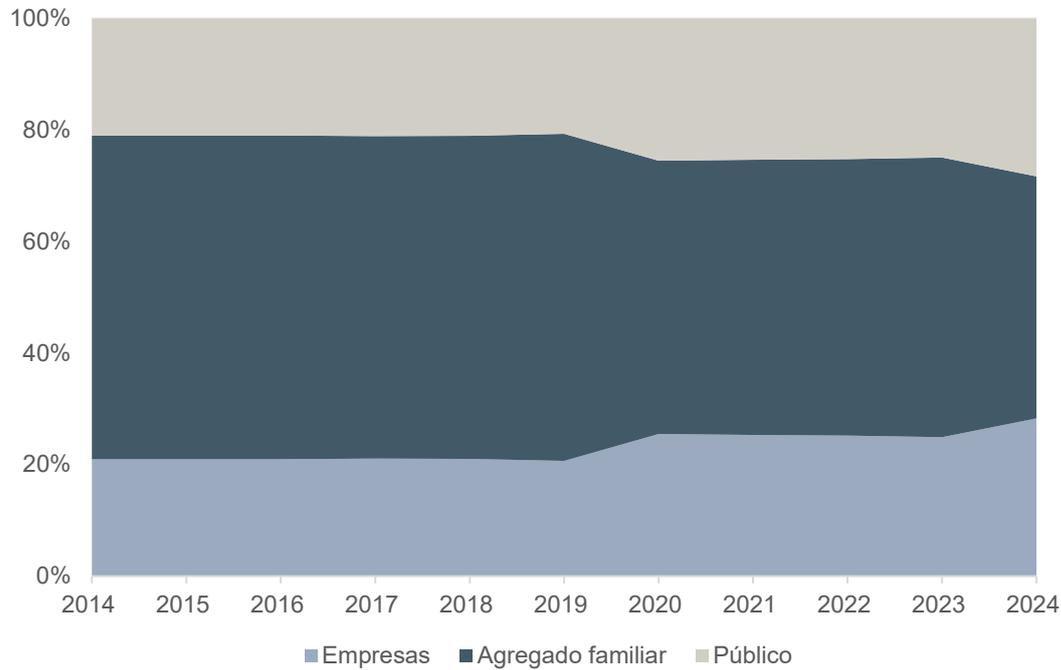


Nota: Inclui apenas os projetos em que foi indicado o ano de entrada em funcionamento.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados FMR.

Ao longo da última década, o setor das mini-redes exibiu um padrão estável de composição de clientes, compreendendo principalmente agregados familiares, com os clientes empresariais a representarem consistentemente cerca de 15 por cento do total de ligações. No entanto, está prevista uma mudança notável nos projetos planejados para 2024, já que se espera que a proporção de clientes empresariais aumente para 27 por cento. Esta mudança visa aumentar a utilização do sistema e melhorar a viabilidade financeira destes projetos através da incorporação de mais atividades geradoras de rendimentos. As instituições públicas representam apenas 2 por cento do total de ligações; combinadas com as empresas, constituem aproximadamente 17 por cento do total de ligações, mas em conjunto são responsáveis por mais de 50 por cento do consumo total de eletricidade (Figura 2.2). As instituições públicas têm normalmente um consumo de energia mais elevado do que os agregados familiares, embora sofram frequentemente dificuldades em pagar as suas contas de eletricidade, o que representa um risco de não pagamento que pode afetar negativamente os fluxos de caixa dos promotores. Garantir a eletrificação contínua das instituições públicas é crucial não só para a reputação dos promotores, mas também para promover o crescimento e o bem-estar da comunidade.

Figura 2.2 Percentagem do consumo total de energia das mini-redes por tipo de consumidor, 2014-2024



Nota: Inclui dados de 340 mini-redes com uma capacidade total instalada de 44 MW.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados da MGA.

Entre 2014 e 2024, a percentagem acumulada de gásóleo na capacidade total instalada de mini-redes diminuiu drasticamente, passando de 42% em 2018 para 29% em 2024.

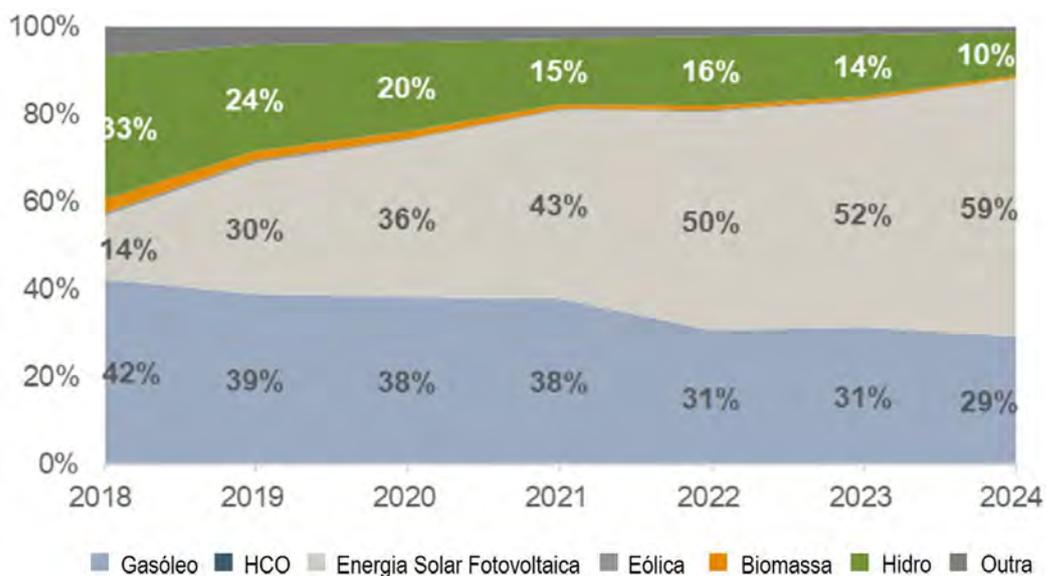
Ainda que em termos absolutos a capacidade de gásóleo adicionada a cada ano entre 2019 e 2024 tenha vindo a aumentar, este crescimento foi largamente ultrapassado pelo aumento da capacidade solar fotovoltaica nas mini-redes. Consequentemente, a quota do gásóleo na capacidade das mini-redes diminuiu. Este declínio pode ser atribuído a vários fatores interligados. Em primeiro lugar, a crescente consciencialização global para as emissões de carbono e o compromisso de as reduzir levaram a um afastamento gradual dos combustíveis fósseis, incluindo o gásóleo, a favor de fontes de energia mais sustentáveis. Além disso, os custos operacionais associados ao gásóleo, incluindo o combustível e a manutenção, tornaram-no progressivamente uma opção economicamente menos viável, especialmente face à flutuação dos preços do petróleo e ao facto de os países estarem a abandonar os subsídios aos combustíveis. Por último, a redução dos custos de armazenamento das baterias também desempenhou um papel significativo na diminuição da utilização do gásóleo, uma vez que uma maior capacidade de armazenamento das baterias se traduz numa menor dependência do gásóleo.

Inversamente e sem surpresas, a quota acumulada de sistemas solares fotovoltaicos em mini-redes registou um aumento significativo, crescendo de 14% em 2018 para 59% em 2024 (Figura 2.3).

Este aumento pode ser largamente atribuído aos rápidos avanços na tecnologia solar, que reduziram significativamente o custo dos painéis solares fotovoltaicos, tornando a energia solar mais acessível e económica. Além disso, a escalabilidade da energia solar fotovoltaica torna-a uma solução ideal para a eletrificação fora da rede. Os benefícios

ambientais da energia solar, juntamente com o seu custo decrescente, tornaram-na uma opção cada vez mais atrativa para os promotores de mini-redes. Adicionalmente, à medida que as soluções de armazenamento, como as baterias, se tornam mais económicas e eficientes, atenuam um dos principais desafios da energia solar - a sua intermitência. Esta combinação de produção permite um fornecimento de energia mais confiável e consistente, aumentando a viabilidade das mini-redes alimentadas a energia solar. As políticas também desempenharam um papel crucial no incentivo à implementação de soluções de energia solar, ao mesmo tempo que desincentivaram a utilização de gásóleo. Os governos e os organismos reguladores introduziram subsídios, incentivos fiscais e tarifas favoráveis para encorajar o investimento em energia solar. Paralelamente, implementaram normas de emissões mais rigorosas e impostos mais elevados sobre o gásóleo, tornando-o uma opção menos atrativa.

Figura 2.3 Percentagem acumulada da capacidade instalada por tipo de combustível, 2018-2024



Nota: HFO significa fuelóleo pesado.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados MGA.

Tendências de um ambiente favorável

Os riscos políticos e regulamentares são fatores importantes que atrasam os fluxos de investimento no setor. A existência de um quadro político e regulamentar favorável, que tenha um papel claro para as mini-redes na concretização dos objetivos de eletrificação de um país, é necessária para dar confiança aos investidores, assim como disposições vinculativas relativas a aspetos fundamentais como a fixação de tarifas e a chegada à rede. A reduzida percepção de risco encoraja estes investidores a comprometerem-se com o financiamento e pode, em última análise, baixar o custo do seu capital, o que, por sua vez, pode resultar em tarifas mais baixas para os utilizadores finais das mini-redes. As principais características favoráveis estão resumidas na Figura 2.4 abaixo e são analisadas nas secções seguintes.

Figura 2.4 Resumo das tendências ambientais favoráveis



Maior ênfase no reforço da capacidade governamental e no estabelecimento de políticas claras para permitir a participação do setor privado

O êxito dos programas de mini-redes está intrinsecamente ligado a decisões políticas. O papel do setor privado e dos fatores que determinam a viabilidade dos projetos de mini-redes para investimento e operação privados, tais como tarifas e acordos de interligação da rede, são em grande medida moldados pelo ambiente político. A política de mini-redes, que emerge de um conjunto complexo de relações entre os partes interessadas relevantes de um país, pode catalisar ou travar o desenvolvimento de programas de mini-redes. Quando um governo demonstra estar fortemente empenhado, abre caminho para uma implementação bem-sucedida de iniciativas de mini-redes. Por exemplo, o Ministério das Obras Públicas do Haiti criou uma unidade especial, a Célula de Energia, para a implementação de um programa nacional de mini-redes, o que demonstra o empenho do governo na eletrificação através de

mini-redes.¹³ Reconhecendo a necessidade de um forte apoio governamental e de políticas claras, o Programa de Aceleração de Mini-redes em África (*Africa Mini-Grids Acceleration Programme* - AMAP) do BAD visa facilitar a adesão do governo para incentivar o desenvolvimento de mini-redes liderado pelo setor privado. O Programa de Mini-redes em África do PNUD também se centra no reforço da vontade política através do diálogo nacional sobre modelos de fornecimento de mini-redes com partes interessadas relevantes, de forma a criar consenso e abordar tópicos pertinentes que impedem a expansão das mini-redes. No entanto, nem todas as decisões políticas são positivas. Por exemplo, em julho de 2020, quatro meses antes das eleições presidenciais da Tanzânia, a Agência Reguladora dos Serviços Públicos de Energia e Água, sob instruções do Ministro da Energia, emitiu uma diretiva concisa que alterou significativamente o método de fixação de tarifas previamente aprovado pela agência nos seus regulamentos de 2019.¹⁴

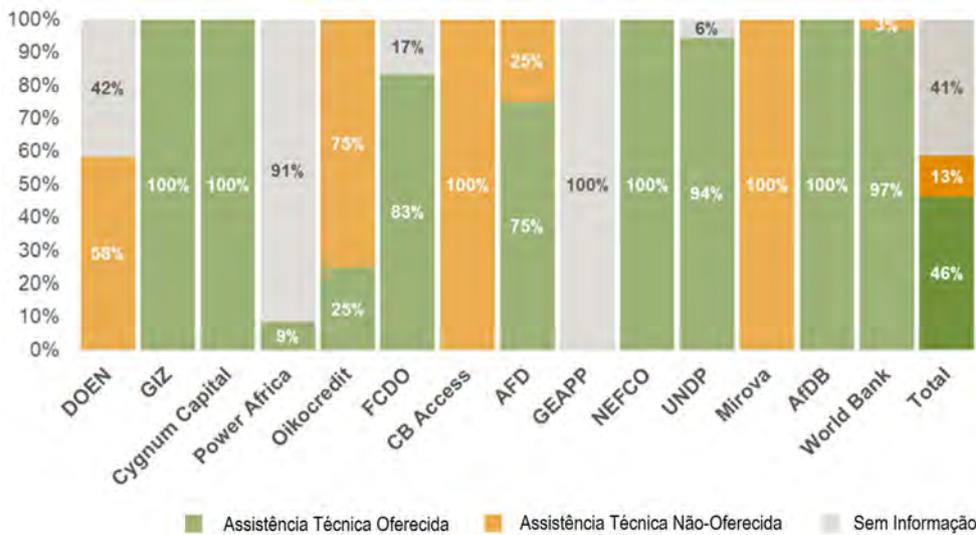
Além disso, a falta de capacidade dos governos e das autoridades públicas tem muitas vezes abrandado o ritmo de desenvolvimento das mini-redes, um fator que tem profundas implicações para o crescimento do mercado das mini-redes, dado que uma parte significativa dos projetos de mini-redes está estruturada em parcerias público-privadas (PPP). Este envolvimento deriva do facto de o financiamento de subvenções fluir frequentemente para o setor público, que depois assume responsabilidades fundamentais nos contratos de PPP. Vários intervenientes públicos, incluindo os ministérios da energia e das finanças, agências de eletrificação rural, unidades de PPP e empresas de serviços públicos, são fundamentais nas fases de negociação, aquisição e diligência devida dos projetos de mini-redes, mas poderão também estar diretamente envolvidos na implementação e operação das mini-redes. Por exemplo, nos Camarões, a Agência de Eletrificação Rural opera mais de 200 mini-redes, enquanto na Etiópia, a Empresa de Eletricidade etíope está a desenvolver mais de 100 mini-redes no âmbito do projeto Acesso à Eletricidade Distribuída e Iluminação na Etiópia (ADELE) e já opera mais de 30 mini-redes. As lacunas na capacidade e experiência destas entidades públicas foram por vezes mitigadas através da incorporação de peritos diretamente nos organismos governamentais para prestar apoio e simplificar processos como parte dos programas de mini-redes apoiados por doadores. No entanto, existe uma necessidade premente de que o reforço de capacidades se torne parte integrante dos programas de assistência técnica dirigidos ao setor público. Isto torna-se ainda mais crucial nos casos de interligação, em que o papel das empresas de serviços públicos é central na gestão dos aspetos técnicos e operacionais da integração das mini-redes na rede principal, bem como na operação e manutenção (O&M) sustentáveis das mini-redes.

Reconhecendo a necessidade de tal apoio, a maioria dos financiadores incluídos na base de dados do FMR incorporou a assistência técnica na maioria dos seus programas. A figura 2.5 mostra que oito dos 14 financiadores da base de dados prestam assistência técnica a mais de 50 por cento dos seus programas, o que se reflete na percentagem total de programas com assistência técnica, que excede largamente a percentagem de programas sem essa assistência.

¹³ ESMAP. 2022. *Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers*.

¹⁴ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen e Ashish Shrestha. 2024. *Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India*.

Figura 2.5 Percentagem de programas de mini-redes que oferecem assistência técnica, por financiador



Notas: AFD significa Agência Francesa de Desenvolvimento; CB Access significa Acesso Transfronteiriço; DOEN significa DOEN Foundation; GEAPP significa Global Alliance for People and Planet; NEFCO significa Nordic Environment Finance Corporation.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

Os esforços para melhorar os quadros de apoio às mini-redes têm vindo a aumentar entre os países com as maiores populações com défice de acesso, com a Nigéria, Angola, Etiópia, Quênia e Zâmbia a fazerem progressos notáveis e a alcançarem a zona verde nos Indicadores Regulamentares para a Energia Sustentável (RISE) 2022 do ESMAP.¹⁵ Na verdade, em dezembro de 2020, a Autoridade do Petróleo e da Energia da Etiópia aprovou uma nova diretiva relativa às mini-redes, o que constitui um passo fundamental no estabelecimento de um processo de revisão regulamentar simplificado para promover um ambiente propício ao investimento do setor privado em mini-redes; com efeito, desde a introdução da diretiva relativa às mini-redes, a Etiópia registou um aumento dos pedidos de licenças.¹⁶ No entanto, são necessários mais progressos para colmatar o desfasamento entre a introdução de tais instrumentos regulamentares e a falta de um verdadeiro alinhamento político entre partes interessadas. Por outras palavras, **existe frequentemente um desfasamento entre os regulamentos formais escritos, nos quais se baseiam as pontuações RISE, e a sua implementação.**¹⁷ Outro caso em questão é a Tanzânia, que recebeu uma pontuação elevada pelo seu quadro regulamentar e político para as mini-redes no RISE 2020. No entanto, como explicado acima, a implementação deste quadro foi afetada pela diretiva emitida pelo regulador em julho de 2020, sob ordens do Ministro da energia.

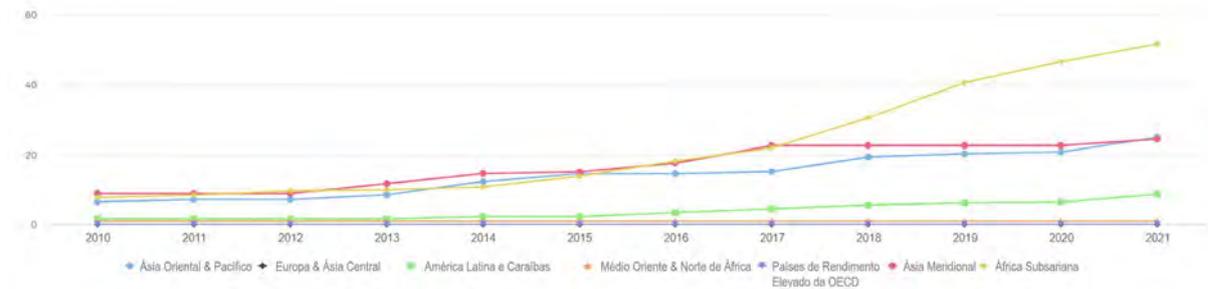
¹⁵ As pontuações RISE do ESMAP, numa escala de 0-100, podem ser utilizadas para comparar 140 economias que representam atualmente 98% da população mundial. Utilizam um sistema de semáforos, onde a cor verde corresponde ao terço mais elevado das pontuações (67-100), indicando um ambiente político e regulamentar relativamente maduro.

¹⁶ National Association of Regulatory Utility Commissioners. 2021. [Ethiopian Regulator Approves Groundbreaking Mini-Grid Directive, Improves Licensing Process, Paving the Way for Increased Electrification](#)

¹⁷ Foster, Vivien and Anshul Rana. 2020. [Rethinking Power Sector Reform in Developing Countries](#).

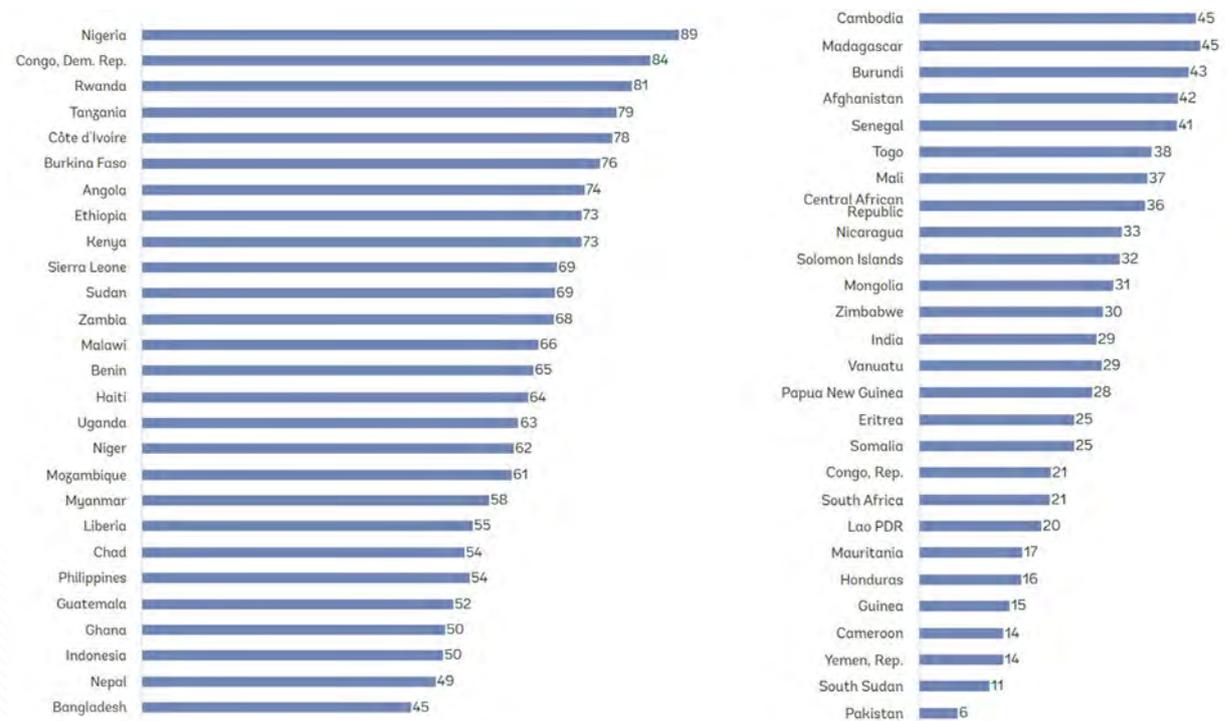
Em geral, registou-se um declínio significativo no número de países onde o quadro político e regulamentar das mini-redes se encontra numa fase inicial. A Figura 2.6 abaixo mostra a evolução das pontuações RISE para enquadramentos de mini-redes ao longo do tempo, destacando a melhoria significativa da África Subsariana desde 2017. A Figura 2.7 mostra as pontuações RISE por país, com os países da África Subsariana a terem as melhores pontuações.

Figura 2.6 Evolução das pontuações RISE para enquadramentos de mini-redes por região, 2010-2021



Fonte: ESMAP. 2024. RISE.

Figura 2.7 Pontuações RISE para enquadramentos de mini-redes por país, 2021



Fonte: ESMAP. 2024. RISE.

Ir além da integração das mini-redes nos planos nacionais de eletrificação

O papel das mini-redes no alcance do acesso universal até 2030 foi estabelecido e reflete-se na sua integração nos planos nacionais de eletrificação (PNE), bem como em documentos políticos que definem metas para cada modo de eletrificação (extensão da rede, mini-redes e sistemas autônomos), juntamente com acordos de interligação. No entanto, para dar segurança aos investidores e aumentar a implementação de mini-redes, os decisores políticos **necessitam de assegurar não só que as mini-redes são integradas nos PNEs, mas também que os próprios PNEs integram planos realistas e atualizados de expansão da rede das empresas de distribuição**. Isto é particularmente crucial quando um país tem várias empresas de distribuição, uma vez que um promotor interessado poderá ter pouca clareza relativamente aos seus planos de expansão. A integração destes planos no PNE pode reduzir os custos de transação associados à sua solicitação à entidade reguladora ou às empresas de distribuição e proporcionar segurança aos promotores relativamente a potenciais áreas de desenvolvimento de mini-redes.

Por outro lado, embora o número de PNEs que estão a ser desenvolvidos no setor tenha aumentado significativamente, faltam orientações sobre os passos necessários para a sua implementação. Vários países desenvolveram PNEs que fornecem normalmente algumas orientações de alto nível sobre os objetivos de eletrificação a curto e longo prazo, sem entrar em detalhe sobre como esses objetivos serão alcançados. É, assim, urgente ir além do primeiro passo da modelação geoespacial do acesso à energia. Neste contexto, a SEforALL está a apoiar o desenvolvimento de quadros alargados de planeamento integrado do acesso à energia. Estes Quadros de Planeamento Energético Integrado pretendem operacionalizar os PNEs baseados em dados, desenvolvendo planos financeiros exequíveis para cada modalidade de eletrificação, apoiando a criação de quadros institucionais e regulamentares adequados e reforçando as capacidades a nível nacional e subnacional.¹⁸ Este quadro alargado deverá também fornecer dados e informações adicionais para o setor das mini-redes ao nível do local, acrescentando mais nuances aos locais tradicionalmente identificados como a opção de menor custo para a eletrificação através de mini-redes.

É possível verificar esforços para integrar os diferentes modos de eletrificação numa mesma área. Os decisores políticos e os reguladores estão a propor o conceito de um Quadro de Distribuição Integrado (apresentado na Caixa 2.1), que considera a possibilidade de os concessionários serem responsáveis pela distribuição numa área e garantirem o acesso universal, tirando partido dos três modos de eletrificação. Por exemplo, a Engie Energy Access propôs uma abordagem multi-tecnológica,¹⁹ segundo a qual a energia é fornecida à comunidade com base na densidade e no custo do consumo de energia: os sistemas solares domésticos são tipicamente adequados para áreas de baixa densidade com níveis mais baixos de desenvolvimento económico, enquanto as mini-redes são adequadas para comunidades

¹⁸ Com base nas informações fornecidas ao consultor pela SEforALL.

¹⁹ Engie Energy Access. 2024. [Towards Universal Access to Energy: Enabling a Multi-Technology Approach in a Mini-Grid Environment](#).

com maior disponibilidade e capacidade de pagamento. Esta abordagem exige que se repense cada passo do desenvolvimento de mini-redes, incluindo:

- **Planeamento:** realização de uma avaliação da viabilidade do modelo de negócio para a seleção do local que inclui diversos tipos de tecnologia.
- **Concurso:** inclusão de vários tipos de tecnologia em concursos para fornecer energia com base nas necessidades energéticas e nas capacidades financeiras da comunidade.
- **Financiamento:** identificar um consórcio de financiadores que apoiem projetos integrados.

Caixa 2.1 Quadro de distribuição integrado para o planeamento energético

Atualmente, os três modos de eletrificação (extensão da rede, mini-redes e sistemas autónomos) coexistem tipicamente em silos num determinado território/região, com cada modo a fornecer acesso aos clientes mais atrativos para os seus modelos de negócio. Isto não só torna improvável a cobertura universal, como também resulta numa variedade de regimes de tarifas dentro da mesma área, sem permitir a utilização de subsídios cruzados.

Os proponentes do Quadro Integrado de Distribuição (QID) defendem que uma "entidade" (composta por um ou mais atores) deve ser responsável pela distribuição numa determinada área (ao abrigo de um contrato como uma concessão) e assegurar a cobertura universal. A entidade poderia incluir a empresa de distribuição existente, potencialmente em parceria com o setor privado, ou uma combinação de empresas envolvidas em várias modalidades de eletrificação.

Assim, as IDF encaram a "integração" como um conceito multifacetado que inclui:

- Integração dos três modos de eletrificação ao nível da distribuição
- Integração de todos os tipos de clientes finais, tirando partido de padrões de procura complementares e de programas de subsidiação cruzada de tarifas
- Integração dos setores público e privado no setor da distribuição com papéis claramente definidos
- Integração dos sistemas elétricos dos países vizinhos em agrupamentos regionais.

Fontes: Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Integrated Distribution Framework](#); [Integrating Isolated Mini-Grids With an IDF-Compliant Regulated Distribution Sector](#).

Adaptar os processos regulamentares às diferentes escalas das mini-redes

Os processos regulamentares estão a ser adaptados a diferentes escalas de mini-redes.

Na verdade, os sistemas de pequena escala (inferiores a 100 kW) muitas vezes não necessitam de uma licença e estão a ser isentos de aprovações tarifárias, permitindo aos operadores decidir os níveis e estruturas tarifárias em consulta com as suas comunidades. Na Nigéria, por exemplo, as tarifas podem ser decididas entre o operador da mini-rede e a comunidade (representada por clientes que consomem pelo menos 60% da eletricidade fornecida pela mini-rede).²⁰ Esta abordagem foi também legalmente imposta a todas as mini-redes rurais não interligadas na Índia desde 2003.²¹

No entanto, a entidade reguladora mantém normalmente o direito de intervir quando acionada por fatores específicos: na Nigéria, a comunidade pode solicitar uma intervenção e uma revisão das tarifas pela entidade reguladora, para garantir a equidade e a justiça. Na Tanzânia, uma válvula de segurança regulamentar garante que a entidade reguladora pode intervir caso uma petição seja assinada por 15% dos agregados familiares na área servida pelo produtor em projetos de energia muito pequenos.²² Para sistemas maiores, é estabelecida uma forma de aprovação oficial das tarifas para mitigar o risco de futuros litígios tarifários que possam pôr em risco o investimento.

Esta abordagem regulamentar dependente da capacidade aborda o risco inerente a cada fase da trajetória das mini-redes, uma vez que permite uma maior flexibilidade para manter os custos de desenvolvimento baixos nos mercados emergentes e reforça a proteção nos mercados maduros.²³ No entanto, há casos em que os investidores e promotores notaram que **a ausência de qualquer licença formal e acordo tarifário emitido pelo governo constitui um risco.** O setor continua a realizar esforços para encontrar um equilíbrio ótimo entre uma regulamentação pouco restritiva e a capacidade de financiamento dos projetos. Os promotores poderão preferir obter uma licença em vez de uma abordagem desregulamentada para as mini-redes mais pequenas, uma vez que a abordagem de autorização oferece uma maior proteção. Adicionalmente, vale a pena considerar que tais isenções podem criar um incentivo para os promotores dimensionarem os seus projetos para menos de 100 kW, mesmo que um sistema maior tenha custos unitários mais baixos.

²⁰ Nigerian Electricity Regulatory Commission. 2023. [Mini-Grid Regulations](#).

²¹ World Bank. 2024. [Mini-Grid Solutions for Underserved Customers](#).

²² ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

²³ ESMAP. 2019. [Ensuring That Regulations Evolve as Mini-Grids Mature](#)

Permitir a candidaturas através de portfólios e prolongar a duração das licenças

Os partes interessadas do setor reconhecem a importância de criar portfólios com um grande número de projetos para alcançar economias de escala e atrair investimento. As candidaturas através de portfólios são fundamentais para a expansão do setor, dado que a velocidade de implementação é crucial para alcançar o acesso universal até 2030. Dados da Associação Africana de Promotores de Mini-Redes (AMDA) mostram que, para uma única mini-rede, o tempo médio total de obtenção de todas as licenças e aprovações é de 58 semanas,²⁴ o que torna inatingível a implementação atempada das mini-redes necessárias para alcançar as populações não eletrificadas no Sul global até 2030.

A minimização dos custos de transação para a obtenção de licenças é uma vantagem fundamental das candidaturas através de portfólios. Uma vez que a maioria das mini-redes rurais varia entre apenas 10 kW e 100 kW, muitos financiadores privados não estão dispostos a dedicar o tempo e os recursos necessários para realizar a devida diligência, a não ser que tenham a opção de realizar transações maiores que lhes permitam amortizar esses custos ao longo de maiores volumes de capital.²⁵ Adotar uma abordagem baseada em portfólios é não só benéfica para atrair investidores de financiamento de projetos, como também ajuda a distribuir o risco.

Reconhecendo a importância dos portfólios de mini-redes, as regulamentações atualizadas de mini-redes da Nigéria (2023) incluem as definições de portfólio de mini-redes interligadas e isoladas, com uma série de disposições que visam promover uma abordagem de portfólio, tais como permitir a apresentação de um único pedido de tarifa para um portfólio de mini-redes, e a apresentação de um relatório combinado (exigido pelo regulador) para um portfólio.²⁶

Os regimes de concessão, numa abordagem *top-down*, têm benefícios semelhantes. As entidades reguladoras optam frequentemente por processos de concurso competitivos em que os promotores podem apresentar propostas para múltiplas áreas de serviço, permitindo-lhes, assim, agregar projetos de mini-redes, reduzir custos através de economias de escala no planeamento, financiamento, fornecimento de equipamento e O&M,²⁷ e evitar sobreposições com outros fornecedores nessa região e as ineficiências associadas.

Dada a importância crescente do financiamento de projetos para o desenvolvimento de mini-redes, a duração das autorizações e licenças deverá procurar refletir o período de vigência dos acordos de financiamento. A seleção de um prazo para uma licença é um exercício de equilíbrio entre uma duração suficientemente curta para incentivar os promotores a progredir, mas suficientemente longa para permitir atividades preparatórias.²⁸ Embora a duração da licença varie de país para país, os partes interessadas sublinham a necessidade de uma duração de pelo menos 10 anos, um prazo típico para os acordos de financiamento ao

²⁴ AMDA. 2022. Benchmarking Africa's Mini-grids Report.

²⁵ SEforALL. 2020. [Three Key Challenges to Scale Up the Mini-Grid Sector.](#)

²⁶ Nigeria Electricity Regulatory Commission. 2023. [Mini-grid regulations, 2023.](#)

²⁷ USAID. 2017. [Practical Guide to the Regulatory Treatment of Mini-Grids.](#)

²⁸ USAID. 2017. [Practical Guide to the Regulatory Treatment of Mini-Grids.](#)

abrigo de uma abordagem de financiamento de projetos,²⁹ ou mesmo de 15 a 25 anos, que é suficientemente longo para amortizar todos os ativos ao abrigo do regime tarifário especificado.³⁰ Por exemplo, na Serra Leoa, a licença completa de mini-redes é válida por um período de até 20 anos.³¹

Permitir a aplicação de tarifas de recuperação de custos

As tarifas de recuperação de custos surgiram como uma abordagem comum tanto nos mercados de mini-redes emergentes como nos desenvolvidos. As entidades reguladoras tendem a adotar uma abordagem de blocos de construção para a fixação de tarifas de mini-redes, utilizando uma fórmula baseada nos custos para calcular as receitas necessárias. Nos países que seguem uma metodologia tarifária individualizada baseada nos custos incluem-se a Etiópia, o Quênia, a Nigéria, a Tanzânia e a Zâmbia.³² Ferramentas normalizadas, tais como a ferramenta *Multi-Year Tariff Order (MYTO)* utilizada na Nigéria e na Serra Leoa ou o *Standard Tariff Application Model for mini-grids*³³ no Quênia (ver Figura 2.8), ajudam a simplificar o processo de aprovação e revisão de tarifas, apresentando os cálculos ascendentes do custo do serviço, bem como os ajustamentos necessários para refletir alterações nos principais fatores de produção. Além disso, a AMDA e o Fórum Africano de Reguladores de Serviços Públicos (AFUR) estão a trabalhar num projeto criação de uma *ferramenta de Liquidação de Tarifas de Mini-Redes* em África. A ferramenta destina-se a clarificar as metodologias de tarifas de mini-redes e as ferramentas de cálculo utilizadas no continente pelos reguladores e a encurtar os passos e procedimentos pelos quais os promotores passam até que a sua tarifa de mini-rede seja aprovada.

As principais componentes deste cálculo são a base de ativos regulada, a taxa de rendimento permitida sobre o investimento de capital dos promotores, as amortizações e (normalmente) o tratamento dos subsídios em capital, como se mostra na Figura 2.8.

²⁹ REPP, REAN and AMDA. 2022. [Future-proofing the expanding market: Recommendations for improving the bankability of the mini-grid regulatory framework in Nigeria.](#)

³⁰ IRENA. 2016. [Policies and Regulations for Private Sector Renewable Energy Mini-grids.](#)

³¹ EWRC. 2019. [Mini-Grid Regulations 2019.](#)

³² USAID. 2020. [Exploring Africa's mini-grid tariff methodologies.](#)

³³ EPRA. 2024. [Tariff Application Model for Minigrids.](#)

Figura 2.8 Resumo dos elementos constitutivos das tarifas no modelo de estandardizado de aplicação de tarifas no Quénia

Elementos Constitutivos das Tarifas:
A. Depreciações & Amortizações – Método de linha reta
A. Depreciações & Amortizações – Método de unidades de <i>outputs</i>
B. Despesas de O&M
<i>Rendimentos (recorrentes) através de subsídios</i>
C1. Investimento em base de ativos regulada (RAB)
C2. Investimento RAB cumulativo
<i>Subsídio de Capital</i>
<i>Pagamentos de Utilizadores por conexão</i>
<i>Depreciação acumulada</i>
D. Capital Circulante de Caixa e Depósitos (WC)
Soma de RAB + WC (reflete custos)
Soma de RAB + WC (sem subsídios)
E. Custo de Oportunidade de capital (WACC)
F. Efeito de rentabilidade da dívida
G. Retorno capital próprio
H1. Retorno Total do Capital (reflete custos)
H2. Retorno Total do Capital (sem subsídios)
I1. Subsídio de Imposto(reflete custos)
I2. Subsídio de Imposto(sem subsídios)
J. Requisitos de rendimento não subsidiado
K. Requisitos de rendimento subsidiado
L. Requisitos de receita de subsídio

Fonte: EPRA. 2024. [Tariff Application Model for Minigrids](#)

No âmbito desta abordagem por blocos, a atenção está a voltar-se cada vez mais para os mecanismos de ajustamento, à luz dos recentes desafios macroeconómicos durante a COVID-19. Para garantir a viabilidade bancária do quadro de fixação de tarifas, devem existir processos claros para ajustar as tarifas à inflação e às flutuações cambiais de forma eficaz e atempada. Os mecanismos de indexação das tarifas desempenham um papel fundamental na atenuação dos riscos cambiais, tal como explorado na secção 2.4. No entanto, é imperativo assegurar que o fardo económico resultante das forças macroeconómicas não recaia desproporcionalmente

sobre os clientes de mini-redes. O setor está progressivamente a adotar uma perspectiva mais flexível sobre a recuperação de custos, dando prioridade à mitigação de riscos em detrimento do método convencional de determinação de tarifas com base em cálculos de custos de serviço, um tópico desenvolvido na Secção 4.1.

Permitir a flexibilidade nos acordos de chegada à rede e assegurar uma compensação adequada

Estão a ser implementadas mais regulamentações para as mini-redes para lidar com o desafio da extensão da rede. A chegada à rede é um risco chave enfrentado pelos promotores, uma vez que os ativos das mini-redes poderão ficar retidos ou ser expropriados com uma compensação mínima. Os regulamentos de mini-redes que incluem acordos de chegada à rede oferecem normalmente uma gama de soluções flexíveis que podem ser negociadas entre o operador e a empresa de serviços de utilidade pública ou de distribuição que se está a expandir para o território de serviço da mini-rede. A título de exemplo, as novas regulamentações de mini-redes da Nigéria permitem ao operador escolher entre as seguintes opções em caso de chegada à rede:

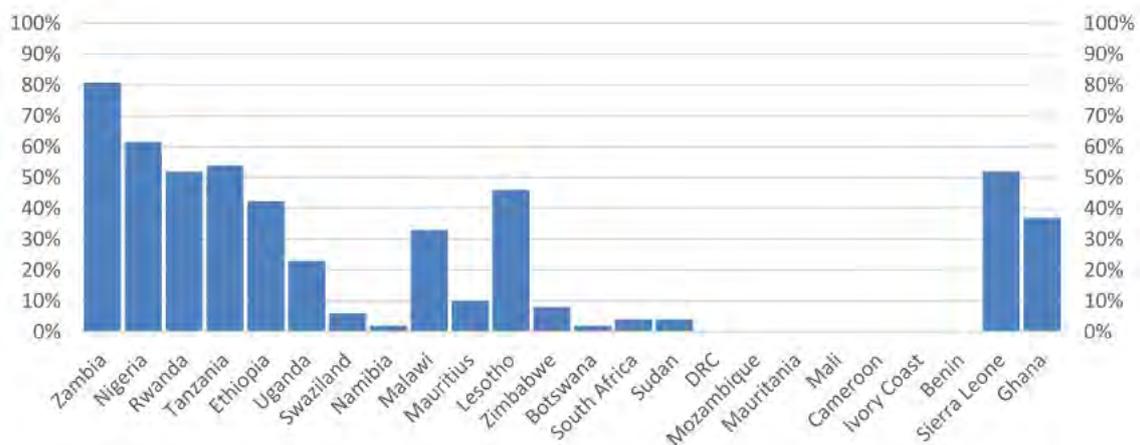
- Converter-se num operador de mini-rede interconectada
- Transferir os seus ativos de distribuição e receber uma compensação com base no valor contabilístico dos ativos de rede amortizados (com base no custo histórico de aquisição, incluindo os custos de construção e desenvolvimento), acrescido do valor equivalente ao lucro antes de impostos durante dois anos antes da transferência
- Quando os ativos de distribuição são transferidos, pode utilizar os seus ativos de produção como um produtor integrado na empresa de distribuição ou tornar-se um fornecedor de emergência durante as interrupções de serviço.

Em alguns dos países que estabeleceram acordos de interligação, o quadro regulamentar das mini-redes também define uma abordagem normalizada para a avaliação da transferência de ativos e processos eficientes para garantir pagamentos atempados. Na Serra Leoa (ver também o Anexo A1), os regulamentos das mini-redes exigem que a compensação seja equivalente ao valor residual dos ativos financiados pelo setor privado após depreciação, ao valor residual dos custos de desenvolvimento do projeto financiados pelo setor privado, cativados e amortizados, e às receitas auditadas geradas pela mini-rede nos 12 meses anteriores à chegada à rede. A definição de amortização é crucial neste contexto; com base nas atuais características do mercado, sugere-se que a amortização seja definida como dez anos para os ativos de produção e 25 anos para os ativos de distribuição.³⁴

³⁴REPP, REAN and AMDA. 2022. [Future-proofing the expanding market: Recommendations for improving the bankability of the mini-grid regulatory framework in Nigeria.](#)

No entanto, a implementação destas regulamentações está muitas vezes atrasada e está combinada com uma falta de clareza e pormenor suficientes. Na Índia, em particular, as regulamentações relativas a mini-redes dos estados de Madhya Pradesh, Odisha e Uttar Pradesh permitem a interligação de mini-redes com a rede principal, mas as interligações ainda não foram efetuadas. ³⁵A figura 2.9 apresenta a eficácia global da regulamentação das mini-redes contra a invasão da rede principal em 24 países africanos, abordando cinco aspetos-chave: (i) requisitos técnicos, (ii) proteção jurídica (autorizações e licenças), (iii) modelos de negócio, (iv) mecanismos de compensação financeira e (v) interesses dos clientes. A eficácia da regulamentação é expressa como uma taxa que reflete se a regulamentação das mini-redes fornece informação sobre cada aspeto, bem como se existe um texto claro que reduza a margem para diferentes interpretações legais. Assim, uma taxa mais elevada implica que os regulamentos de invasão da rede forneçam orientações adequadas no caso de chegada da rede a áreas já servidas por investidores de mini-redes, enquanto uma taxa de zero reflete a falta de quadros regulamentares legais para proteger as mini-redes contra a invasão da rede. A figura destaca que a regulamentação zambiana sobre mini-redes é a mais eficaz na salvaguarda dos interesses dos investidores em mini-redes contra a potencial invasão da rede principal, enquanto a maioria da regulamentação existente nos países africanos não oferece a proteção adequada ao titular da licença de mini-rede.

Figura 2.9 Eficácia global da regulamentação relativa às mini-redes contra a invasão da rede principal



Fonte: Mambwe, Christopher et al. 2022. [Benchmarking and Comparing Effectiveness of Mini-Grid Encroachment Regulations of 24 African Countries: A Guide for Governments and Energy Regulators to Develop Effective Grid Encroachment Regulations.](#)

³⁵ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

Impulsionar a estandardização das abordagens regulamentares

São necessárias uma maior harmonização e estandardização das abordagens regulamentares para as mini-redes de forma a aumentar rapidamente os rendimentos.

Embora o desenvolvimento de um quadro regulamentar para as mini-redes tenha de ser adaptado ao contexto de cada país, de modo a que os fatores de risco e desafios específicos sejam tidos em consideração, alguns aspetos regulamentares podem basear-se em esquemas, que podem ser posteriormente ajustados às condições do mercado e do projeto.³⁶ É o caso das disposições regulamentares que protegem os investimentos, tais como as metodologias de fixação de tarifas baseadas no princípio da recuperação de custos, bem como as disposições de chegada à rede.

A adesão é fundamental para a estandardização da regulamentação das mini-redes.

Estabelecer um consenso em todo o setor sobre os principais aspetos regulamentares é essencial para facilitar a adoção de abordagens e ferramentas estandardizadas. Neste contexto, a AFUR colaborou recentemente com parceiros de desenvolvimento, reguladores, Ministérios da energia e membros da AMDA para desenvolver uma ferramenta estandardizada de tarifas para mini-redes que seja robusta e aceite por um vasto leque de partes interessadas.³⁷ O desenvolvimento da ferramenta teve em conta as metodologias de definição de tarifas existentes na Nigéria, Serra Leoa, Quênia e Tanzânia, com o objetivo de aproveitar os pontos fortes destas ferramentas e colmatar quaisquer deficiências identificadas. O processo de consulta com reguladores e promotores de mini-redes que passaram com sucesso pelo processo de candidatura nos países acima mencionados serviu para destacar os desafios tanto no setor público como no privado.

Os esforços para normalizar os processos de diligência devida para projetos de mini-redes ainda não ganharam impulso suficiente. Atualmente, as despesas com a devida diligência podem corresponder a 7-10% do custo total do projeto, o que representa uma barreira significativa para muitas empresas. Ao estandardizar uma parte substancial da devida diligência técnica e jurídica em diferentes países, existe potencial para reduzir estes custos. Um exemplo de uma iniciativa deste tipo é o AMAP do BAD, que visa simplificar os processos e aumentar a eficiência através de quatro pilares: (i) abertura de novos mercados (conceção de programas nacionais de aceleração de mini-redes capazes de gerar rendimento para atrair investimento público e privado); (ii) apoio catalisador (desenvolvimento de novos instrumentos financeiros de redução de riscos e prestação de assistência técnica para desbloquear o investimento privado); (iii) reforço do ecossistema (expansão da partilha de conhecimentos e das competências técnicas entre os intervenientes do setor); e (iv) gestão de programas (garantia de uma implementação de projetos sem problemas e de resultados de elevada qualidade).³⁸

³⁶ SEforALL. 2023. *Mini-Grids Partnership Newsletter, December 2023*; and Consultant's interview with MIGA.

³⁷ Bunnya, Samuel S. 2023. *Mainstreaming mini-grid regulation across Africa*. ESI-Africa.

³⁸ AfDB. 2020. *Multinational - Africa Mini-Grid Market Acceleration Programme (AMAP) - SEFA Appraisal Report*.

Digitalizar os processos reguladores através de um balcão único para as mini-redes

O setor está a assistir a esforços contínuos para agilizar e digitalizar os processos de candidatura a licenças e autorizações. A concessão de licenças e autorizações, bem como a avaliação de propostas no âmbito de processos de adjudicação baseados em concursos, exige o tratamento de muitos documentos num curto espaço de tempo.³⁹ Dada a necessidade de uma rápida implementação de mini-redes para acelerar a eletrificação universal, a utilização de tecnologias digitais com processamento automático de dados pode ser crucial. Os parceiros de desenvolvimento continuam a concentrar alguns dos seus esforços de assistência técnica no sentido de facilitar as entidades reguladoras e os ministérios da energia na criação de balcões únicos para aplicações de mini-redes e requisitos regulamentares.⁴⁰ A Odyssey, por exemplo, está a fornecer um balcão único digital, ou plataforma unificada, que simplifica os processos de candidatura e a implementação de mini-redes.

Facilitar as mini-redes "undergrid"

Os enquadramentos regulamentares das mini-redes estão a reconhecer cada vez mais a integração das mini-redes na rede principal como uma forma de aumentar a resiliência do sistema elétrico, criando situações vantajosas para as empresas de serviços públicos, operadores de mini-redes e consumidores. As mini-redes "undergrid" são, na sua maioria, mini-redes de energia solar híbrida construídas e exploradas por empresas privadas em zonas já ligadas à rede elétrica principal, mas que sobrem de um serviço de má qualidade. Atualmente, milhões de pessoas vivem com energia pouco confiável e de baixa qualidade ou não recebem qualquer energia.⁴¹ As frequentes falhas de energia perturbam a atividade económica (com muitos clientes comerciais e industriais (C&I) a recorrerem a combustíveis tradicionais, como o gasóleo) e serviços críticos como os cuidados de saúde. As mini-redes interligadas poderiam oferecer uma solução neste contexto, melhorando a qualidade do serviço em zonas mal servidas, ao contrário das mini-redes isoladas que operam em zonas não servidas de energia.⁴² No entanto, os desalinhamentos institucionais entre a rede (propriedade do Estado) e as mini-redes (propriedade privada) constituem frequentemente um grande obstáculo às mini-redes interligadas.

³⁹ UNIDO. 2020. [Clean Energy Mini-Grid Policy Development Guide](#).

⁴⁰ Entrevista do consultor ao GEAPP.

⁴¹ Graber, Sachiko et al. 2019. [Electrifying The Underserved: Collaborative Business Models for Developing Mini-grids Under the Grid](#).

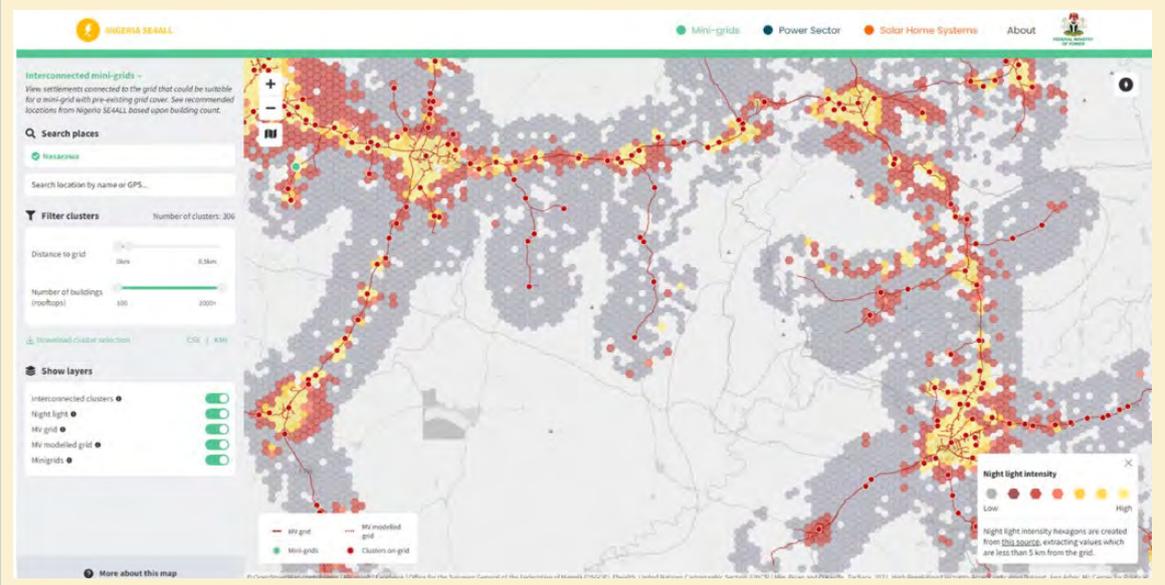
⁴² PNUD. 2021. [Derisking Interconnected Solar Mini-Grid Investments in Nigeria](#).

Caixa 2.2 Programa de aceleração de mini-redes interligadas na Nigéria

A Agência de Eletrificação Rural da Nigéria lançou o Esquema de Aceleração de Mini-redes Interligadas (EAMI) com o objetivo de acelerar a implantação de mini-redes interligadas no país. O programa é apoiado pela União Europeia e pelo Governo alemão através do Programa Nigeriano de Apoio à Energia.

Como parte do projeto, foi desenvolvido uma "motor de busca de mini-redes interligadas" (do original, "internconnected mini-grid explorer") para estimar o potencial destas mini-redes. Centra-se em povoações que têm atualmente uma ligação à rede, mas que só recebem entre quatro e oito horas de energia por dia. A intensidade da luz noturna (mostrada na figura abaixo através de hexágonos coloridos e calculada a partir da intensidade da luz emitida pela área durante as horas de escuridão) é uma variável chave para as mini-redes interligadas, uma vez que representa a probabilidade de uma área ter um fornecimento de rede de alta ou baixa qualidade.

Figura 2.10 Captura do motor de busca de mini-redes interligadas na Nigéria



Fonte: Nigeria SE4ALL. 2022. [Exploring the Potential for Interconnected Mini-Grids with the Nigeria SE4ALL Web Map.](#)

O papel do quadro regulamentar é crucial, em particular, no que respeita às normas técnicas das mini-redes, que têm de garantir a potencial integração na rede principal, e às disposições contratuais entre as empresas de serviços públicos e as empresas de mini-redes. A Caixa 2.3 resume as principais recomendações para a regulamentação das mini-redes interligadas.

Caixa 2.3 "Soluções de mini-rede para clientes mal servidos": Recomendações

A mais recente publicação do Banco Mundial sobre mini-redes de energia elétrica subutilizadas fornece as seguintes recomendações aos governos e reguladores:

As mini-redes interligadas deverão ser criadas numa base voluntária, como resultado de incentivos financeiros. É pouco provável que as mini-redes interligadas que são impostas por políticas e regulamentos e que não produzam um resultado vantajoso para a empresa de distribuição, o promotor da mini-rede e os seus clientes sejam comercialmente sustentáveis.

Deve ser preferida uma abordagem leve na regulamentação das disposições comerciais das mini-redes interligadas. Poderá não ser necessário proceder a uma longa análise regulamentar de cada elemento do acordo de interligação, dado que tanto o promotor como a empresa de distribuição estão a proteger os seus interesses comerciais. A revisão regulamentar deveria, pelo contrário, centrar-se na conceção mais ampla do acordo, de modo que a tarifa de retalho seja inferior à das mini-redes não interligadas que oferecem um serviço comparável.

Fonte: Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

Estão a emergir vários potenciais modelos de negócio para as mini-redes undergrid, dependendo da entidade que tem a responsabilidade principal pelo desenvolvimento e operação da mini-rede. De facto, num modelo **liderado por um operador de mini-rede**, o operador privado é responsável pelo desenvolvimento e operação da mini-rede interligada em consulta com a empresa de distribuição e/ou a comunidade, enquanto num modelo **liderado por uma empresa de distribuição** as principais responsabilidades recaem sobre a empresa de distribuição, que subcontrata algumas funções a um operador de mini-rede privado. Outros modelos de negócio propostos incluem o modelo **liderado por uma cooperativa**, com uma cooperativa comunitária a assumir a liderança no desenvolvimento e operação da mini-rede, e o modelo **colaborativo**, no qual as responsabilidades são partilhadas entre o operador da mini-rede interligada, a cooperativa comunitária e a empresa de distribuição, como se mostra na Figura 2.11.⁴³

Figura 2.11 Potenciais disposições contratuais para mini-redes undergrid



Fonte: Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Towards actionable electrification frameworks: Mini-grids under the grid.](#)

⁴³ Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Towards actionable electrification frameworks: Mini-grids under the grid.](#)

As mini-redes undergrid já são utilizadas no estado indiano de Uttar Pradesh, onde um operador privado de mini-redes (OMC Power) construiu mini-redes em aldeias que já são servidas pela empresa de distribuição, devido à falta de um serviço confiável, especialmente durante as horas de ponta no período da noite.⁴⁴ Estas mini-redes estão também a ser cada vez mais utilizadas na Nigéria, como enfatizado na Caixa 2.4.

Caixa 2.4 Mini-redes da PowerGen na Nigéria

Embora a comunidade de Toto, na Nigéria, esteja ligada à rede principal e tenha um antigo sistema de distribuição local, a infraestrutura não é funcional devido à falta crónica de manutenção e ao roubo generalizado de eletricidade. Assim, apesar de nominalmente ter acesso à eletricidade, a comunidade debate-se com apagões imprevisíveis, racionamento de energia ou falta de energia. Neste contexto, a PowerGen e a Empresa de Distribuição de Eletricidade de Abuja negociaram um acordo de partilha de energia entre a mini-rede e a rede, com base no qual **a PowerGen construiu uma mini-rede para Toto que fornece energia fiável durante o dia e compra eletricidade à empresa de distribuição de Abuja durante a noite**. O acordo foi descrito como "win-win-win", uma vez que a comunidade terá acesso a energia fiável, a empresa de serviços públicos terá um novo influxo de receitas e a PowerGen beneficiará financeiramente da operação e manutenção da produção solar fotovoltaica e dos sistemas de distribuição recentemente instalados. O acordo reconhece os diferentes pontos fortes das duas partes, sendo a empresa de distribuição mais adequada a ambientes urbanos e a PowerGen experiente na gestão de clientes no limite da rede. Ao instalar contadores inteligentes para simplificar a recolha de receitas e a infraestrutura tecnológica de monitorização remota, a PowerGen pretende reduzir o roubo e o vandalismo.

Fonte: Francklyn, Lili. 2022. [Nigerian minigrids improve power reliability and utility revenues for communities "under" the grid](#). HOMER Microgrid News

Maior ênfase na colaboração e envolvimento interpartidário

Recentemente, tem havido uma mudança no sentido de uma maior colaboração entre todo o espectro de intervenientes envolvidos no setor das mini-redes, incluindo uma maior coordenação entre reguladores e entre doadores, bem como um maior envolvimento do setor privado e das comunidades locais.

O setor está a promover uma maior colaboração entre reguladores a nível regional, num esforço para reduzir os recursos e o tempo necessários para desenvolver um quadro abrangente de mini-redes a partir do zero, mas também para facilitar os promotores de mini-redes que estão interessados em trabalhar em diferentes países. A harmonia regional nos requisitos regulamentares pode ajudar o setor privado a executar projetos mais eficazmente, reduzindo os custos de desenvolvimento do mercado. No seguimento do recente lançamento da African School of Regulation, o setor, incluindo os governos e a comunidade de doadores, uniu-se em torno da instituição como uma plataforma que oferece uma vasta partilha de conhecimentos e oportunidades de capacitação, adaptadas aos desafios regulamentares em África. Além disso, a AFUR e o GET.transform estabeleceram uma parceria para fornecer recursos, intercâmbio entre pares e melhores práticas regulamentares para aumentar os investimentos em mini-redes através de uma caixa de ferramentas de modelos de

⁴⁴ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

regulamentação de mini-redes, com o objetivo de criar consenso e reduzir a fragmentação do setor das mini-redes.⁴⁵

O aumento da coordenação entre os doadores tornou-se uma prioridade fundamental para garantir a coerência das abordagens regulamentares adotadas nos países beneficiários. Os doadores estão a trabalhar cada vez mais em conjunto para evitar mensagens contraditórias quando interagem com os governos e os partes interessadas locais, bem como para tirar partido das complementaridades existentes entre os seus programas. Os parceiros de desenvolvimento que se envolvem num determinado país optam muitas vezes por seguir a liderança do doador que tem o envolvimento mais longo no país, incluindo a sua abordagem em relação aos modelos de negócio e à regulamentação das mini-redes; este é o caso de Madagascar, por exemplo, onde a GIZ tem estado ativa há muito tempo e a coordenação entre doadores (Banco Mundial, BAD, GIZ, IFC) é conseguida através de chamadas bimensais.⁴⁶ Outros exemplos incluem a Nigéria, onde o Programa de Apoio à Energia da GIZ abriu caminho para o Projeto de Eletrificação da Nigéria do Banco Mundial, e a Etiópia, onde o Banco Mundial e o BAD entraram ao mesmo tempo que a Fundação Rockefeller e procuraram conceber programas complementares, nomeadamente o programa ADELE e o projeto *Distributed Renewable Energy-Agriculture Modalities (DREAM)*, respetivamente.⁴⁷ Atualmente, este esforço mais vasto de coordenação dos doadores não tem como objetivo uma maior colaboração nos processos de candidatura e de diligência devida.

Tem havido uma atenção renovada no reforço de uma voz coletiva para o setor das mini-redes que possa representar os seus interesses no contexto da colaboração entre partes interessadas. Há um reconhecimento crescente da necessidade de estabelecer um diálogo eficaz entre os setores privado e público, de modo a que haja um entendimento comum das prioridades e dos principais desafios de cada parte. A consulta dos investidores no início do processo de desenvolvimento do quadro regulamentar é crucial para o estabelecimento de regulamentos de mini-redes bancáveis que abordem efetivamente os riscos de investimento e possam mobilizar novos capitais. Em África, por exemplo, o setor está a concentrar-se cada vez mais no potencial da AMDA para representar eficazmente o setor privado em discussões significativas com o setor público sobre políticas e regulamentação que permitirão o *scale up* das mini-redes.

Por último, a comunidade local é um stakeholder crucial para o sucesso do projeto., ainda que seja muitas vezes negligenciada. Há muitos exemplos de projetos que não incluíram a população local durante toda a sua duração e que acabaram por fracassar. Uma tendência recente e encorajadora tem sido a maior inclusão dos utilizadores finais (também evidenciado na Caixa 2.5). Por exemplo, o promotor de mini-redes Weziza salientou a necessidade de se envolver com a comunidade local antes do seu projeto, de modo a convencê-la de que iria efetivamente fornecer eletricidade, dada a desconfiança criada por projetos que foram lançados mas que acabaram por não avançar.⁴⁸ Na região do Pacífico, esta questão progrediu ao ponto de os projetos não serem aprovados sem seguirem um conjunto de "protocolos

⁴⁵ GET.transform. 2022. [A Toolbox of African Model Mini-Grid Regulations](#)

⁴⁶ Entrevista do consultor com o Fundo de Energia Sustentável para África (SEFA).

⁴⁷ INENSUS. 2023. The Mini-Grid Business podcast. "Where to go next – Which countries are at the top of the funders' list? Part 1".

⁴⁸ Oikocredit International. 2023. [How Oikocredit partner Weziza is improving access to electricity in Benin](#)

sociais", garantindo que os beneficiários são incluídos no projeto.⁴⁹ O programa da RMI "Sharing the Power", que foi lançado na Nigéria em fevereiro de 2023, faz da comunidade local uma parte central do modelo de negócio, promovendo a copropriedade da fonte de eletricidade, ou a "governança energética inclusiva": as comunidades anfitriãs podem deter uma participação na mini-rede através de contribuições financeiras, fundiárias e em espécie, enquanto as receitas da operação da mini-rede são distribuídas de acordo com uma fórmula acordada entre a comunidade e o promotor. Crucialmente, os representantes da comunidade têm direito de voto em questões como tarifas, níveis de serviço e melhorias, que têm um impacto direto na comunidade.⁵⁰

Caixa 2.5 Integração da comunidade local em projetos de mini-redes

Para aumentar a sensibilização e conseguir o envolvimento ativo da comunidade no seu projeto de mini-rede, a JUMEME, um promotor de mini-redes na Tanzânia, criou um **Comité de Energia da Aldeia**, responsável por organizar debates e partilhar os últimos desenvolvimentos do projeto com a população. A JUMEME também organizou eventos promocionais e campanhas de comunicação porta-a-porta que visavam realçar os benefícios da eletricidade, melhorar a compreensão da estrutura tarifária por parte dos clientes e informá-los sobre as opções de financiamento.

Fonte: IIED. 2017. [Making mini-grids work: Productive uses of electricity in Tanzania](#).

Inovações nos modelos de negócio

A necessidade de modelos de negócio rentáveis

Embora o impacto transformador das mini-redes seja inegável e crucial, é igualmente importante reconhecer que a rentabilidade dos modelos de negócio existentes continua a ser uma métrica fundamental para os potenciais investidores. A maioria dos atuais investidores em projetos de mini-redes procura tipicamente um equilíbrio entre o impacto social e o retorno financeiro. A atratividade das mini-redes reside não só no seu impacto claro e significativo na melhoria do acesso à energia e na sustentabilidade, particularmente em regiões mal servidas, mas também no seu potencial para gerar retornos rentáveis. Consequentemente, os investidores examinam meticulosamente os planos de negócio dos projetos de mini-redes, procurando um caminho claro e viável para a rentabilidade. Este duplo enfoque no impacto e na rentabilidade sublinha a necessidade de desenvolver modelos de negócio rentáveis e financeiramente sustentáveis no setor das mini-redes. As métricas financeiras da Okra Solar refletem este duplo enfoque; a receita média anual por cliente (ARPU) e o seu crescimento previsto são utilizados como um indicador do sucesso do projeto, enquanto a utilização é um indicador do potencial de expansão e das oportunidades de receita.⁵¹

⁴⁹ Entrevista do consultor com a ASU.

⁵⁰ RMI. 2024. [Sharing the Power: Nigerian Community Takes Charge of Their Energy Development](#).

⁵¹ Okra Solar

As empresas de mini-redes dão cada vez mais prioridade a um número mínimo de ligações como fator chave na decisão final de investimento em projetos de eletrificação.

Na paisagem em evolução do setor das mini-redes, o número de ligações potenciais tornou-se uma consideração crítica para as empresas quando decidem construir uma mini-rede. Esta mudança reflete um enfoque crescente na obtenção de economias de escala, que são essenciais para a viabilidade e rentabilidade destes projetos. Por exemplo, empresas como a PowerGen estabeleceram uma referência, muitas vezes não considerando a eletrificação de comunidades com menos de 1.000 ligações potenciais.⁵² Este limiar é visto como o "ponto ideal" onde a eletricidade pode ser fornecida a um custo razoável, mantendo a rentabilidade.

A lógica subjacente a esta estratégia é multifacetada. Em comunidades maiores, com um número substancial de ligações, há uma maior probabilidade de existir atividade económica. Esta atividade existente reduz a necessidade de alocar grandes recursos à formação e ao incentivo ao desenvolvimento económico, como é frequentemente necessário nas comunidades mais pequenas. Além disso, a procura de eletricidade tende a aumentar exponencialmente com a dimensão da cidade, tornando as cidades maiores mais atrativas para a eletrificação do ponto de vista da procura. No entanto, tal não significa que as comunidades mais pequenas fiquem sem opções. Empresas como a Husk Power estão abertas ao fornecimento de eletricidade a comunidades mais pequenas, embora com o apoio de subsídios. Estas empresas reconhecem que, com esforços concertados para impulsionar a atividade económica - como a introdução de bombas solares para irrigação - é possível gerir uma mini-rede de forma rentável, mesmo em locais mais pequenos. Esta abordagem envolve frequentemente um impulso inicial para estimular a atividade económica, que pode depois sustentar a procura de eletricidade.

As decisões políticas moldam a gama de modelos de negócio que os promotores privados de mini-redes podem escolher, mas reconhecem normalmente a necessidade de rentabilidade. Cinco estratégias principais estão atualmente a ser seguidas pelos governos em África e na Ásia, analisadas na Caixa 2.6. A abordagem segundo a qual os promotores privados selecionam os locais com base na rentabilidade esperada (abordagem 1) é atualmente a mais comum, uma vez que pode acelerar o desenvolvimento de mini-redes assim que o quadro regulamentar estiver em vigor. A aquisição competitiva de portfólios de locais (abordagem 3) também é frequentemente preferida devido aos custos mais baixos resultantes do agrupamento de locais, enquanto as concessões (abordagem 4) não são tão comuns, uma vez que requerem extensa documentação e a adesão de muitos intervenientes nacionais e internacionais.⁵³

⁵² Entrevista do consultor com a Powergen.

⁵³ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

Caixa 2.6 Abordagens governamentais ao desenvolvimento de mini-redes

- 1. Os promotores privados selecionam os locais.** Nesta abordagem, os promotores escolhem as localizações das mini-redes com base na sua rentabilidade esperada, muitas vezes aproveitando bases de dados geoespaciais desenvolvidas por governos e doadores. As licenças ou autorizações e a aprovação de tarifas podem ser concedidas de acordo com cada lugar ou para um portfólio de mini-redes. As despesas de capital, sob a forma de subsídios, para tornar os projetos comercialmente viáveis são normalmente atribuídos pela agência de eletrificação rural ou outra entidade governamental por ordem de chegada (desde que sejam cumpridos requisitos técnicos e financeiros mínimos especificados), sendo a parte final baseada no desempenho. Esta abordagem é seguida pelo Projeto de Eletrificação da Nigéria, financiado pelo Banco Mundial, ao abrigo do qual 110 mini-redes estavam operacionais em outubro de 2023.
- 2. Os promotores privados selecionam os locais, em combinação com a desregulação.** Nesta abordagem, o promotor pode vender eletricidade sem licença ou autorização e pode também fixar as tarifas de retalho sem aprovação regulamentar. Um exemplo desta abordagem é dado pela Índia (ver Anexo A2).
- 3. O governo seleciona grupos de locais individuais e realiza concursos públicos.** Nesta abordagem, vários locais de mini-redes são agrupados em lotes para reduzir os custos de desenvolvimento e os promotores interessados licitam normalmente com base nas tarifas propostas ou nos subsídios mínimos exigidos. Por exemplo, no Programa de Energias Rurais Renováveis da Serra Leoa (ver Anexo A1), o Ministério da Energia selecionou 54 aldeias para o desenvolvimento de mini-redes, que foram divididas em quatro lotes. Os promotores vencedores foram selecionados com base em múltiplos critérios e obtiveram licenças de 20 anos para gerir e operar as mini-redes.
- 4. O Governo realiza concursos públicos para concessões em áreas por si selecionadas.** Uma concessão é um contrato formal entre o governo e um operador privado (concessionário), com base no qual o concessionário assume obrigações de O&M e, frequentemente, responsabilidades de investimento para o ativo durante um período acordado. Esta abordagem integra no acordo a regulamentação pertinente (como as tarifas, a qualidade do serviço, a exclusividade e as disposições relativas à chegada à rede), proporcionando assim ao promotor um regime regulamentar estável e previsível. A República Democrática do Congo está a planear seguir esta abordagem, combinada com a atribuição de subsídios aos promotores para melhorar a acessibilidade económica.
- 5. O governo realiza concursos públicos para que promotores privados construam e explorem novas mini-redes para posterior aquisição por uma empresa de serviços públicos.** Esta abordagem visa assegurar que a empresa de serviços públicos mantém o seu monopólio em todas as vendas a retalho de eletricidade em todo o país. A construção e a operação inicial das mini-redes são subcontratadas a empresas privadas, normalmente devido à experiência limitada da empresa de serviços públicos no desenvolvimento de mini-redes.

Fonte: Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

A utilização produtiva da energia continua a ser parte integrante do desenvolvimento de mini-redes, muitas vezes com um âmbito alargado

A Utilização produtiva de energia (UPE) foi estabelecida como um aspeto fundamental do desenvolvimento de mini-redes, melhorando a viabilidade financeira das mini-redes e catalisando o crescimento económico nas comunidades. A UPE refere-se a aplicações energéticas que melhoram a atividade económica, permitindo às comunidades aumentar as receitas ou substituir fontes de energia menos eficientes como os geradores a gásóleo. A

importância da UPE vai para além do simples fornecimento de energia; já que envolve a facilitação ativa da capacitação económica das comunidades. A importância da UPE para a sustentabilidade das mini-redes é destacada pelos promotores de mini-redes na Índia (discutida na secção A2), onde a esta é uma componente integral do seu negócio. A UPE pode resolver o desafio fundamental da baixa procura de eletricidade nas zonas rurais, facilitando, assim, a recuperação dos custos de investimento das infraestruturas de produção, distribuição e contagem. Isto também se reflete em Custos normalizados totais de produção de energia (LCOE) mais baixos (ver também a secção 2.6.1) em comparação com o LCOE num cenário sem UPE. Além disso, a UPE pode fornecer uma solução para o problema da forma da carga residencial e do fator de carga, dado que a procura residencial está concentrada à noite, quando a produção solar fotovoltaica não é diretamente utilizável e tem de ser recarregada através de baterias antes de ser utilizada.⁵⁴

À medida que o setor amadurece, os promotores reconhecem cada vez mais o facto de que a promoção do crescimento da UPE de forma sustentável requer um ambiente favorável mais amplo. Isto inclui a identificação de lacunas nas competências comerciais e técnicas necessárias para utilizar os aparelhos de UPE, a sensibilização e a capacidade para atividades produtivas, e a melhoria no acesso ao capital para a aquisição de equipamento de UPE, o acesso às próprias aplicações físicas de energia e o acesso aos mercados para vender os produtos. Assim, o âmbito da UPE está a expandir-se desde o operador de mini-rede que fornece eletricidade a cargas de ancoragem (*modelo de fornecimento de energia*) até ao fornecimento de financiamento ao consumidor para facilitar a aquisição de equipamento UPE (*modelo de aceleração de negócio*) ou à introdução de cadeias de valor UPE e a tornar-se ele próprio o fornecedor primário (*modelo fornecedor-comprador*). Estes modelos de negócio são apresentados na Figura 2.12 e analisados nas secções seguintes.

Figura 2.12 Modelos de negócio UPE



Fonte: ECA based on EPP Africa and Nordic Development Fund. 2019. [Powering Productivity: Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio](#).

⁵⁴ van Hove et al. 2022. [Evaluating the impact of productive uses of electricity on mini-grid bankability](#).

Modelo de fornecimento de energia

Os modelos de negócio das mini-redes têm-se centrado tradicionalmente em ter um **cliente-âncora**, nomeadamente um único grande consumidor de eletricidade, como uma torre de telecomunicações, que consome a maior parte da eletricidade fornecida pela mini-rede. O cliente-âncora é o primeiro passo na chamada estratégia AEC⁵⁵- (Âncora - Empresa - Consumidor) para a sustentabilidade financeira das mini-redes. A estratégia implica primeiro negociar um acordo com um cliente-âncora, que tem um perfil de carga previsível, e depois identificar ou ajudar a desenvolver empresas locais que possam fornecer uma procura estável e promover o crescimento económico nas comunidades. O último passo são os clientes residenciais, uma vez que este segmento não pode garantir a viabilidade económica, mas é crucial para atingir o objetivo de expansão do acesso. A investigação baseada em dados de procura e custos da Índia demonstrou que a ligação de centros de saúde como cargas de ancoragem melhora a sustentabilidade financeira e ambiental das mini-redes, ao reduzir o custo unitário e a intensidade das emissões de gases com efeito de estufa da eletricidade.⁵⁶ Exemplos da estratégia AEC que estão a ser utilizados na prática incluem a Engie Energy Access (descrita na Caixa 2.7), a OMC Power na Índia,⁵⁷ e muitos promotores no Bangladesh que ligam primeiro os principais clientes empresariais para assegurar uma carga de base inicial de consumo e gerar confiança no projeto, antes de se expandirem para os clientes domésticos.⁵⁸

Caixa 2.7 A estratégia AEC na prática

A estratégia AEC baseia-se no conceito de se concentrar num cliente primário com uma procura confiável e subsequentemente ligar outros clientes com padrões de utilização menos previsíveis. A Engie Energy Access utiliza a estratégia AEC para alcançar a viabilidade económica dos seus locais de mini-redes:

- Os inquéritos nos locais são utilizados para recolher informações sobre as necessidades energéticas futuras, a fim de dimensionar adequadamente os sistemas. A análise adicional do local facilita o planeamento para fornecer apoio ao desenvolvimento de atividades geradoras de rendimentos.
- Uma vez identificadas as diferentes atividades, a Engie Energy Access elabora uma lista de **clientes principais**, incluindo os que possuem máquinas de grande capital, tais como moinhos de martelos e máquinas que expelem óleo.
- Finalmente, os **clientes residenciais** são ligados no prazo de dois anos, de acordo com os seguintes objetivos:
 - 60 por cento antes do arranque do sítio
 - 80 por cento no final do primeiro ano
 - O restante no ano seguinte.

Fonte: Engie Energy Access. [Impact Review 2023](#).

⁵⁵ GIZ. 2014. [The ABC-Model: Anchor customers as core clients for mini-grids in emerging economies](#); and EEP Africa. 2018. Opportunities and challenges in the mini-grid sector in Africa.

⁵⁶ Beath et al. 2021. [As vantagens em termos de custos e emissões da incorporação de cargas de ancoragem em mini-redes solares na Índia](#).

⁵⁷ International Solar Alliance. n.d. [Case Study. Operational use of "Anchor Load Business Community Model"](#).

⁵⁸ Climate and Development Knowledge Network. 2019. [Solar Mini-Grids: Investment Case – Bangladesh](#).

Está a surgir uma utilização diferente deste modelo, nomeadamente a refrigeração sustentável, que é crucial para reduzir as grandes perdas pós-colheita de produtos alimentares perecíveis, que ocorrem frequentemente a taxas de 40% do que é cultivado nas cadeias de valor agrícola nos mercados em desenvolvimento.⁵⁹ Como explicado na Caixa 2.8 as câmaras frigoríficas podem funcionar como cargas de ancoragem para melhorar a viabilidade financeira das mini-redes. A Inspira Farms⁶⁰ a operar em África e a Ecozen⁶¹ a operar na Índia são exemplos de fornecedores de câmaras frigoríficas e outras tecnologias da cadeia de frio que podem aumentar o consumo de eletricidade da mini-rede.

Caixa 2.8 arrefecimento refrigeração sustentável como forma de aumentar a procura de eletricidade de mini-redes

A refrigeração é a melhor forma de reduzir perdas após a colheita de produtos alimentares perecíveis, especialmente na "primeira milha"; quanto mais perto da exploração agrícola a temperatura dos produtos for reduzida, maior será o impacto no seu prazo de validade. A redução das taxas de perda de produtos através da expansão da capacidade de refrigeração aumenta o rendimento familiar dos agricultores que vivem nas comunidades servidas por mini-redes remotas. Isto, por sua vez, aumenta a sua capacidade de comprar eletrodomésticos e a sua procura de eletricidade.

A conceção técnica é uma consideração importante para equilibrar as flutuações da energia solar na comunicação com a mini-rede; a utilização de gelo e de baterias em dispositivos de refrigeração é crucial para reduzir o consumo durante a noite ou em dias de baixa radiação solar.

A SEforALL está atualmente a desenvolver a **Ferramenta de Planeamento do Acesso à Cadeia de Frio Agrícola ("Agricultural Cold-Chain Access Planning Tool" - AgCAP)**, uma ferramenta de planeamento de código aberto pioneira para avaliar (geoespacialmente) as necessidades de câmaras frigoríficas agrícolas e as implicações das necessidades de refrigeração para o planeamento da eletrificação. A ferramenta está preparada para apoiar e melhorar a viabilidade de projetos de eletrificação de mini-redes através do planeamento de câmaras frigoríficas que servem como cargas de ancoragem.

Fonte: Artigo de opinião fornecido pela SEforALL.

As empresas de mini-redes estão progressivamente a considerar uma passagem das cargas de âncora para uma base de clientes diversificada e sustentável. A abordagem tradicional baseada na dependência em um só cliente-âncora foi inicialmente favorecida pela sua capacidade de fornecer uma fonte estável e previsível de procura e receitas, para além de fornecer uma "contraparte digna de crédito" para assinar um contrato que poderia ser apresentado a um financiador. No entanto, esta abordagem é cada vez mais considerada menos viável. Um dos desafios críticos com os clientes-âncora, especialmente as torres de telecomunicações, é o poder de negociação substancial que estas cargas de-âncora exercem, levando frequentemente a margens de lucro reduzidas para os operadores de mini-redes. A indústria está agora a avançar para um modelo que se foca num espectro mais alargado de clientes. Esta mudança não se trata apenas de diversificar o risco, mas também de identificar e cultivar uma carga sustentável que possa substituir o cliente-âncora. Empresas como a Powergen e a Husk Power estão na vanguarda desta tendência, concentrando-se estrategicamente na identificação do segmento de 20% da sua rede que gera 80% do consumo

⁵⁹ Artigo de opinião fornecido pela SEforALL.

⁶⁰ [InspiraFarms](#)

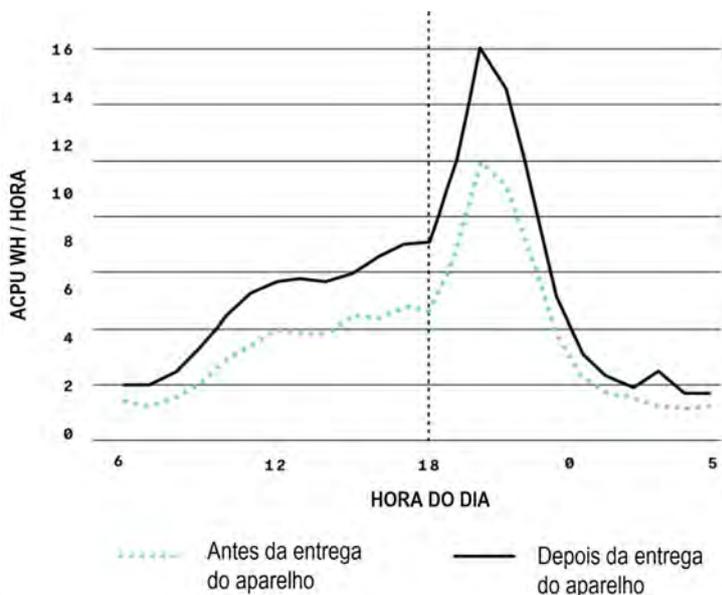
⁶¹ [Ecozen](#)

e das receitas.⁶² Esta abordagem consiste em identificar quem constitui estes 20% críticos e adaptar os serviços para satisfazer as suas necessidades. Esta transição para um modelo de base de clientes sustentável reflete uma compreensão mais profunda da dinâmica do mercado e uma abordagem mais diferenciada para alcançar a rentabilidade e a viabilidade a longo prazo.

Modelo de aceleração de negócio

Num esforço para aumentar a procura e estabelecer uma base estável de receitas, os promotores estão cada vez mais a fornecer aparelhos aos clientes, com o objetivo de equipar os clientes de mini-redes rurais, que muitas vezes estão prontos para consumir mais eletricidade, com os meios para utilizar esta energia. Sem eletrodomésticos, os clientes não podem tirar partido de todos os benefícios da eletrificação, ao mesmo tempo que o seu consumo de energia é demasiado baixo para permitir que os promotores operem as suas mini-redes de forma sustentável. O programa piloto do Laboratório de Inovação de Mini-Redes Transfronteiriças na África Oriental e na Nigéria mostrou que nos primeiros cinco meses após a entrega dos aparelhos, os compradores desses eletrodomésticos consumiram o dobro da eletricidade (Figura 2.13).⁶³

Figura 2.13 Consumo médio por utilizador por hora do dia, antes e depois da entrega do eletrodoméstico, África Oriental



Fonte: Rockefeller Foundation. 2020. [Electrifying Economies: Appliance Financing. CrossBoundary Mini-Grid Innovation Labs East Africa, Zambia, and Nigeria.](#)

⁶² INENSUS. 2023. The Mini-Grid Business podcast. "Anchor loads, productive use and rural industrialisation".

⁶³ Rockefeller Foundation. 2020. [Electrifying Economies: Appliance Financing. CrossBoundary Mini-Grid Innovation Labs East Africa, Zambia, and Nigeria.](#)

Os elevados custos iniciais dos equipamentos UPE continuam a ser um desafio, e o financiamento dos eletrodomésticos é utilizado para resolver este problema, como os esquemas de aluguer para aquisição ou de taxa por serviço. Um esquema de aluguer para compra exige que o cliente pague uma taxa mensal que cobre tanto a eletricidade como o pagamento do aparelho durante um período de reembolso específico (muitas vezes 12 meses), após o qual é proprietário do aparelho e a taxa mensal é reduzida para apenas os custos de eletricidade.⁶⁴ Este sistema de aluguer permite ao cliente obter rendimentos da atividade produtiva, aumentando assim a sua capacidade de pagar a taxa. Empresas como a Engie Equatorial (ver Caixa 2.9) e a PowerGen dedicaram uma parte significativa da sua atividade ao fornecimento de dispositivos de eficiência energética, reconhecendo o valor da UPE no seu modelo operacional. Além disso, a Okra Solar desenvolveu uma aplicação digital para o aluguer de aparelhos que reduz os custos gerais, incentiva o crescimento da carga e aumenta as receitas. A aplicação recolhe dados sobre a utilização de energia e pagamentos móveis e cria um perfil de crédito que pode ser utilizado para melhorar o acesso ao financiamento.⁶⁵

Caixa 2.9 Modelo de aceleração de negócio: Engie Equatorial

Em 2022, a Engie Equatorial (uma colaboração entre a Engie Energy Access e a Equatorial Power) inaugurou uma mini-rede solar híbrida de 600 kWp na ilha de Lowe, no Uganda. Este projeto tem um **centro produtivo integrado** que transforma matérias-primas em produtos de valor acrescentado, incluindo serviços de bombagem, distribuição e purificação de água, instalações de secagem de peixe e dispositivos de fabrico de gelo para conservar a captura diária de peixe.

Além disso, o modelo de negócio inclui uma solução de **mobilidade eletrónica** para barcos de pesca e motocicletas, associada a serviços **de incubação de empresas e de financiamento de ativos** para apoiar o crescimento das empresas locais.

Fonte: ENGIE Energy Access. 2022. [ENGIE Equatorial inaugurates game-changing Lolwe Mini-Grid in Uganda.](#)

A capacidade limitada de gestão das empresas locais, que ameaça a sua viabilidade económica, continua a ser um desafio fundamental no âmbito deste modelo. Os promotores, como a JUMEME (ver Caixa 2.10), têm muitas vezes de se empenhar em recursos intensivos de apoio e formação às empresas locais para tornar este modelo viável.

Caixa 2.10 JUMEME: Apoio ao desenvolvimento direcionado

Na Tanzânia, a JUMEME utilizou o modelo de aceleração de negócios para apoiar as suas mini-redes em 20 aldeias insulares no Lago Vitória, uma área economicamente vibrante, e em particular o comércio de peixe tilápia. Para além de aumentar o consumo de eletricidade da mini-rede, este empreendimento beneficiou a economia local ao criar empregos e oportunidades empresariais numa multiplicidade de setores, incluindo o semi-processamento, transporte e congelamento de tilápias e a produção de rações para peixes, criando assim um **nexo energia-aquicultura**.

A JUMEME também permitiu a automatização e a expansão das empresas existentes, criando uma loja para vender aparelhos a crédito (normalmente por seis meses) com base nas necessidades das empresas locais. Dado o acesso limitado ao financiamento e o custo inicial proibitivo do equipamento UPE, **a JUMEME promoveu ligações entre os seus clientes e os bancos locais, organizações**

⁶⁴ EPP Africa and Nordic Development Fund. 2019. [Powering Productivity: Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

⁶⁵ [Okra Solar](#)

cooperativas de poupança e crédito e instituições de microfinanciamento, oferecendo também a opção de pagar apenas 10% do equipamento antecipadamente.⁶⁶ No entanto, os desafios persistem e conduzem frequentemente a incumprimentos. Neste contexto, as empresas sugeriram que um período de carência lhes permitiria construir o seu fluxo de caixa com base no novo equipamento.⁶⁷

Fundamentalmente, a JUMEME reconhece **que o seu modelo requer um apoio específico ao desenvolvimento empresarial para se tornar sustentável**. Por conseguinte, realiza programas de formação, serviços de aconselhamento e orientação para melhorar as competências das empresas locais em matéria de métodos de gestão, contabilidade e tarefas administrativas. A JUMEME também se concentra em manter uma relação estreita com os empresários recém-conectados para fornecer qualquer apoio de engenharia necessário para conectar ou adaptar máquinas, o que pode evitar problemas técnicos.

Fontes: Consultant's interview with Oikocredit and Oikocredit. 2023. [How Oikocredit partner Weziza is improving access to electricity in Benin.](#)

Dados os recursos significativos necessários para que os promotores consigam implementar com sucesso o modelo de aceleração do negócio, os financiadores privados, que estão a começar a prestar atenção à UPE em relação às mini-redes, podem desempenhar um papel crucial na resolução deste desafio. Por exemplo, a CrossBoundary e a Oikocredit (como discutido na Caixa 2.11) facilitaram os promotores de mini-redes Havenhill e Weziza, respetivamente, a implementar o financiamento de aparelhos à escala.

Caixa 2.11 Oikocredit: Construir um ecossistema em torno da UPE

O investidor de impacto Oikocredit dá grande ênfase à criação de um ecossistema propício à UPE como parte dos projetos para os quais fornece financiamento. Para o efeito, trabalha com financiadores de aparelhos e recorre a redes de cooperativas agrícolas para maximizar o alcance do apoio às UPE. Para evitar trabalhar em silos, um departamento dedicado dentro da Oikocredit analisa a intersecção entre UPE e mini-redes.

Por exemplo, o financiamento do Oikocredit permitiu à Weziza, um operador de mini-rede no Benim, implementar um **programa de aluguer que permite aos agregados familiares utilizar congeladores ou moinhos elétricos mediante o pagamento de uma taxa fixa**. Em comparação com os moinhos movidos a gás anteriormente utilizados, os moinhos elétricos requerem pouca manutenção, poupando até 35 por cento nos custos de manutenção, enquanto o equipamento também criou oportunidades de rendimento adicional, por exemplo, através da gestão de pequenas operações de moagem. Os moinhos foram instalados após a realização de **estudos de campo e de formação** junto da população local.

Fonte: Entrevista do consultor com a Oikocredit e Oikocredit. 2023. [How Oikocredit partner Weziza is improving access to electricity in Benin.](#)

Este modelo sublinha o potencial das empresas de mini-redes para gerar mais receitas através do fornecimento de serviços adicionais, em vez de se concentrarem apenas no fornecimento de eletricidade. Essencialmente, ao oferecerem uma gama de serviços e soluções que satisfazem as necessidades abrangentes das comunidades rurais, as empresas de mini-redes estão não só a melhorar os seus modelos de negócio, mas também a desempenhar um papel

⁶⁶ IIED. 2017. [Making mini-grids work Productive uses of electricity in Tanzania](#)

⁶⁷ EPP Africa and Nordic Development Fund. 2019. [Powering Productivity: Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável e do crescimento económico nas zonas rurais.

Modelo fornecedor-comprador

O âmbito das empresas de mini-redes tem vindo a expandir-se de forma notável, transcendendo o papel tradicional de fornecedores de energia para se tornarem arquitetos de ecossistemas industriais rurais. O último passo na evolução dos modelos de negócio centrados na UPE tem sido a crescente importância das empresas de mini-redes na promoção do desenvolvimento rural, que já não se limita ao mero apoio às atividades económicas existentes. O modelo fornecedor-comprador reflete esta mudança, em que o operador de mini-rede estabelece uma atividade comercial ou industrial baseada num produto local (como a produção de gelo para pescadores), que serve como fornecedor primário para a mini-rede, preenchendo assim a lacuna da procura.⁶⁸ Por exemplo, a par da criação de uma mini-rede no Uganda, a Volt-Terra também desenvolveu um modelo agrícola que utiliza uma abordagem de agricultura em bloco, em estreita colaboração com os agricultores locais. A Volt-Terra compra os produtos dos agricultores, dá-lhes formação e utiliza um secador com bomba de calor no local, alimentado pela eletricidade da mini-rede, para o processamento. Por sua vez, o aumento das receitas dos agricultores com a produção de chili e baunilha permite-lhes pagar maiores quantidades de eletricidade da mini-rede.⁶⁹

O apoio dos doadores e a normalização são fundamentais neste modelo, dados os recursos substanciais que os promotores precisam de dedicar à análise detalhada da cadeia de valor. Identificar formas de expandir as atividades de UPE existentes utilizando os recursos locais é um processo intensivo em termos de recursos, o que realça a importância dos programas dos doadores que envolvem a delimitação do mercado de UPE. Na Etiópia, por exemplo, o programa ADELE, financiado pelo Banco Mundial, centrou as suas atividades de implementação de mini-redes na identificação e estímulo de utilizações da eletricidade geradoras de rendimentos,⁷⁰ enquanto o projeto DREAM na Etiópia envolve a Fundação Rockefeller que presta assistência técnica ao Ministério da Água e da Energia para ajudar a determinar modelos de negócio de mini-redes centrados na utilização de energia através de estudos de viabilidade e projetos-piloto subsequentes.⁷¹

Além disso, os promotores estão cada vez mais a procurar utilizações produtivas que as comunidades têm em comum. Embora as cadeias de valor da UPE variem significativamente entre as diferentes regiões, os promotores estão a identificar cada vez mais uma variedade de soluções que podem ser normalizadas e escalonadas em vários locais. Por exemplo, as utilizações produtivas que são relevantes em qualquer contexto, como o equipamento de purificação de água ou a mobilidade eletrónica, podem ser desenvolvidas em soluções estandarizadas que podem ser eficientemente implementadas em diferentes portfólios de locais. Ao facilitar o acesso a água potável através de sistemas de purificação energeticamente

⁶⁸ EPP Africa and Nordic Development Fund. 2019. [Powering Productivity: Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio.](#)

⁶⁹ PREO. 2024. [Project News: From farm to market.](#)

⁷⁰ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

⁷¹ SNV. n.d. [Distributed Renewable Energy-Agriculture Modalities \(DREAM\)](#)

eficientes, as empresas de mini-redes estão a responder a uma necessidade fundamental, ao mesmo tempo que estimulam as oportunidades de negócio locais. Do mesmo modo, a integração de soluções de mobilidade eletrónica, como bicicletas e veículos eléctricos, não só melhora o transporte nas zonas rurais, como também abre novas vias para a atividade económica e o emprego. Por exemplo, a OX Delivers,⁷² uma start-up de mobilidade eletrónica sediada no Reino Unido, criou um camião elétrico especialmente concebido para um modelo de transporte como serviço. Mais especificamente, os clientes reservam espaço no camião através de uma aplicação ou de uma chamada telefónica e pagam aproximadamente o mesmo montante que custaria fazer uma entrega de bicicleta.⁷³

A expansão do desenvolvimento de mini-redes para estas diversas linhas de negócio não tem apenas a ver com rentabilidade; tem a ver com escalabilidade e com o desenvolvimento holístico das zonas rurais. Assim, **o impacto pretendido da UPE foi alargado para abranger o desenvolvimento social, para além da capacitação económica**, com algumas iniciativas de UPE a considerarem as questões e disparidades sociais locais, como salientado no caso da East African Power em Caixa 2.12.

Caixa 2.12 Capacitação da comunidade através do UPE

A East African Power (EAP) está a promover a capacitação da comunidade através da sua mini-rede de 150 kW no Ruanda, que fornecerá energia a preços acessíveis a um **parque micro-industrial** e a um **Centro de Capacitação de Aldeias** que inclui um edifício comunitário polivalente, uma biblioteca/centro de aprendizagem e um centro agrícola de excelência. O resultado esperado do projeto é o fornecimento de energia **a microempresas locais, bem como o desenvolvimento de iniciativas sociais e educativas através do centro comunitário.**

Fonte: EEP Africa. 2019. [East African Power - Hydropower plant providing clean energy in Rwanda.](#)

As abordagens inovadoras para promover a UPE também reconheceram que homens e mulheres ocupam diferentes esferas na economia produtiva⁷⁴ e beneficiam do acesso à eletricidade de formas diferentes. Por exemplo, o Programa Africano de Género e Energia do Banco Mundial trabalhou com o governo do Mali para garantir que as iniciativas de eletrificação rural têm em consideração as diferentes necessidades das mulheres, promovendo resultados equitativos. Os inquéritos realizados no âmbito do programa mostraram que as mulheres apresentam uma menor probabilidade de utilizar a eletricidade para atividades geradoras de rendimentos do que os homens, por razões que incluem o acesso limitado ao financiamento e à formação, bem como a falta de consideração das necessidades energéticas específicas das mulheres quando os programas de acesso à energia são desenhados. O programa evidenciou os desafios relativos ao apoio ao desenvolvimento de empresas com uma perspetiva de género nos esforços de eletrificação.⁷⁵

⁷² OX Delivers

⁷³ Peters, Adele. 2024. [These electric trucks can be shipped flat and assembled on-site.](#) fastcompany.com.

⁷⁴ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

⁷⁵ ESMAP. 2023. [Accelerating the Productive Use of Electricity](#)

Responder ao desafio da baixa procura inicial de uma forma flexível

As empresas estão à procura de aplicações alternativas e de elevado valor para a energia excedentária nos primeiros anos de funcionamento das mini-redes de forma a maximizar as receitas. Especialmente nos primeiros anos de funcionamento das mini-redes, a capacidade disponível é muito superior à utilização. Neste contexto, a eletricidade não utilizada da mini-rede pode ser adquirida por um comprador de último recurso, gerando assim receitas adicionais para o promotor e fazendo baixar as tarifas para outros utilizadores. O modelo de negócio criado pela Gridless constitui um exemplo pioneiro deste modelo de negócio. A empresa sediada no Quênia utiliza o excesso de eletricidade de mini-redes renováveis para a mineração de bitcoin, através da co-localização de pequenos centros de dados de bitcoin junto a estas mini-redes.⁷⁶ Esta abordagem é crucial nas fases iniciais do desenvolvimento das mini-redes, quando a procura por parte dos agregados familiares pode ser insuficiente para viabilizar a economia dos projetos de mini-redes.

Caixa 2.13 Utilização do excesso de eletricidade para a mineração de criptomoedas: Gridless

A Gridless foca-se na utilização de energia renovável de mini-redes para a mineração de bitcoin, particularmente na África Oriental. Através de parcerias com empresas de energias renováveis, a Gridless financia e gere o funcionamento de centros de dados em zonas rurais onde não existem clientes industriais ou comerciais tradicionais. A parceria com a Gridless proporciona aos operadores de mini-redes um fluxo de receitas estável, aumentando a sua viabilidade financeira, especialmente nos primeiros anos. Embora a procura de energia das comunidades seja instável, com picos às 6-8 da manhã e às 6-9 da noite e com muito pouca energia utilizada durante as outras horas do dia, a mineração de bitcoin pode ajudar a criar uma procura consistente, como mostra a Figura 2.14. O nivelamento da procura em tempo real garante que as necessidades energéticas da mineração de bitcoin são ligadas e desligadas em segundos.

Ao criar uma procura e receitas previsíveis, o modelo de negócio da Gridless funciona de forma semelhante a uma âncora de carga. No entanto, ao contrário dos clientes âncora no modelo de fornecimento de energia, que são difíceis de servir devido ao seu poder de negociação e requisitos de serviço rígidos, o modelo da Gridless oferece flexibilidade quanto à quantidade e ao momento em que a eletricidade é consumida. O nivelamento automatizado da procura em tempo real permite que o consumo seja aumentado e diminuído em segundos relativamente ao fornecimento da mini-rede. Assim, os centros de dados bitcoin também funcionam como um equilibrador de rede de último recurso, fornecendo serviços auxiliares de resposta à procura para manter a mini-rede sempre estável.⁷⁷ À medida que a procura da comunidade aumenta, a Gridless pode diminuir a sua atividade de extração ou eliminá-la totalmente.⁷⁸

⁷⁶ Gridless

⁷⁷ Green Africa Mining Alliance. 2023. [Energy and Bitcoin in Africa](#).

⁷⁸ African Crypto. 2022. [Gridless Enables Cheap Renewable Energy in Rural Kenya via Bitcoin Mining](#).

Figura 2.14 Modelo Gridless

Para além da mineração de bitcoin, a eletricidade das mini-redes é utilizada para vários fins comunitários, tais como armazenamento frigorífico para os agricultores locais, estações de carregamento para motocicletas elétricas e pontos WiFi públicos. Assim, o modelo não só apoia a sustentabilidade dos projetos de mini-redes, como também contribui para um desenvolvimento rural de forma mais geral.

Fonte: Aliança Mineira da África Verde. 2023. [Energia e Bitcoin em África](#).

As redes de malha como forma rentável de ligar comunidades dispersas

As redes em malha estão cada vez mais a ser consideradas como uma solução eficaz para eletrificar áreas com baixa densidade populacional. Ao contrário das mini-redes, que requerem áreas densamente povoadas, as redes em malha ligam casas vizinhas para partilhar energia, permitindo-lhes juntar o seu consumo. Devido à curta distância entre as casas, a rede de distribuição é de baixa tensão, o que resulta numa instalação mais barata em comparação com uma mini-rede. Os custos de distribuição são aproximadamente 75% inferiores aos custos de distribuição de uma mini-rede.⁷⁹ Além disso, a instalação é mais rápida, uma vez que não há necessidade de aquisição de terrenos; em vez disso, basta um acordo direto com a família. Com esta solução, não há necessidade de conceber uma mini-rede completa desde o início, com linhas de distribuição que cheguem a todas as casas e empresas; em vez disso, as ligações na rede crescem organicamente.⁸⁰ As redes em malha foram implantadas com sucesso no Haiti pela promotora Alina Enèji, em parceria com a Okra Solar e com o apoio do GEAPP, com mais de 900 ligações efetuadas e um objetivo de atingir 5.000 até agosto de 2024.⁸¹

⁷⁹ Okra Solar

⁸⁰ GET.Invest. n.d. [A power-sharing breakthrough for off-grid communities - GET.invest](#)

⁸¹ GEAPP. n.d. [Rural Electrification: Are Mesh Grids a Game Changer?](#)

Caixa 2.14 Redes de malha da Okra Solar

A Okra Solar tem vindo a implementar redes de malha no Sudeste Asiático, onde, em 2021, criou redes de malha para mais de 400 agregados familiares. Recentemente, expandiu-se para a Nigéria. A rede em malha é coordenada pelo Okra Pod, um dispositivo que permite que os sistemas de energia solar domésticos individuais partilhem energia através de cabos de transmissão de baixa tensão. O pod é o elemento constitutivo de cada rede em malha, garantindo que a energia é redistribuída de forma ótima entre as casas vizinhas. Mais especificamente, os algoritmos de controlo de energia que fazem parte do Okra pod retiram o excesso de energia de cada sistema e redistribuem-no pelas cargas próximas, maximizando, desta forma, a eficiência da rede e a saúde das baterias. Os pods são **agrupados com kits de rede em malha estandardizados** de painéis solares, inversores e baterias, formando uma **solução modular e rentável que pode ser aumentada em capacidade de rede à medida que a procura cresce**. O custo por ligação para a rede em malha da Okra Solar é de 550 USD.

A empresa lançou recentemente um carregador de mini-rede para rede de malha, que permite aos promotores instalar a mini-rede onde existe uma grande carga de ancoragem e aproveitar as redes de malha de baixo custo para a rede residencial. A energia excedente gerada pela mini-rede é injetada na rede.⁸²

Fontes: GET.invest. n.d. [A power-sharing breakthrough for off-grid communities](#) e [Okra Solar](#).

Cadeias de valor integradas verticalmente para alavancar sinergias

De forma a otimizar os custos e alavancar sinergias, as empresas de mini-redes estão a formar parcerias e a operar numa cadeia de valor verticalmente integrada. A integração de várias fases da cadeia de valor, como a conceção técnica e a construção, e as vendas e serviços, bem como a O&M, permite o desenvolvimento de economias de escala e maiores margens de lucro. Além disso, as empresas de mini-redes podem ter um maior controlo sobre a qualidade dos componentes e serviços em cada fase da cadeia de valor, o que muitas vezes leva a uma maior satisfação e confiança dos clientes. Crucialmente, a integração também permite a inovação ao facilitar a colaboração e a comunicação entre diferentes departamentos. A Engie Energy Access é um exemplo de uma empresa que opera numa cadeia de valor verticalmente integrada, a fim de se adaptar rapidamente às tendências do mercado e aos avanços tecnológicos, mantendo assim uma vantagem competitiva. Ao cobrir toda a cadeia de valor das mini-redes, desde o concurso e financiamento até às vendas e O&M, a Engie Energy Access tem uma maior influência sobre os fornecedores e pode reduzir os custos.⁸³

O modelo cooperativo como solução potencial para zonas "pouco atrativas" investidores privados

O modelo cooperativo é frequentemente encarado com ceticismo pelos responsáveis governamentais e pelas instituições de crédito, apesar de as cooperativas terem eletrificado com sucesso as populações rurais nos Estados Unidos, nas Filipinas, no Bangladesh e na América Latina. A Cooperativa Rural de Electrificación da Bolívia, por exemplo, é a maior

⁸² SEforALL. 2021. [Okra Solar: Start rapidly, start small and grow over time](#)

⁸³ Engie Energy Access. 2023. [Performance and Impact Review](#)

cooperativa de eletricidade do mundo, servindo mais de 800.000 membros.⁸⁴ O Bangladesh constitui um excelente exemplo de cooperativas que facilitam a eletrificação rural, com 80 cooperativas ou PBS (*Palli Bidyut Samity*) que servem mais de 100 milhões de pessoas em todo o país.⁸⁵ O Paquistão também seguiu o modelo comunitário para o desenvolvimento de mini-redes, onde as mini-redes são operadas e geridas por membros da comunidade. Em particular, a responsabilidade pela O&M cabe a comités compostos por membros provenientes das comunidades locais. Os técnicos são selecionados na comunidade local e pagos através da tarifa cobrada aos consumidores.⁸⁶ O modelo é difícil de implementar, uma vez que requer muito tempo e recursos dedicados à assistência técnica,⁸⁷ bem como uma série de características da comunidade, como a coesão social, a existência de líderes de confiança e a atividade económica. No entanto, um número crescente de países está a tirar partido do modelo baseado na comunidade, incluindo a Libéria, o Uganda e a Zâmbia,⁸⁸ provando o seu potencial para servir os clientes rurais.

Tendências de financiamento

O financiamento público é limitado e não pode satisfazer as necessidades de financiamento necessárias para que o setor das mini-redes atinja todo o seu potencial como parte da agenda de eletrificação universal. Por conseguinte, os governos e as instituições financeiras internacionais têm concentrado os seus esforços na atração de capital privado, criando um ambiente propício e reduzindo os riscos associados aos investimentos em mini-redes para aumentar a sua rentabilidade. Isto envolve a implementação de políticas de apoio, a oferta de incentivos financeiros e a prestação de garantias para mitigar os riscos de investimento. Estas medidas visam alavancar recursos e competências adicionais, acelerando a implantação e a expansão de mini-redes em zonas remotas e mal servidas, contribuindo assim significativamente para o objetivo da eletrificação -universal.

O financiamento do setor das mini-redes continua a ser substancial, mas o défice de financiamento é ainda grande

Nos últimos 15 anos houve um aumento substancial do financiamento para o setor, com a África Subsariana a continuar a ser o principal destinatário do financiamento de investidores privados, governos e parceiros de desenvolvimento. Podem ser identificadas duas tendências no financiamento do setor das mini-redes. A primeira é o aumento significativo do financiamento total comprometido, com os principais parceiros de desenvolvimento a aumentarem rapidamente o financiamento disponível para programas de milhões de dólares americanos na década de 2000⁸⁹ para mais de 2,5 mil milhões de dólares americanos em 2023. A segunda tendência é a participação crescente de investidores privados. De acordo com dados

⁸⁴ NRECA International. 2023. *CRE's Story: The Power of Perseverance*.

⁸⁵ NRECA International. 2018. *Bangladesh: Secret for Success*.

⁸⁶ SAARC. 2021. *Minigrids and Access to Electricity in SAARC*.

⁸⁷ Entrevista do consultor com o NRECA.

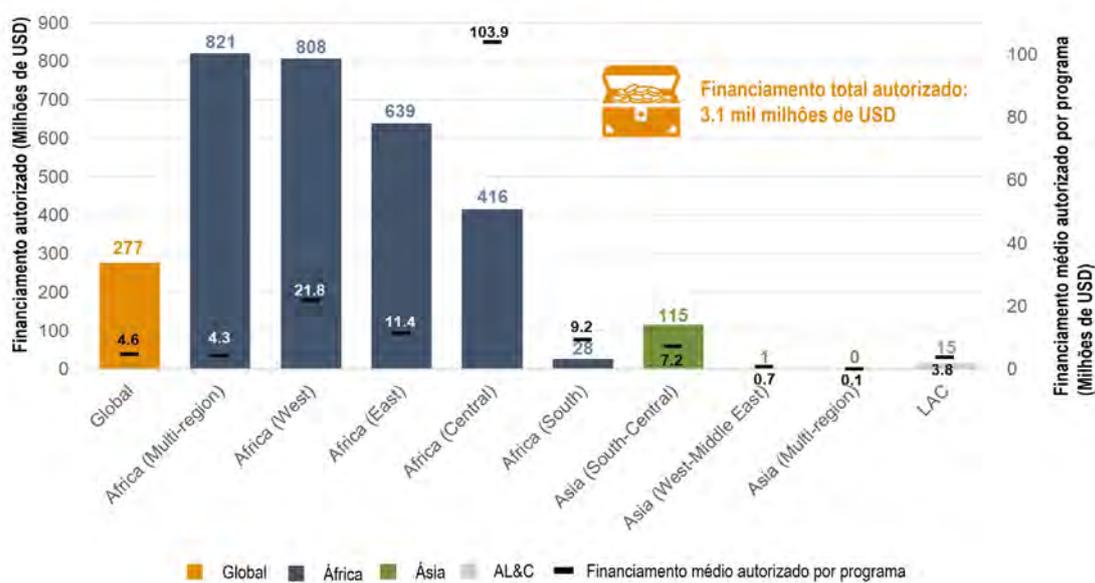
⁸⁸ NRECA International. 2023. *Electric Co-ops Catching on in Africa*.

⁸⁹ ESMAP. 2022. *Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers*.

do ESMAP, o financiamento de⁹⁰ investidores privados aumentou seis vezes em sete anos, passando de menos de 100 milhões de dólares em 2015 para quase 600 milhões de dólares em 2022.

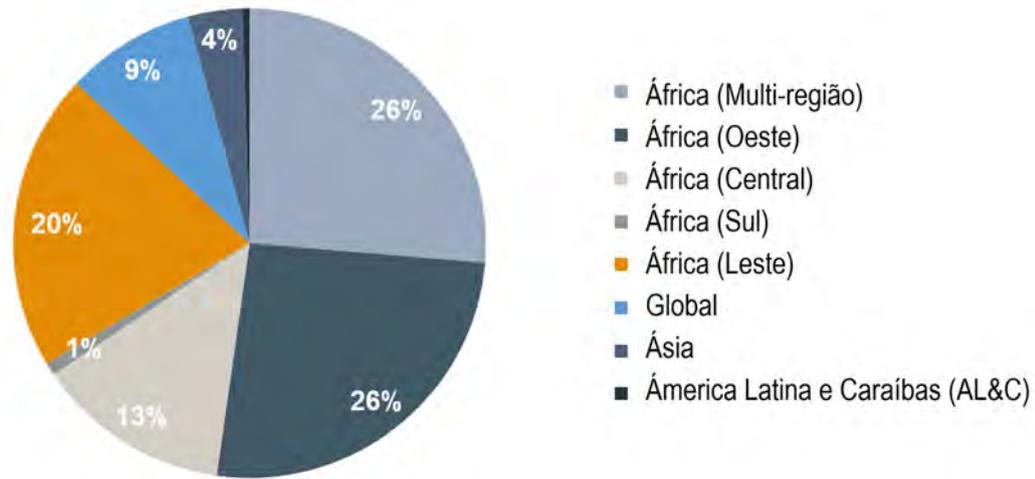
O financiamento total autorizado para os programas em curso, com base nos dados disponíveis, corresponde a mais de 3,1 mil milhões de dólares, como se pode verificar na Figura 2.15 e Figura 2.16 e abrange 377 programas. Mais de 2,7 mil milhões de USD do financiamento autorizado estão a ser canalizados para os países africanos, com 820 milhões de USD atribuídos a programas multi-regionais em todo o continente e 277 milhões de USD a financiar programas transcontinentais.

Figura 2.15 Financiamento total autorizado para programas em curso por região



Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM e em dados adicionais fornecidos pelo Banco Mundial.

⁹⁰ ESMAP. 2022. *Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers*.

Figura 2.16 Financiamento total autorizado para programas em curso por região

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM e em dados adicionais fornecidos pelo Banco Mundial.

O setor das mini-redes está a dar sinais de crescimento

O mercado das mini-redes começou a atrair a atenção de investidores com mentalidade comercial. Como referido anteriormente, o capital público disponível atualmente é limitado para satisfazer as necessidades de financiamento do setor. A escassez de projetos rentáveis restringe o investimento privado no setor. No entanto, mais recentemente, financiadores privados como a Stoa⁹¹ e a Triodos Investment Management⁹² têm procurado ativamente oportunidades de investimento no mercado das mini-redes, o que reflete um crescente interesse por parte de uma série de investidores, incluindo investidores de capital de risco, empresas de capital privado e instituições financeiras de desenvolvimento. Esta mudança indica um reconhecimento mais amplo do papel que as mini-redes podem desempenhar no acesso global à energia e nos objetivos de sustentabilidade, apresentando novas oportunidades de crescimento e impacto no setor da energia. Neste contexto, os investidores de impacto no setor das mini-redes estão também a reconhecer cada vez mais a necessidade de estarem preparados para assumir mais riscos.

Ao longo da última década, verificou-se uma mudança do capital de risco para o financiamento de projetos de infraestruturas. O crescente enfoque global no desenvolvimento sustentável, especialmente no acesso à energia, elevou o papel das mini-redes como uma solução viável para eletrificar comunidades remotas e rurais. Este reconhecimento tornou as mini-redes mais atrativas para um leque mais vasto de investidores, particularmente os que procuram retornos estáveis e a longo prazo associados a projetos de infraestruturas. Embora o financiamento do setor continue a ser um obstáculo significativo, surgiram novas fontes de capital e abordagens de financiamento que reconhecem as mini-

⁹¹ STOA. 2023. [STOA, DFC and Proparco join FMO and other existing investors in a USD 43 million equity investment in minigrid leader Husk Power Systems, to improve energy access in rural Sub-Saharan Africa and India.](#)

⁹² PV Magazine. 2023. [Minigrids edging closer to profitability.](#)

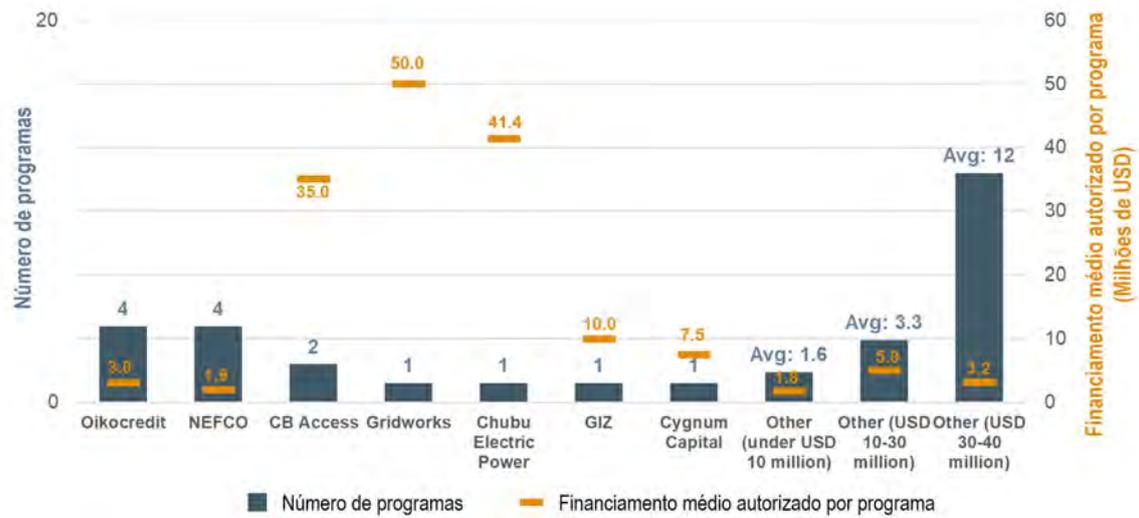
redes como ativos de infraestruturas críticas e não como meros empreendimentos comerciais. A transição do capital de risco para o financiamento de projetos de infraestruturas permite desenvolver horizontes de investimento mais longos com períodos de reembolso alargados e expectativas de retorno mais baixas que se alinham com os ciclos de vida dos projetos de mini-redes. Estes projetos são concebidos para benefício social a longo prazo, alinhando-se com a natureza das mini-redes que visam proporcionar um acesso sustentável e fiável à eletricidade, particularmente em zonas rurais e mal servidas. O capital de risco, no entanto, com a sua apetência por riscos e retornos mais elevados, continua a ser uma fonte de financiamento para áreas como plataformas tecnológicas, investigação e desenvolvimento e modelos de negócio inovadores no setor.

Os financiadores têm vindo a alocar, de forma ambiciosa, mais capital para apoiar a expansão

Os financiadores têm reconhecido a importância das mini-redes, levando na prática à atribuição de elevados montantes de financiamento a numerosos programas de mini-redes. A Figura 2.17 mostra que a Power Africa, o Banco Mundial, o PNUD e o GEAPP reivindicam o maior número de programas de mini-redes. Uma média de 8,3 milhões de USD é alocada por programa, com base nos dados recebidos.

Figura 2.17 Número de programas por financiador e financiamento médio autorizado por programa



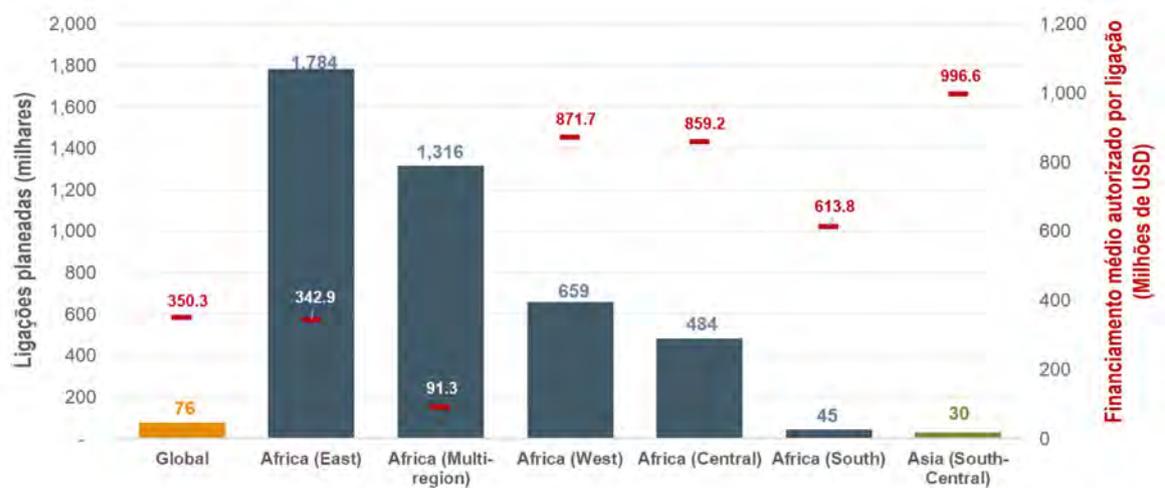


Nota: A categoria "Outros" engloba os financiadores que foram incluídos numa base de dados fornecida pelo Banco Mundial, desagregados pelo seu financiamento total autorizado.

Fontes: ECA analysis based on Mini-Grid Funders database provided by the Carbon Trust and data provided by the World Bank.

A ambição dos financiadores em termos de financiamento atribuído a programas de mini-redes também se traduz num grande número de ligações totais de mini-redes planeadas. Com base nos projetos para os quais foram fornecidos dados sobre ligações, o total de ligações planeadas é de 4,4 milhões, sendo o Banco Mundial responsável por 64 por cento das mesmas, seguido pelo BAD com 28 por cento. Os projetos que incidem sob África Oriental são os que têm mais ligações planeadas, com cerca de 1,7 milhões planeadas no total, como mostra a Figura 2.18. Seguem-se os projetos destinados a países de diferentes regiões de África (indicados como multi-regiões no gráfico abaixo), com 1,3 milhões de ligações planeadas. Com base nos mesmos projetos para os quais foram obtidos dados, o nível médio de financiamento autorizado por ligação é de 411 USD, sendo o nível mais elevado de financiamento por ligação atribuído a projetos que na Ásia Central e do Sul (996 USD), seguido de projetos para a África Central e Ocidental (872 USD e 860 USD, respetivamente).

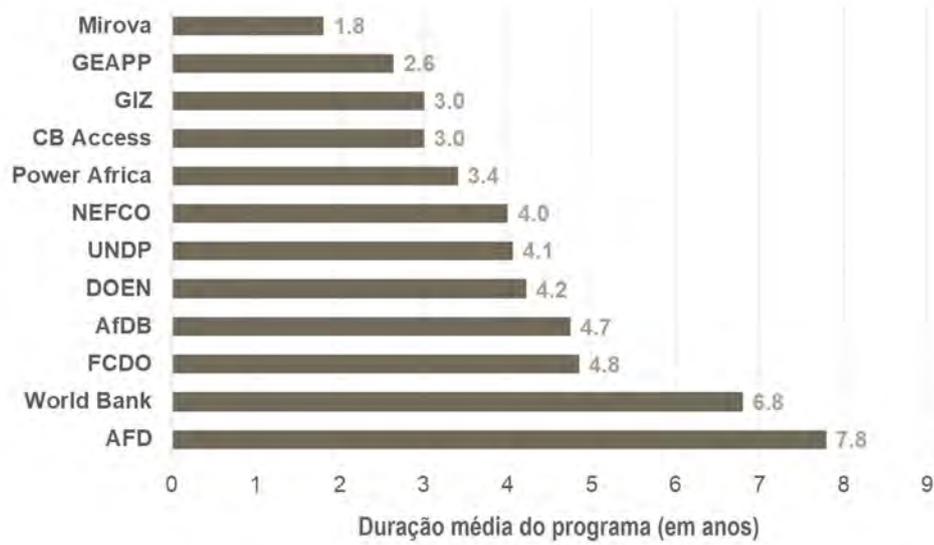
Figura 2.18 Financiamento médio autorizado por ligação planeada e número total de ligações planeadas para programas selecionados



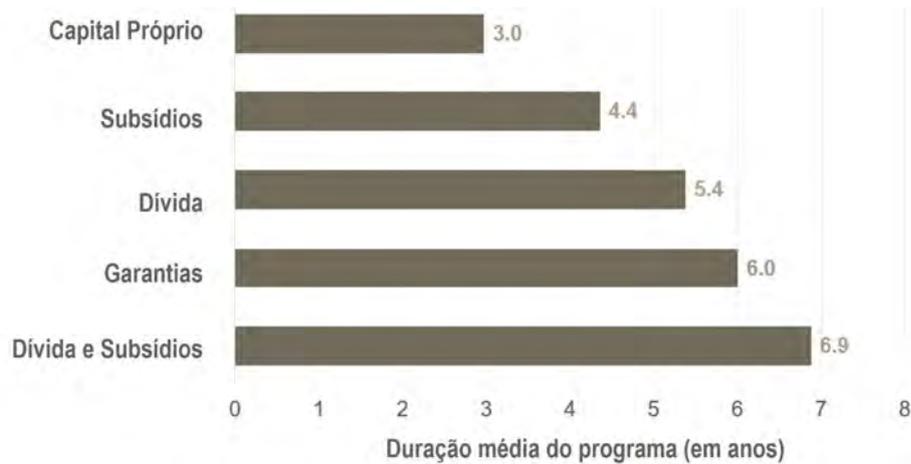
Nota: As categorias Global e Multi-região não representam médias, mas sim programas que visam mini-redes em todo o mundo ou em todas as regiões de um continente, respetivamente.

Fontes: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust e em dados fornecidos pelo Banco Mundial.

A duração dos programas de mini-redes varia muito consoante os financiadores e o tipo de financiamento. Varia entre aproximadamente dois anos para a Mirova e aproximadamente oito anos para a AFD. Os financiadores que lançaram programas com maior duração, nomeadamente a AFD, o Banco Mundial, o Foreign, Commonwealth and Development Office (FCDO) e o BAD, apresentados na Figura 2.19, também prestam assistência técnica na maioria dos seus programas (analisada mais adiante nesta secção). Os programas que incluem assistência técnica têm uma duração média de 5,4 anos, em comparação com menos de quatro anos para os programas em que não é prestada assistência técnica. Além disso, os programas financiados através de capital próprio, que podem envolver um risco mais elevado, mas uma execução mais rápida, tendem a ter uma duração mais curta, em comparação com estruturas financeiras mais complexas ou avessas ao risco (Figura 2.20).

Figura 2.19 Duração média do programa por financiador

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

Figura 2.20 Duração média dos programas por instrumento de financiamento primário

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM.

Estão a ser concebidos mecanismos inovadores para reduzir o risco dos investimentos em mini-redes

Um dos principais desafios no mercado das mini-redes é a percepção de um elevado nível de risco, particularmente no que diz respeito à procura. Ao contrário das empresas de serviços públicos convencionais ou dos produtores independentes de eletricidade, que dependem frequentemente de contratos de compra de eletricidade a longo prazo para obterem um fluxo de caixa estável, as mini-redes enfrentam um maior risco de flutuação da procura. Este risco é exacerbado pela necessidade de os operadores de mini-redes estimularem a procura para garantir a plena utilização das suas infraestruturas, um fator crítico

para a viabilidade bancária e a sustentabilidade destes projetos. Além disso, os desafios de financiamento são intensificados pelas flutuações cambiais, uma vez que a maior parte do financiamento está disponível em moedas fortes, como o dólar americano ou o euro, enquanto as receitas das mini-redes são cobradas em moeda local.

A utilização de financiamento misto público e privado, tanto ao nível do projeto como a nível do financiamento, tem sido crucial para colmatar o fosso entre a necessidade de soluções energéticas sustentáveis e a viabilidade financeira destes projetos. Este modelo combina diferentes formas de financiamento, tais como subvenções ou assistência técnica de agências de desenvolvimento, investimento de capital de investidores de impacto, e garantias e dívida para mitigar o risco e melhorar os retornos financeiros dos projetos de mini-redes. Esta abordagem não só atrai investidores comerciais que procuram retornos à taxa de mercado, como também atrai investidores de impacto que se concentram nos resultados sociais e ambientais dos seus investimentos. Embora a disponibilidade de financiamento da dívida para projetos de mini-redes continue a ser relativamente baixa, especialmente em África, o financiamento misto facilita a mobilização de mais financiamento da dívida. A combinação destas fontes de capital garante que os projetos não só têm impacto, mas também são comercialmente viáveis, abordando questões de sustentabilidade frequentemente observadas em projetos financiados apenas por doadores. Os modelos de financiamento misto podem ser particularmente inovadores, combinando subvenções, dívida para construção e financiamento baseado em resultados (FBR). No Bangladesh, por exemplo, a Infrastructure Development Company Limited (IDCOL) fornece financiamento ao abrigo de uma estrutura fixa, que inclui 50% de subvenções, 30% de empréstimos concessionais e 20% de capital próprio.⁹³ Este modelo provou ser bem-sucedido na mobilização de financiamento público e privado para o desenvolvimento do mercado de mini-redes.

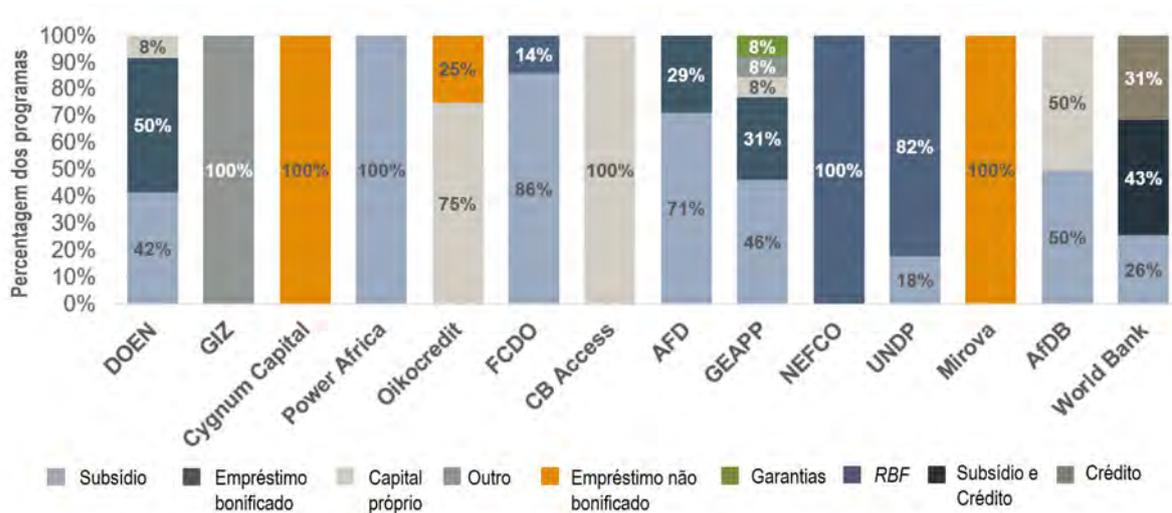
Os modelos de financiamento misto estão também a responder ao crescente apelo do setor para a criação de balcões únicos de financiamento. Considerando a urgência de garantir a rapidez no setor, os promotores e financiadores de mini-redes estão a reconhecer o papel fundamental que as plataformas de financiamento que abrangem uma variedade de instrumentos podem desempenhar. Por exemplo, a CEI Africa, um mecanismo financeiro incorporado pelo KfW em nome do Ministério Federal Alemão para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (BMZ), fornece uma abordagem de balcão único ao financiamento, oferecendo uma combinação de dívida, capital próprio e subvenções para apoiar o acesso à eletricidade.⁹⁴ O pré-financiamento parcial das subvenções está ligado a encomendas de equipamento para ajudar as empresas na fase de pré-construção, seguido de subvenções FBR para novas ligações, subvenções baseadas em resultados para a implementação de UPE em mini-redes em funcionamento, e dívida júnior e sénior, bem como pequenas tranches de capital próprio oferecidas em colaboração com credores coletivos, juntamente com assistência técnica.

⁹³ IDCOL

⁹⁴ Informações fornecidas pela GreenMax Capital Advisors.

Apesar da importância de alavancar um menu de instrumentos financeiros através de balcões únicos que se possam adaptar facilmente às necessidades de desenvolvimento de mini-redes em diferentes contextos, cerca de 40% dos financiadores do Grupo FGM utilizam apenas um único instrumento nos seus programas de mini-redes, como se mostra na Figura 2.21 abaixo.

Figura 2.21 Instrumentos de financiamento utilizados por financiador (percentagem de programas)

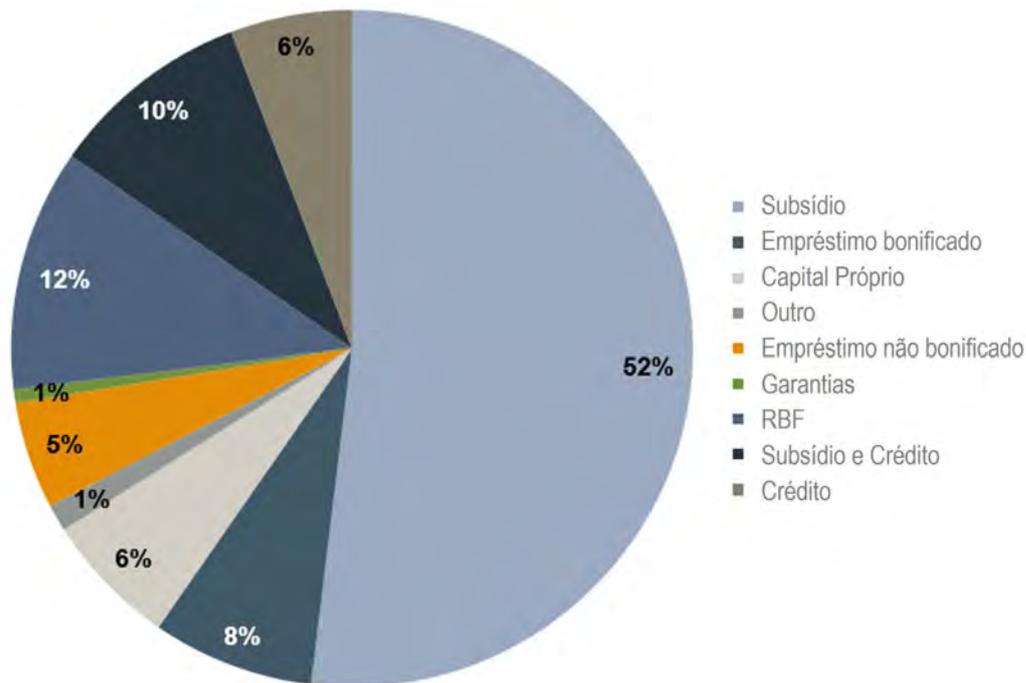


Nota: A repartição ilustra a afetação final do financiamento concedido pelo Grupo FGM, independentemente dos canais específicos através dos quais os fundos foram desembolsados.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

Reformular os instrumentos financeiros para fazer face às ineficiências nos desembolsos

Os programas de financiamento público, como os subsídios e os regimes FBR, desempenham um papel fundamental para colmatar as lacunas de viabilidade em zonas de difícil acesso, onde o desenvolvimento de mini-redes pode não ser imediatamente rentável. As subvenções e o FBR continuam a ser as principais modalidades de financiamento das mini-redes, como mostra se mostra na Figura 2.22FBRrepresentando o principal instrumento de financiamento para 52% e 12% dos programas liderados pelo Grupo MGF, respetivamente. Uma combinação de subsídios e crédito é utilizada em 10% dos programas, enquanto os restantes instrumentos são utilizados com menos frequência, sendo as garantias o instrumento de financiamento menos utilizado.

Figura 2.22 Percentagem de programas de mini-redes por instrumento de financiamento primário

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

No entanto, os programas de subsídios apresentam muitas vezes o seu próprio conjunto de desafios - os seus requisitos podem ser restritivos, com os promotores a encontrarem-se constantemente presos num ciclo de angariação de fundos para atingirem os níveis de capital exigidos para participar. Normalmente, têm também um prazo limitado, o que acrescenta outra camada de complexidade, uma vez que os projetos de mini-redes demoram mais tempo a desenvolver-se devido à necessidade de um extenso trabalho preparatório antes da construção, incluindo negociações com o regulador. As condições rigorosas impostas por estes programas podem inadvertidamente criar obstáculos aos promotores, complicando o caminho para a eletrificação nas zonas mais necessitadas. Este cenário sublinha a necessidade urgente de estabelecer estruturas de financiamento mais flexíveis e de apoio que possam acomodar os desafios únicos do desenvolvimento de mini-redes, especialmente em regiões remotas e mal servidas.

Alguns fornecedores de subsídios reconheceram a necessidade de racionalizar os seus processos para desembolsar recursos de forma mais eficiente aos promotores de projetos. Esta tendência emergente é fundamental para permitir que os promotores acedam ao financiamento inicial necessário, o que, por sua vez, os coloca em posição de procurar financiamento adicional para a expansão e sustentabilidade do projeto. Um excelente exemplo desta abordagem simplificada é o programa nigeriano de mini-redes, implementado pela Agência de Eletrificação Rural da Nigéria com o apoio do Banco Mundial. O modelo FBR simplifica o processo de candidatura a subsídios e de desembolso, reduzindo assim os encargos administrativos e acelerando a distribuição de fundos aos promotores. Esta simplificação não só acelera o ritmo de desenvolvimento dos projetos, como também cria uma base de estabilidade financeira, permitindo que os promotores se concentrem na expansão dos seus projetos e na exploração de outras vias de financiamento. A racionalização dos processos FBR

exige também que se resolva o problema do "pára-arranca" que os promotores enfrentam devido aos prazos rigorosos das janelas FBR. A Universal Energy Facility (UEF), apresentado na Caixa 2.15 foi criada para resolver este problema através da consolidação de diferentes fontes de financiamento de base comunitária num único instrumento de financiamento transversal de grande dimensão para garantir a continuidade do financiamento.⁹⁵ Um maior alinhamento entre as diligências devidas dos diferentes programas também seria benéfico. A existência de normas harmonizadas poderia aliviar ainda mais a carga administrativa dos promotores e garantir fluxos de financiamento mais fluidos e coerentes.

Caixa 2.15 Universal Energy Facility

A Universal Energy Facility (UEF) é um programa FBR de vários doadores criada para acelerar significativamente e aumentar o acesso à energia em toda a África Subsariana, fornecendo pagamentos de incentivos a organizações elegíveis que implementem soluções energéticas, incluindo mini-redes, e que forneçam ligações elétricas verificadas aos utilizadores finais com base em normas pré-determinadas.

A UEF foi criada pela SEforALL em colaboração com vários doadores e parceiros, incluindo a Fundação Shell, Fundação Rockefeller, Fundação IKEA, Power Africa, Good Energies, UK FCDO, Carbon Trust, BMZ, GIZ e AMDA, em resposta à crescente procura de FBR por parte do setor. Mais de 13 promotores privados de mini-redes apoiam o mecanismo.

A UEF paga subsídios a projetos de mini-redes aprovados de acordo com um incentivo baseado em resultados de 592 USD por ligação elétrica, independentemente do país em que a mini-rede esteja a funcionar.

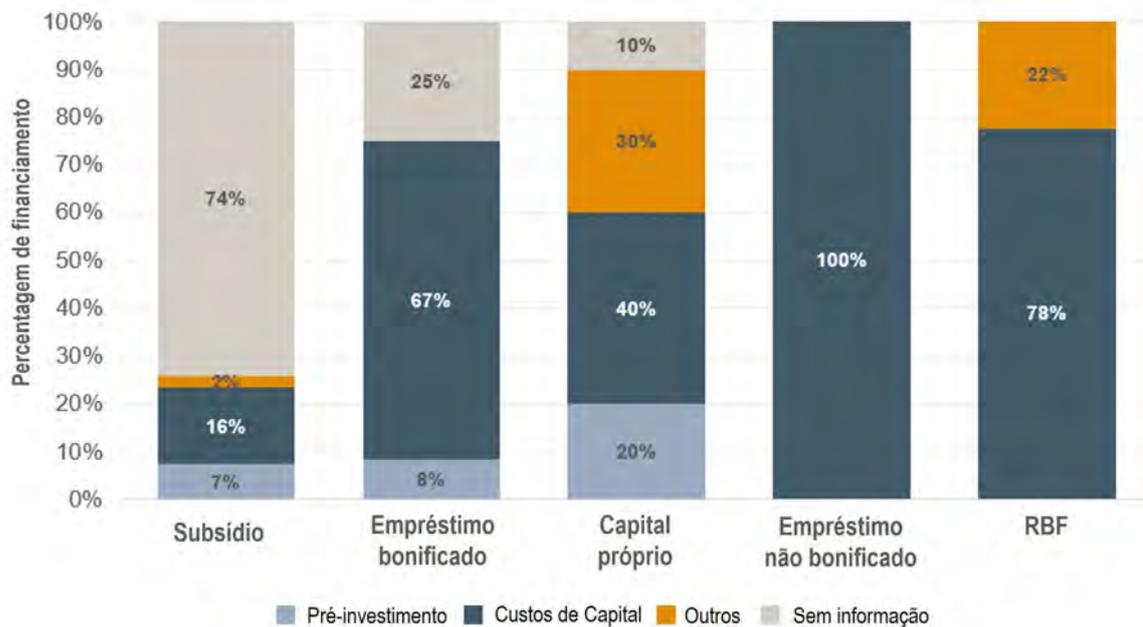
O pagamento do subsídio é efetuado depois de o gestor do programa da UEF verificar as instalações e as ligações. O processo de verificação pode ser realizado tanto à distância como fisicamente, através de visitas de verificação pelos agentes de verificação independentes. Além disso, os beneficiários são obrigados a cumprir os requisitos de qualidade e padrão de serviço da UEF.

Fonte: SEforAll. n.d. [Instalação Universal de Energia](#).

Reconhece-se a necessidade de estabelecer estruturas FBR mais flexíveis de forma a acomodar as diferentes necessidades e fases dos projetos de mini-redes, tal como salientado na Caixa 2.16. O FBR entra normalmente em ação numa fase bastante tardia da implementação; A Figura 2.23 mostra que a maioria do financiamento do FBR (bem como a maioria dos empréstimos bonificados e não-bonificados) visa a fase de custo de capital do desenvolvimento de mini-redes.

⁹⁵ Com base na entrevista do consultor com a GEAPP.

Figura 2.23 Percentagem de financiamento por fase de desenvolvimento das mini-redes e instrumento de financiamento primário



Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

Caixa 2.16 Incorporação da flexibilidade nos programas FBR

A dinâmica do mercado das mini-redes é específica de cada local, o que cria a necessidade de os contratos FBR serem adaptados, especialmente no que respeita a estruturas de incentivos, prazos de entrega e capacidade do sistema. Neste contexto, os promotores de projetos salientam a importância de o FBR ter "flexibilidade incorporada" como um fator-chave para o seu sucesso.

A importância da gestão adaptativa é também sublinhada pelo Energising Development (EnDev), o programa global de acesso à energia, para a implementação de um projeto FBR que visa o desenvolvimento do mercado. O acompanhamento contínuo do mercado, incluindo os produtos disponíveis, os principais intervenientes e o ambiente favorável, bem como a interação regular com os partes interessadas relevantes, são pré-requisitos para um mecanismo de apoio ao investimento que adapte a sua estratégia de acordo com os últimos desenvolvimentos do mercado.

A maior parte dos projetos FBR do EnDev adaptam as suas abordagens iniciais ao longo do tempo com base na experiência de implementação adquirida, em particular a estrutura de incentivos e os procedimentos de verificação, ou para lidar com grandes mudanças no ambiente favorável.

Fontes: Opinion piece provided by SEforALL; and GIZ. 2021. [Transforming energy access markets with results-based financing](#).

Os promotores necessitam de um financiamento substancial antes do desenvolvimento, o que leva a um défice significativo de financiamento nas fases iniciais dos projetos. Neste contexto, o FBR deve ser reestruturado de forma a poder ser desembolsado antes do desenvolvimento do projeto. Uma solução inovadora é um empréstimo perdoável, uma abordagem que tem sido utilizada pela CEI África (ver Caixa 2.17). Além disso, o Beyond the Grid Fund for Africa (BGFA), um mecanismo de financiamento plurianual que opera nos países da África Subsariana, funciona através de uma combinação de mecanismos inovadores de FBR

para as empresas de energia, de uma estreita cooperação com os governos e da recolha e análise de dados em tempo real. O BGFA tem como objetivo sincronizar a conceção das janelas de financiamento com as realidades do mercado, a fim de criar o máximo impacto através do FBR. É também prestada assistência técnica às empresas selecionadas para garantir que podem atingir os seus objetivos BGFA e aumentar de forma sustentável as suas operações nos mercados-alvo.⁹⁶

Caixa 2.17 Empréstimos perdoáveis para pré-financiamento do FBR: CEI África

A CEI África funciona como um balcão único para mini-redes verdes, oferecendo uma gama de instrumentos financeiros sob um único guarda-chuva, apoiado por um processo integrado de diligência devida. Os instrumentos financeiros disponíveis incluem subsídios do FBR, subsídios baseadas em resultados, dívida júnior e sénior e pequenas tranches de capital em parceria com credores coletivos.

A par dos subsídios do FBR, é concedido um empréstimo reembolsável. Para as novas ligações financiadas pelo FBR, a subvenção pode cobrir até 60% das despesas de capital, desembolsadas após verificação das novas ligações. O empréstimo perdoável pode ser oferecido até 30% do montante do subsídio aprovada, a uma taxa de juro de 1%. Ao atingir 30 por cento das ligações contratadas, o capital e os juros do empréstimo perdoável são totalmente perdoados. Se, após a concessão de prorrogações à discricção da CEI África, os promotores não conseguirem atingir esta meta, o empréstimo perdoável é convertido num empréstimo a prazo, com prazo e taxa de juro negociados.

O processo de diligência devida impõe um rigoroso controlo comercial a todos os candidatos a subvenções. É dada prioridade a empresas de renome com um historial comprovado na construção e operação de mini-redes, com estruturas de financiamento seguras. Embora o processo de diligência prévia reduza o risco de os projetos não cumprirem a etapa do empréstimo perdoável, continua a existir o risco de não recuperação do empréstimo em caso de incumprimento. A CEI África é capaz de absorver este risco devido à sua dependência de uma base de capital inteiramente financiada por subvenções.

Fonte: Informação fornecida pela Greenmax capital.

Os financiadores continuam a explorar garantias num esforço para atenuar o risco cambial

No contexto das recentes desvalorizações das moedas africanas e das consequentes pressões inflacionistas em todo o continente, o financiamento em moeda local⁹⁷ tem vindo a ganhar importância. Embora a maior parte do financiamento seja em moeda forte, o financiamento local é fundamental em mercados com taxas de câmbio voláteis, uma vez que reduz substancialmente o risco cambial que muitas vezes dissuade os investidores. Ao permitir que os investimentos sejam feitos na moeda local, estes instrumentos financeiros alinham os fluxos de receitas dos projetos de mini-redes com os seus custos de financiamento, mitigando assim o desfasamento que normalmente surge das flutuações cambiais. Este modelo está a revelar-se especialmente benéfico em países como a Nigéria, onde a volatilidade da moeda tem sido uma grande barreira à atração de investimento estrangeiro em projetos de infraestruturas, incluindo mini-redes. Um dos principais fornecedores de garantias no mercado é a GuarantCo, o braço de garantia de crédito do Private Infrastructure Development Group, que visa mobilizar

⁹⁶ REEEP. n.d. [Beyond the Grid Fund for Africa](#).

⁹⁷ IMF. 2023. [African Currencies Are Under Pressure Amid Higher-for-Longer US Interest Rates](#)

financiamento do setor privado em moeda local para infraestruturas em África e na Ásia. A variedade de garantias oferecidas, tais como crédito parcial, extensão de liquidez, portfólios e garantias para empreiteiros de engenharia, aquisição e construção (EAC), pode ser personalizada para fazer face a obstáculos de financiamento específicos. O montante de uma única transação é bastante elevado, entre 5 milhões e 50 milhões de dólares ou o montante equivalente em moeda local, limitando assim a sua aplicabilidade ao setor das mini-redes.⁹⁸ Da mesma forma, o InfraCredit fornece garantias para melhorar a qualidade de crédito dos instrumentos de dívida em moeda local. A vantagem adicional que o InfraCredit oferece, para além dos montantes mais reduzidos, é a taxa de juro fixa,⁹⁹ ao contrário da maioria dos financiamentos em moeda local, que apenas são fornecidos com taxas de juro flutuantes.¹⁰⁰ Isso é crucial no contexto da dívida em moeda local, porque, embora o risco cambial seja mitigado, as altas taxas de juros muitas vezes tornam esses instrumentos menos atraentes. Com a garantia do InfraCredit, a Darway Coast acedeu aos mercados de capitais de dívida nacional pela primeira vez em 2022, angariando com sucesso 0,80 mil milhões de NGN (~USD 550.000)¹⁰¹ através de uma obrigação a sete anos. Esta obrigação é complementada por 800 milhões de NGN em capital de empréstimo concessionário subordinado de primeira perda do FCDO, com o objetivo de apoiar mini-redes para servir casas e empresas fora da rede e mal servidas na Nigéria.¹⁰²

Além disso, a dependência excessiva do financiamento em moeda forte não permite a expansão dos mercados de capitais locais. Assim, as garantias que oferecem um reforço do crédito que melhora o perfil de risco e a notação do crédito em moeda local podem funcionar como um catalisador para expandir a participação dos bancos locais, dos fundos de pensões e dos investidores institucionais na oferta de financiamento em moeda local a projetos de mini-redes, em que são necessários perfis de maturidade mais longos. Isto é crucial para colmatar o substancial défice de investimento no mercado de financiamento de infra-estruturas.¹⁰³ É importante notar que o reforço das capacidades dos financiadores locais é frequentemente necessário para os ajudar a entrar neste setor. A expansão dos mercados de capitais locais poderia efetivamente reduzir os obstáculos à entrada dos promotores locais de menor dimensão, que têm mais dificuldades em obter financiamento de fontes internacionais do que os promotores internacionais.

Apesar da importância crescente da redução do risco cambial, a disponibilidade de financiamento em moeda local é ainda limitada. A Figura 2.24 mostra, entre o Grupo FGM, apenas o CrossBoundary Access e o PNUD fornecem financiamento em moeda local para a maioria dos seus programas, enquanto a maioria dos financiadores, incluindo os doadores que têm numerosos programas de mini-redes, como o Banco Mundial, o GEAPP, o BAD e a AFD, não fornecem esse financiamento.

⁹⁸ GuarantCo. 2024. [Enabling Infrastructure Development](#).

⁹⁹ InfraCredit. 2024. [InfraCredit's Guarantee Supported by UK-Funded Climate Finance Blending Facility](#).

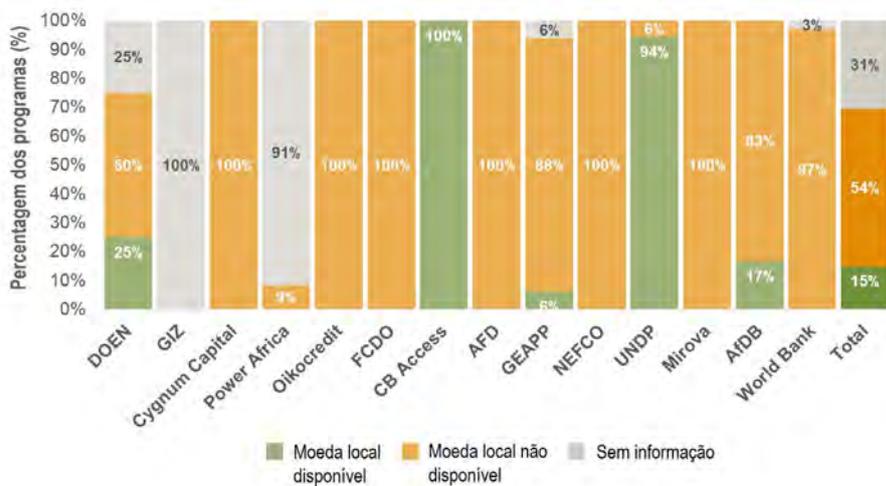
¹⁰⁰ AfDB. 2020. [Exploring the role of guarantee products in supporting local currency financing of sustainable off-grid energy projects in Africa](#).

¹⁰¹ Com base numa taxa de câmbio de 1 USD = 1.448,28 NGN.

¹⁰² InfraCredit. 2023. [Providing distributed renewable energy via solar hybrid mini grid solutions](#).

¹⁰³ GuarantCo. 2020. [Enabling local currency solutions in addressing the infrastructure financing gap](#)

Figura 2.24 Percentagem de programas de mini-redes com financiamento em moeda local, por financiador



Nota: A repartição representa a alocação final do financiamento concedido pelo Grupo FGM, independentemente dos canais específicos através dos quais os fundos foram desembolsados.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM fornecida pelo Carbon Trust.

Para além de mitigar o risco cambial, as garantias podem também resolver o desfasamento entre os prazos de empréstimo oferecidos no setor e o horizonte de longo prazo normalmente exigido para a rentabilidade das mini-redes. Como explicado na Caixa 2.18, uma garantia de "extensão de prazo" forneceria uma solução inovadora para este desfasamento e daria às mini-redes o tempo necessário para construir uma base de clientes rentável.

Caixa 2.18 Garantias de extensão de prazo

Nos Estados Unidos, durante a década de 1930 quando apenas 10% dos agricultores tinham ligações elétricas, o governo aprovou a Lei da Eletrificação Rural, que permitia a concessão de empréstimos bonificados a longo prazo às cooperativas. Os empréstimos eram concedidos a taxas de juro ligeiramente superiores ao custo de empréstimo do governo, fixado em cerca de 2%¹⁰⁴. Estes empréstimos não só foram bem-sucedidos na aceleração da eletrificação rural, como também foram quase todos reembolsados antecipadamente, uma vez que estimularam novas e não planeadas utilizações produtivas da eletricidade.

África necessita urgentemente de crédito de acesso fácil em moldes semelhantes. Atualmente, os investidores esperam um retorno de dois dígitos em moeda forte no prazo de cinco a sete anos, apoiados por garantias físicas dos activos dos promotores. Contudo, os projetos de mini-redes têm uma duração de 10 a 20 anos, uma vez que os prazos mais longos permitem preços de eletricidade mais baixos, necessários para os clientes com baixos rendimentos, e apoio político e regulamentar. Além disso, os projetos são frequentemente desenvolvidos por cooperativas ou empresas em fase de arranque com ativos físicos limitados. Consequentemente, os **prazos dos empréstimos e os requisitos de garantia são extremamente desfasados das necessidades das mini-redes**, criando problemas de tesouraria nos primeiros cinco a sete anos de projetos que, de outro modo, seriam viáveis.

¹⁰⁴ Lei de Eletrificação Rural dos EUA de 1936

Os atuais instrumentos de apoio financeiro tentam cada vez mais aproximar-se do impacto dos empréstimos e garantias concessionais de longo prazo: os subsídios tentam reduzir os custos iniciais e os requisitos de empréstimo; os regimes FBR aumentam os retornos nos primeiros anos, quando são devidos elevados reembolsos de empréstimos; e alguns dos poucos regimes de garantia existentes oferecem garantias parciais de oito anos ou mais para empréstimos a promotores de mini-redes. Infelizmente, muitos destes mecanismos de apoio estão dependentes de programas de doadores ad hoc e limitados no tempo.

No entanto, a maioria dos fundos provém de instituições financeiras de desenvolvimento (tanto de capital próprio como de dívida) e tendem a ficar com gestores de fundos, que têm mandatos de dez anos, no máximo, para os seus fundos e não podem, de forma realista, prolongar os prazos dos seus empréstimos para além da existência do seu fundo. No entanto, se os empréstimos fossem acompanhados por uma **garantia de extensão do prazo**, poderiam ser emitidos para os tão necessários 20 anos, dando à mini-rede tempo para construir clientes rentáveis. O que não tivesse sido cobrado sobre o empréstimo no momento do encerramento do fundo de dez anos passaria a ser da responsabilidade do fiador. O mutuário continuaria a ser obrigado a efetuar os reembolsos, mas estes poderiam ser canalizados para um novo veículo ou para outro fundo. Assim, não há necessariamente uma perda associada a este tipo de garantia, mas o mutuante - o fundo a dez anos - é indemnizado pelo garante.

O alongamento do pagamento dos empréstimos, como aconteceu na década de 1930 com o governo dos Estados Unidos, teria o mesmo efeito de tornar mais económico o acesso à energia. Uma vez mais baratas, as muitas utilizações da eletricidade tornam-se acessíveis aos clientes rurais.

Fonte: Esta caixa é da autoria de Michael Feldner e Maurice Pigaht da GET.invest Finance Access Advisory.

Alavancar as opções de financiamento do clima como fontes de receitas adicionais

Novos mecanismos de financiamento inovadores, como os Créditos de Energia Renovável Distribuída (Distributed Renewable Energy Credits - D-RECs) e os Créditos de Energia Renovável de Paz (Peace Renewable Energy Credits - P-RECs), estão a ser explorados para apoiar projetos de mini-redes. Nuru, uma empresa social internacional, por exemplo, vendeu com sucesso P-RECs, uma forma de crédito de energia que não só representa a produção de energia renovável, mas também traz benefícios sociais e ambientais adicionais. A Energy Peace Partners¹⁰⁵ desempenha um papel fundamental neste ecossistema, ao ser responsável pela verificação, validação e processamento destes RECs. Ao vender estes créditos, a Nuru tem conseguido assegurar o financiamento de aspetos críticos das suas operações, como as despesas de capital. Por exemplo, os RECs vendidos à Google ajudaram a financiar as suas despesas de capital iniciais, demonstrando um modelo viável para financiar o desenvolvimento de infraestruturas.¹⁰⁶ Além disso, a venda de RECs da Nuru à Microsoft demonstrou a versatilidade deste modelo de financiamento, apoiando a expansão de projetos de iluminação pública e permitindo a ligação de centenas de novos clientes.¹⁰⁷ Esta abordagem não só contribui para a sustentabilidade financeira das empresas de mini-redes, como também alinha investidores como a Google e a Microsoft com iniciativas de energia renovável com impacto, criando um cenário vantajoso tanto para os fornecedores de energia como para as empresas

¹⁰⁵ [Parceiros para a paz energética](#)

¹⁰⁶ Baseado na entrevista do consultor com Nuru.

¹⁰⁷ Renewables Now. 2022. [Microsoft buys more certificates to back solar mini-grid in DR Congo.](#)

compradoras de RECs. Para catalisar os benefícios dos P-RECs, o Mecanismo de Agregação de P-RECs foi concebido para fornecer pagamentos antecipados aos promotores, permitindo-lhes ultrapassar as barreiras financeiras. Com a capacidade de celebrar contratos antecipados e fornecer financiamento antecipado de P-REC aos promotores antes da data de operação comercial, o mecanismo visa acelerar o desenvolvimento de projetos.

A escala (do original, scale) tornou-se um fator-chave na sustentabilidade financeira das mini-redes

A agregação de projetos de mini-redes está a emergir como uma estratégia crucial para garantir o financiamento, particularmente quando se trata de uma combinação de locais maiores e mais pequenos. Esta abordagem, que envolve o agrupamento de vários projetos, permite aos promotores alavancar economias de escala, tornando o empreendimento global mais atrativo para os investidores. As economias de escala refletem-se tanto nos custos materiais como nos custos não materiais das mini-redes. Em termos de custos duros, ao combinar os recursos e as necessidades de diferentes projetos, os promotores podem obter condições mais favoráveis na aquisição de equipamento, tendo uma maior influência junto dos fornecedores e reduzir os custos por unidade através de descontos nos preços por grosso. Esta negociação eficaz com fornecedores e empreiteiros conduz a eficiências de custos que podem melhorar significativamente a viabilidade financeira dos projetos. Em termos de custos não recorrentes, a agregação também ajuda a simplificar a gestão do projeto. As diligências técnicas, jurídicas e financeiras e o acompanhamento dos ativos tornam-se mais morosos e complexos com vários pequenos ativos do que com um grande ativo.

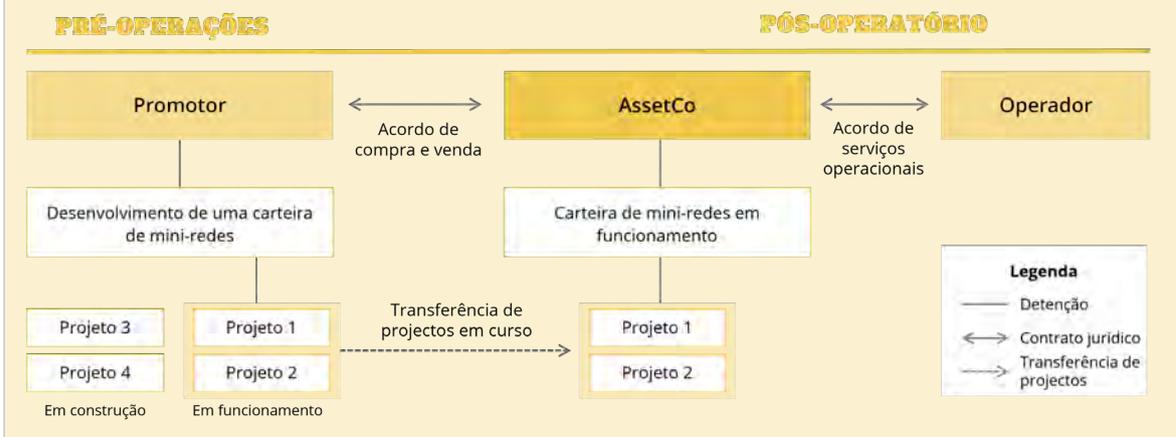
Esta agregação pode ser conseguida através do agrupamento de locais em portfólios ou através de plataformas de agregação. Os agregadores no espaço oferecem oportunidades para a agregação de compras de equipamento, aprovisionamento e logística, o que facilita aos promotores mais pequenos a obtenção de economias de escala na implementação de mini-redes, permitindo-lhes ter uma voz mais forte em comparação com a operação individual. Esta estratégia também apresenta um argumento mais convincente para os financiadores, que muitas vezes preferem investir em carteiras maiores e diversificadas que oferecem um risco reduzido e potenciais de retorno melhorados. Assim, a agregação não só torna os projetos individuais de mini-redes mais economicamente viáveis, como também abre caminho a um desenvolvimento mais sistemático e eficiente das iniciativas de eletrificação rural, contribuindo para a escalabilidade e sustentabilidade do setor das mini-redes como um todo. A Caixa 2.19 destaca o papel fundamental da agregação no modelo financeiro da CrossBoundary.

Caixa 2.19 Modelo financeiro da CrossBoundary para mini-redes

O modelo financeiro da CrossBoundary para mini-redes demonstra como os investimentos em mini-redes podem ser estruturados para se assemelham a investimentos em infraestruturas tradicionais, atraindo assim capital para infraestruturas. Este modelo enfatiza o isolamento de ativos, a alocação de riscos e a agregação para corresponder às seguintes necessidades dos investimentos em infraestruturas:

- Circunscrever os ativos (**isolar**): Os ativos das mini-redes são isolados transferindo-os, uma vez concluída a construção, do balanço da empresa que os desenvolve e constrói para uma empresa criada especificamente para deter os ativos (uma empresa de ativos, AssetCo). Todos os contratos, licenças e equipamentos são propriedade da AssetCo, propriedade da CrossBoundary.
- Contratos fixos a longo prazo com incentivos (**alocar**): Os riscos e custos existentes antes da entrada em funcionamento e da venda são alocados através de um contrato-promessa compra e venda, e os riscos e custos após a entrada em funcionamento e a venda são alocados através de um acordo de serviços operacionais a longo prazo.
- Escala (**agregar**): Para atingir a escala, a CrossBoundary agrega vários AssetCos numa única plataforma de investimento (uma HoldCo) que é suficientemente grande para angariar capital e dívida mezanino dos investidores.

Figura 2.25 Modelo de financiamento transfronteiriço para mini-redes



Fonte: CrossBoundary (2020). Financiamento [Open-sourcing infrastructure finance for mini-grids](#).

Reconhecer a importância de apoiar os atores locais

Cada vez mais se reconhece a importância de apoiar os atores locais. Embora as entidades internacionais possam trazer ativos valiosos, como a tecnologia, o conhecimento e o acesso a redes financeiras globais, as empresas e os líderes locais possuem frequentemente conhecimentos únicos sobre as complexidades das suas comunidades e podem oferecer contributos valiosos para o êxito do projeto. Muitos projetos de sucesso envolvem parcerias entre fundadores locais e parceiros internacionais. Reconhecendo a importância de estimular o talento local, empresas como a CrossBoundary estão a identificar e a apoiar ativamente candidatos promissores no âmbito dos seus projetos. Adicionalmente, iniciativas como os workshops para investidores (ver Caixa 2.20) estão a facilitar as ligações entre investidores e empresas locais, reconhecendo as diversas necessidades e pontos fortes do mercado.

Este apoio crescente às empresas locais não só promove o desenvolvimento sustentável destas comunidades, como também incentiva a inovação e a concorrência no setor, contribuindo em última análise para um ecossistema de mini-redes mais robusto e resiliente.

Caixa 2.20 Workshops para investidores realizados pela EEP África

Embora o financiamento através de subsídios desempenhe um papel fundamental nas fases iniciais de teste, atingir escala e sustentabilidade financeira requer a garantia de financiamento subsequente por parte de investidores comerciais. A EEP África tem vindo a organizar fóruns de investidores na África Oriental e Austral desde 2016, que apresentam investidores regionais e internacionais a empresas emergentes de mini-redes, catalisando oportunidades de investimento. Cada evento é personalizado para um único investidor, incluindo a Charm Impact, a SunFunder, a Camco e a Lendahand. Com base no perfil do investidor - oferta de financiamento e dimensão do bilhete - um pequeno grupo de empresas com necessidades de financiamento adequadas é convidado a apresentar o seu caso. O fórum também permite discussões sobre os critérios de investimento e os desafios enfrentados pelas empresas locais e em fase inicial, com o objetivo de melhorar a compreensão das necessidades e prioridades tanto dos investidores como das empresas. Este tipo de *matchmaking* personalizado apresenta efetivamente aos investidores empresas locais e em fase de arranque promissoras e ajuda a fomentar relações que deverão beneficiar todas as partes interessadas.

Fontes: EEP África. 2021. [Abrir o acesso ao financiamento através de workshops para investidores](#); e EEP África. 2021. [Crescer para além do financiamento por subvenções](#).

A necessidade de apoiar os atores locais deve refletir-se na conceção dos mecanismos de financiamento. Por exemplo, ao implementar uma FBR, as iniciativas maiores e multinacionais excluem-nos frequentemente locais, o que é contrário ao objetivo da FBR, nomeadamente a criação de um ecossistema de intervenientes que adaptem os seus serviços às necessidades locais e respondam à dinâmica local.¹⁰⁸ Reconhecer que a concretização do acesso universal à energia exige mais empresas de mini-redes, e empresas locais em particular, implica a necessidade de uma abordagem adaptativa por parte dos gestores de FBR, em que a conceção do fundo, os critérios de elegibilidade e as condições de financiamento sejam adaptados para apoiar a participação de empresas locais.

Há uma maior necessidade de assistência técnica e de partilha de conhecimentos devido aos requisitos rigorosos de diligência devida

Os critérios de viabilidade financeira e de diligência devida dos financiadores estão bastante standardizados no setor. Uma diligência devida minuciosa, incluindo avaliações financeiras e ambientais, sociais e de governação (ASG), é crucial para garantir a sustentabilidade e o impacto dos projetos de mini-redes. Os critérios utilizados pelos financiadores são semelhantes em todo o setor. Por exemplo, o Oikocredit foca-se primeiro na existência de um quadro favorável mais alargado, incluindo políticas e regulamentos favoráveis e mecanismos de financiamento público. A experiência do promotor é então avaliada com base no número de ligações conseguidas até à data (são necessárias pelo menos 5 000 ligações) e na capacidade de navegar pelos níveis e estruturas governamentais (como os reinos na Nigéria). Por último, são avaliados os conhecimentos técnicos e a prestação de um serviço de

¹⁰⁸ SNV and Sunfunder. 2021. [Why localisation matters for financing off-grid energy](#).

acompanhamento ao cliente.¹⁰⁹ Estas e outras considerações são refletidas em dois cartões de pontuação que asseguram uma diligência devida completa: o cartão de pontuação do risco de viabilidade do projeto, que avalia o desempenho financeiro da empresa; e o cartão de pontuação ASG, que analisa o impacto ambiental e social e a governança de um potencial parceiro.¹¹⁰

Para além da devida diligência financeira, a EnDev também procura uma forte presença local e um historial dos promotores.¹¹¹ A Charm Impact, um fornecedor de financiamento de dívida em fase inicial, destaca três aspetos fundamentais do seu processo de diligência prévia: fluxo de caixa (economia da unidade, despesas operacionais e margens de lucro); a equipa e a experiência da empresa; e a seleção e gestão de clientes.¹¹² No entanto, o setor apela cada vez mais a uma maior partilha de análises e documentação de diligência devida entre os investidores, bem como a um maior alinhamento dos quadros de monitorização do risco e do impacto.¹¹³

A standardização dos mecanismos de informação e dos quadros de monitorização do impacto está a ganhar força entre a comunidade de doadores e investidores. A fragmentação dos requisitos de informação dos vários programas financiados por doadores, bem como dos mecanismos necessários para a gestão de riscos, pode representar custos significativos para os promotores de mini-redes, atrasando a aplicação de capital. Um exemplo de uma abordagem standardizada para a identificação e gestão do risco ambiental e social são as Normas de Desempenho da IFC, que servem de referência internacional para avaliar o desempenho ambiental e social de um projeto. Cada vez mais, muitas instituições de financiamento do desenvolvimento e investidores exigem que os promotores de projetos que recebem financiamento cumpram as Normas de Desempenho da IFC para garantir a integridade ambiental e social dos projetos.¹¹⁴

Em linha com a necessidade de envolver os atores locais, é necessário mais apoio para as empresas de mini-redes em fase inicial, especialmente as empresas locais, de modo a cumprir os rigorosos requisitos de diligência devida dos financiadores. Através das suas atividades de apoio à preparação para o investimento, a Mirova identificou as seguintes lacunas nas capacidades financeiras das pequenas empresas locais: estruturação do capital e opções de financiamento; planeamento do fluxo de caixa; economia unitária e modelação financeira; apoio contabilístico e formação para criar relatórios financeiros de alta qualidade; apoio jurídico para ajudar a compreender a documentação do empréstimo e formação sobre acordos; dados do utilizador final e análise da saúde da carteira.¹¹⁵ Os empréstimos mais pequenos e o apoio de preparação para o investimento que acompanham as empresas locais resultam em custos de transação elevados, o que muitas vezes as torna pouco atrativas para os credores comerciais. Um maior apoio dos doadores sob a forma de assistência técnica para colmatar

¹⁰⁹ Baseado na entrevista do consultor com a Oikocredit.

¹¹⁰ Oikocredit. 2023. [Financial inclusion: How does Oikocredit select its partners?](#)

¹¹¹ Com base na entrevista do consultor com a EnDev.

¹¹² EEP Africa. 2021. [Growing Beyond Grant Funding.](#)

¹¹³ MGP. 2023. [MGP newsletter, December 2023.](#)

¹¹⁴ REPP and AMDA. 2018. [Developing Mini-grids to IFC Environmental & Social Performance Standards.](#)

¹¹⁵ SNV and Sunfunder. 2021 [Why localisation matters for financing off-grid energy](#)

estas lacunas é crucial para ajudar as empresas a absorver os investimentos de crescimento e a expandir as suas atividades.

É necessário mais apoio (não financeiro) para reforçar as capacidades das empresas e criar um historial sólido. Estas incluem atividades como a definição do âmbito do mercado, a formulação de um plano de negócios claro e de uma via de crescimento viável, bem como a metodologia e a medição dos aspetos ASG e do impacto.¹¹⁶ A aprendizagem conjunta sobre estes aspetos pode ser facilitada através do intercâmbio de conhecimentos entre promotores, tendo em conta a necessidade de acelerar o tempo necessário para a preparação para o investimento. De um modo geral, a prestação de assistência técnica a empresas locais deverá incentivar a expansão necessária para alcançar o acesso universal e contribuir para o crescimento inclusivo do mercado das mini-redes.

Tendências tecnológicas

Produção

Diminuição do custo dos componentes das mini-redes

Ao longo dos últimos anos, os componentes utilizados na construção de mini-redes registaram reduções de preço significativas, melhorando a viabilidade financeira destes projetos. A diminuição do custo dos módulos fotovoltaicos, dos inversores, das baterias (especificamente de iões de lítio), dos inversores de bateria e dos contadores inteligentes tem sido fundamental para impulsionar o crescimento global do setor.

Os preços da energia fotovoltaica baixaram, em parte, devido ao aumento da oferta para satisfazer a procura de projetos muito maiores. Na última década, o custo médio de um painel solar fotovoltaico diminuiu em cerca de 90 por cento.¹¹⁷ O volume de energia fotovoltaica instalada em todo o mundo duplicou de dois em dois anos nas últimas cinco décadas. Este aumento da oferta foi acompanhado por uma redução consistente dos preços, de cerca de 23% por cada duplicação do volume. Entre novembro de 2022 e dezembro de 2023, os preços da energia fotovoltaica caíram ainda mais, cerca de metade. Além disso, prevê-se que o custo da energia solar continue a diminuir até 2030.¹¹⁸

Como se pode ver na Figura 2.26, no período compreendido entre 2020 e 2022 registou-se um desvio da tendência verificada à décadas que mostrava uma descida constante dos preços. Esta anomalia de curto prazo pode ser atribuída ao impacto da COVID-19, exacerbado pela invasão da Ucrânia pela Rússia. A pandemia global de COVID-19, com início em 2020, causou estragos nas cadeias de abastecimento mundiais, resultando em escassez e volatilidade dos preços do PV. A perturbação da cadeia de abastecimento foi ainda mais amplificada pelas

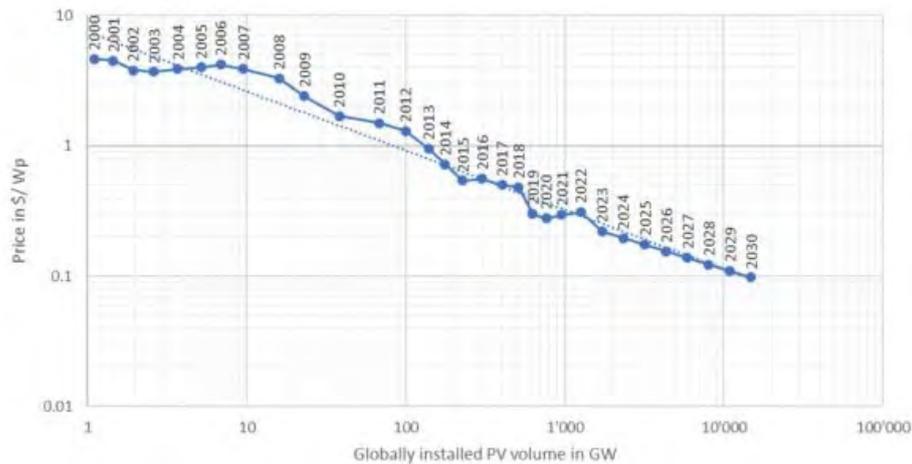
¹¹⁶ SNV and Sunfunder. 2021. [Why localisation matters for financing off-grid energy](#)

¹¹⁷ Inteligência de Mordor. 2023. Tamanho do mercado de geração de energia solar distribuída e análise de participação - tendências de crescimento e previsões (2024-2029).

¹¹⁸ PV Magazine. 2023. [Empirical approach shows PV is getting cheaper than all the forecasters expect.](#)

reverberações amplamente sentidas da invasão da Ucrânia pela Rússia. Apesar deste desafio de curto prazo, os últimos dois anos sugerem que o mercado fotovoltaico está de volta à sua trajetória de longo prazo de preços em declínio constante.¹¹⁹

Figura 2.26 Volume fotovoltaico previsto e custos dos módulos até 2030



Fonte: Revista PV. 2023. [A abordagem empírica mostra que a energia fotovoltaica está a ficar mais barata do que todos os analistas esperam.](#)

Novos materiais, como as células de perovskita, e métodos de fabrico foram também aproveitados para reduzir os custos, melhorando a eficiência e a durabilidade da energia fotovoltaica. Em comparação com as células fotovoltaicas de silício, as células de perovskita requerem um processo de fabrico muito menos intensivo devido à sua flexibilidade. No entanto, devido ao facto de o silício já ter sido objeto de grandes investimentos e de ser um operador histórico no mercado, a transição para a adoção total da perovskita é menos simples. Nos últimos cinco anos, as "células tandem", ou seja, as células fotovoltaicas construídas através da combinação de ambos os materiais de forma complementar, foram adotadas como uma solução provisória promissora.¹²⁰

As tendências de preços dos inversores tendem a ser objeto de maiores nuances, uma vez que existe uma variedade de inversores no mercado, incluindo os híbridos PV e os baseados em transformadores, cada um com diferentes tipos de componentes tecnológicos. No entanto, em geral, o fabrico de inversores expandiu-se nos últimos anos. O crescimento de novos casos de utilização de eletrificação, como o carregamento de veículos elétricos e a maturação de nichos de mercado (incluindo o setor da energia renovável distribuída), também levou à inovação no mercado. Embora as tendências exatas de preços sejam mais difíceis de discernir, o desenvolvimento de inversores está a tender para produtos que requerem menos manutenção e que são construídos para a longevidade.¹²¹

¹¹⁹ PV Magazine. 2023. [Empirical approach shows PV is getting cheaper than all the forecasters expect.](#)

¹²⁰ The Economist. 2018. [A new type of solar cell is coming to market.](#)

¹²¹ PV Magazine. 2022. [2022 review in trends: Inverters.](#)

As inovações no mercado, como a concepção modular e a agregação, estão a reduzir ainda mais os custos dos projetos de mini-redes

A par das inovações ao nível dos componentes específicos utilizados na construção de uma mini-rede, a concepção geral dos sistemas evoluiu. Os programadores estão a optar por designs mais simples, com componentes "plug-and-play" e soluções em contentores. Por exemplo, a Zhyphen desenvolveu a sua "Rede Instantânea", que tem um design modular único que pode ser montado em poucas horas e acomoda facilmente aumentos na procura de energia.¹²² Esta abordagem foi aproveitada pelo Institute for Transformative Technologies (ITT) na Índia, através do seu sistema de mini-rede pré-montado, "Utility in a Box", que pode ser instalado em poucos dias. De forma semelhante, outros promotores de projetos, como a AlphaESS e a JINKO Solar, oferecem agora uma solução chave-na-mão que é pré-cablada e testada antes do envio, para que a instalação no local possa ser perfeita.

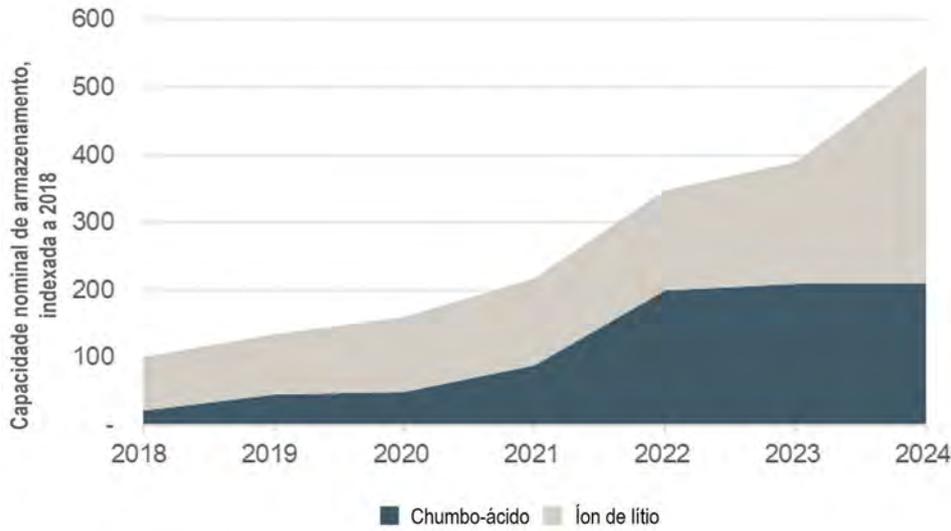
Além disso, à medida que o setor amadureceu, é menos comum que um projeto de mini-rede seja desenvolvido isoladamente. Mais especificamente, as empresas optaram por desenvolver portfólios de mini-redes, em vez de projetos isolados. Notavelmente e discutido mais à frente nesta secção, a mudança para o desenvolvimento de um portfólio, em vez de um único projeto, presta-se a inovações tecnológicas que podem normalizar e agregar dados do local. Além disso, muitas vezes estes sistemas estão prontos para a interligação à rede e utilizam componentes tecnológicos inteligentes, como contadores inteligentes e o mais recente equipamento fotovoltaico, inversor e bateria. É importante notar que estes projetos estão cada vez mais a incorporar tecnologias de utilização produtiva nos seus modelos de negócio.

Armazenamento

Aumentar a prevalência e reduzir os custos das baterias de iões de lítio

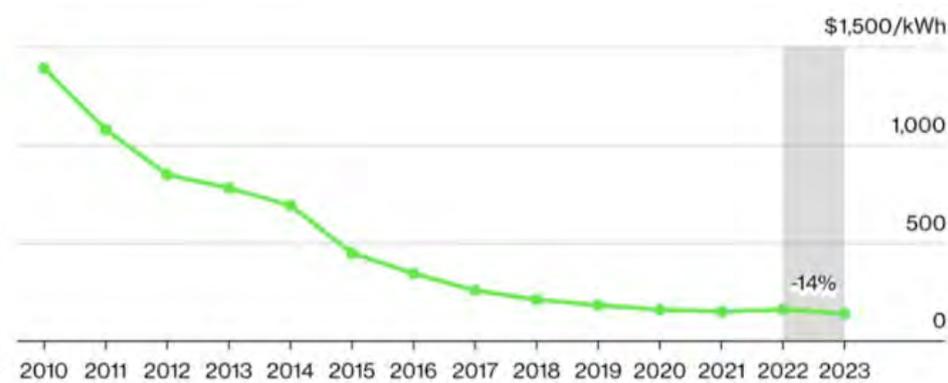
As baterias de iões de lítio tornaram-se cada vez mais a preferência dos promotores de mini-redes em relação às contrapartes de chumbo-ácido. Em 2021, os custos das baterias de iões de lítio eram, em média, de aproximadamente 123 USD por kWh, enquanto os das de chumbo-ácido eram de cerca de 200-220 USD por kWh. Prevê-se que os preços das baterias de iões de lítio continuem a diminuir na próxima década, com algumas projeções a estimar um preço de cerca de 75 dólares por kWh até 2030. As baterias de iões de lítio também tendem a ter um tempo de vida mais longo, maior eficiência e menor necessidade de manutenção em comparação com as baterias de chumbo-ácido. Ainda assim, diferenças específicas do local poderão levar um promotor de mini-redes a selecionar as baterias de chumbo-ácido em vez das de iões de lítio. Por exemplo, o chumbo-ácido pode ser preferido quando a procura de energia de um sistema não é muito elevada.

¹²² Zhyphen. n.d. [Africa and Off-Grid Medical Facilities: Malawi](#)

Figura 2.27 Capacidade nominal de armazenamento, indexada a 2018

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados MGA.

No que diz respeito aos custos das baterias, o mercado registou uma descida de preços na última década. De acordo com a análise de 2023 da BloombergNEF, o preço médio das baterias caiu 14% em 2023, passando de 161 USD/kWh em média em 2022 para 139 USD/kWh em média em 2023, como mostra a Figura 2.28. As reduções de custos das matérias-primas parecem ser o principal fator em jogo, e não apenas a inovação tecnológica, que contribuiu para as descidas de preços nos anos anteriores. Os peritos preveem que os custos das baterias continuarão a diminuir nos próximos anos, com algumas projeções a estimarem um preço inferior a 100 USD/kWh em 2027.¹²³

Figura 2.28 Diminuição dos preços das baterias de íões de lítio, 2019-2023

Nota: A linha verde representa o preço médio ponderado por volume de uma bateria de íões de lítio em dólares reais de 2023.

Fonte: BloombergNEF.

¹²³ Revista PV. 2023. [Os preços das baterias caíram 14 por cento este ano, diz a BloombergNEF.](#)

A par destas tendências, as tecnologias de monitorização e controlo à distância, analisadas na secção 2.5.4 estão a ajudar a melhorar ainda mais a eficiência e a otimização, reduzindo a necessidade de substituição de peças e diminuindo os custos globais.

Surgimento de outras tecnologias de armazenamento

A par da crescente predominância das baterias de iões de lítio, as baterias de iões de sódio (iões de Na) surgiram como uma alternativa promissora com vantagens em termos de custo, segurança, sustentabilidade e desempenho. Devido ao seu peso, as baterias de iões de sódio não têm sido uma solução prática para tecnologias que exigem uma elevada densidade energética, como os veículos elétricos. No entanto, quando se trata de armazenamento estacionário de energia, estão a emergir como uma opção adequada, especialmente devido ao facto de a sua produção ser compatível com os métodos de fabrico de baterias de iões de lítio existentes. Com uma trajetória de crescimento semelhante à das baterias de iões de lítio, a IDTechEx prevê que sejam instalados 10 GWh de capacidade de baterias de iões de sódio até 2025 e que os preços desçam para cerca de 40 USD/kWh até 2030.¹²⁴

A comercialização de baterias de iões de Na é relativamente recente, com apenas um punhado de empresas a produzir a uma escala significativa, sendo esta uma área a que se deve continuar a prestar atenção nos próximos anos. Como a IDTechEx observou no seu recente relatório, a diversificação da tecnologia das baterias acabaria por ser benéfica a longo prazo devido a um fornecimento limitado de matérias-primas e às crescentes preocupações com a segurança energética.¹²⁵

Para além da diversificação das baterias, a utilização de outras tecnologias em vez de baterias ou geradores a gásóleo materializou-se em certos mercados fora da rede. Por exemplo, na região de Sarawak, na Malásia, a tecnologia de células de combustível de hidrogénio da H2Energy provou ser uma ferramenta fiável para complementar a energia produzida diretamente através da energia solar. A conceção modular da H2Energy presta-se a servir zonas rurais e remotas, pelo que é uma tendência importante a observar à medida que vários projetos-piloto são levados a cabo com êxito.¹²⁶ De forma relacionada, a Rutten-NES, uma empresa belga de energia, desenvolveu o seu NES-Store modular, em contentores, para armazenar e libertar energia através de mecanismos semelhantes aos da energia hidroelétrica por bombagem. Esta tecnologia inovadora está a ser testada durante o segundo semestre de 2024 numa aldeia muito pequena e remota de 300 habitantes na ilha de São Tomé, e é outro projeto de prova de conceito que vale a pena seguir.¹²⁷

¹²⁴ IDTechEx. 2023. [Sodium-ion Batteries 2023-2033: Technology, Players, Markets, and Forecasts.](#)

¹²⁵ IDTechEx. 2023. [Sodium-ion Batteries 2023-2033: Technology, Players, Markets, and Forecasts.](#)

¹²⁶ Alliance for Rural Electrification. 2024. [H2Energy replace batteries with hydrogen in off-grid Malaysia.](#)

¹²⁷ Alliance for Rural Electrification. 2024. [Rutten NES' innovative hydropneumatics storage technology project in São Tomé and Príncipe.](#)

Mini-redes CA e CC

A crescente popularidade dos sistemas baseados em corrente contínua

As perdas de energia nas redes de distribuição, juntamente com as perdas de conversão em várias fases da transmissão de energia, constituem um aspecto importante da eficiência e da relação custo-eficácia de uma mini-rede. As mini-redes de corrente alternada (CA) e de corrente contínua (CC) variam na sua aplicação e utilização, e a escolha entre estes sistemas depende de uma variedade de fatores, incluindo tipos de carga, requisitos de eficiência e contextos ambientais. A necessidade de um inversor de potência é a principal distinção entre os dois tipos de sistemas de mini-redes. Os sistemas de corrente contínua não necessitam de um inversor porque não são necessárias as etapas de conversão de energia inerentes a um sistema de corrente alternada.

As mini-redes de corrente contínua estão a ganhar cada vez mais proeminência no setor, uma vez que podem ser mais eficientes para certos tipos de cargas (especificamente aparelhos baseados em corrente contínua) e estão alinhadas com os requisitos das energias renováveis. É importante salientar que os sistemas de corrente contínua evitam as perdas de conversão de energia que são necessárias para sistemas de corrente alternada ou sistemas híbridos de corrente alternada. Isto ajuda a reduzir a necessidade de componentes adicionais e permite que o equipamento de corrente contínua seja mais compacto em termos de tamanho. Os sistemas de corrente contínua também tendem a ser mais modulares e escaláveis do que os sistemas de corrente alternada; não só são mais compactos, como também podem ser mais facilmente incorporados em projetos de sistemas, uma vez que as linhas podem funcionar em paralelo e são mais fáceis de controlar. À medida que o setor das energias renováveis distribuídas continua a amadurecer, os aparelhos baseados em corrente contínua, em vez de corrente alternada, podem ser considerados para reduzir ainda mais as perdas adicionais de conversão de energia. Ainda assim, vale a pena salientar a disponibilidade potencialmente limitada de aparelhos de corrente contínua em certos mercados, reduzindo assim a escolha do promotor e do utilizador final.¹²⁸

Desenvolvimento e entrada em funcionamento

Soluções de software robustas estão a simplificar o desenvolvimento de mini-redes em todas as fases do ciclo de vida do projeto

A digitalização constitui uma grande oportunidade para a redução de custos na cadeia de valor das mini-redes. As mini-redes são relativamente pequenas e, por isso, estão muitas vezes associadas a custos mais elevados. Estes incluem custos relacionados com o planeamento, a origem do financiamento, a aquisição de equipamento, a devida diligência e a

¹²⁸ Opiyo, N. N. 2019. "A comparison of DC- versus AC-based minigrids for cost-effective electrification of rural developing communities". *Energy Reports* 5: 398-408.

gestão de ativos.¹²⁹ De forma a minimizar estes custos, as ferramentas de software proliferaram e permitiram que o setor atingisse novos níveis de crescimento. A digitalização representa uma oportunidade para aumentar a transparência, promover a standardização e a agregação, introduzir economias de escala e racionalizar os pontos de fricção em todas as fases do ciclo de vida do projeto, desde o levantamento do local, a modelação e análise do sistema tecno-económico, até à monitorização e comunicação contínuas.

Na fase de planeamento, as ferramentas de planeamento geoespacial de baixo custo têm vindo a ser mais amplamente adotadas pelos promotores de projetos de mini-redes.

Ferramentas como o software baseado em mapas da VIDA utilizam dados de imagens de satélite, agregando dados chave como a densidade populacional e a infraestrutura de rede existente para ajudar os promotores a avaliar o risco de um projeto. As inovações na granularidade e disponibilidade dos dados permitiram que o VIDA trouxesse mais dados e tornasse o contexto de um determinado projeto mais transparente. Um promotor pode avaliar uma variedade de fatores que podem ter impacto na economia a longo prazo de um projeto, como os riscos relacionados com a acessibilidade (incluindo a infraestrutura da rede rodoviária) e os riscos relacionados com o clima (como as zonas de inundação), bem como o local onde as cargas de ancoragem estão localizadas ou planeadas. A possibilidade de um planeamento mais eficaz do local através de uma ferramenta digital reduz certamente o tempo e os custos, bem como as potenciais visitas ao local. No entanto, vale a pena notar que as visitas presenciais continuam a ser um aspeto essencial do planeamento do local, a fim de verificar os dados SIG e envolver as comunidades locais. As poupanças de custos das tecnologias SIG têm ainda mais impacto se considerarmos que as ferramentas de planeamento robustas podem ajudar o promotor de um projeto a evitar a seleção de um local menos adequado. No geral, a maioria dos aspetos de um estudo de viabilidade podem ser realizados através de ferramentas digitais; esta redução de custos está a abrir caminho para o *scale-up* do setor das mini-redes. É de notar que a solução de menor custo é diferente da lucratividade nos modelos de negócio existentes, o que implica que os locais de mini-redes que são incluídos nos planos de eletrificação de menor custo não são necessariamente os mesmos que os locais selecionados com base nesse fator .

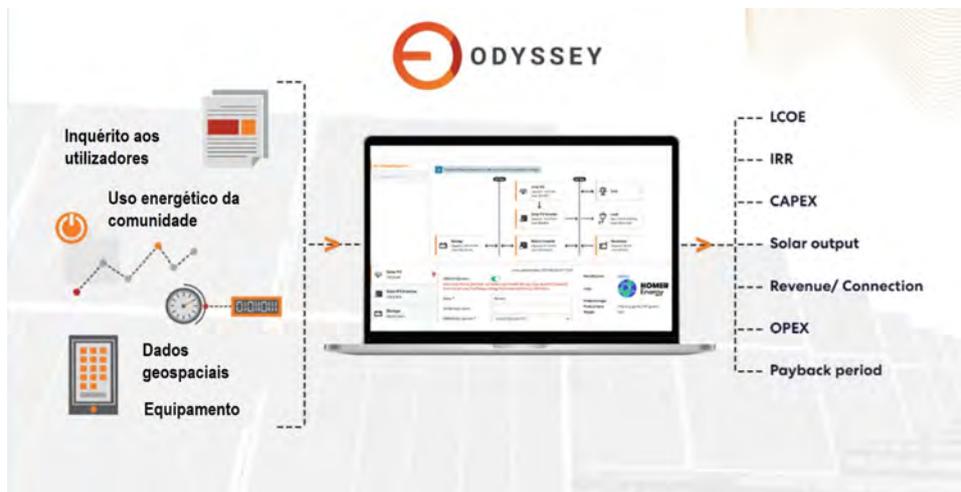
As ferramentas de modelação de sistemas digitais são cada vez mais utilizadas para standardizar os dados no setor e melhorar a transparência para os financiadores, agências governamentais e promotores de projetos.

As ferramentas de planeamento simplificam o processo de conceção para os promotores de projetos, como o HOMER Pro, que permite a otimização do perfil de carga e o mapeamento digital da produção e da distribuição, e mecanismos robustos de modelização financeira que utilizam dados dinâmicos, incluindo custos de capex/opex e calendários tarifários. Por sua vez, os financiadores e outros intervenientes importantes nos projetos podem selecionar portfólios de projetos agregados e standardizados. Por exemplo, a EM-ONE estabeleceu uma parceria com a Odyssey para identificar 150 locais viáveis para a eletrificação da saúde, de entre 1200 na Nigéria, para serem financiados por uma grande agência de desenvolvimento sediada nos EUA. Como parte do projeto, a plataforma da Odyssey recorreu ao maior número possível de dados relevantes de uma variedade de fontes externas, incluindo dados geoespaciais, dados de utilização de energia

¹²⁹The Green Agenda. 2023. [Distributed solar is poised to lift South Africa from the depths of its energy deficit, if only we root out those hidden costs.](#)

da comunidade e inquéritos aos clientes. Outros dados fornecidos pela EM-ONE sobre detalhes específicos do local, incluindo os custos projetados de despesas de capital e funcionamento, foram utilizados como uma entrada adicional para as ferramentas integradas na plataforma, como o HOMER Pro, para a otimização do design. Um modelo financeiro padronizado foi então executado em todos os locais para determinar a economia do projeto, como a taxa interna de retorno e o período de retorno, conforme mostrado na Figura 2.29. Esta análise de carácter técnico estabelece as bases para que o trabalho do EM-ONE passe à fase de execução.¹³⁰ À medida que dados técnicos e financeiros acessíveis e normalizados continuam a desmistificar as mini-redes como uma classe de ativos, os fluxos de investimento no setor deverão aumentar.

Figura 2.29 Planeamento financeiro através da plataforma Odyssey



Fonte: Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

Caixa 2.21 Ferramentas digitais de modelação técnica e financeira: Odyssey

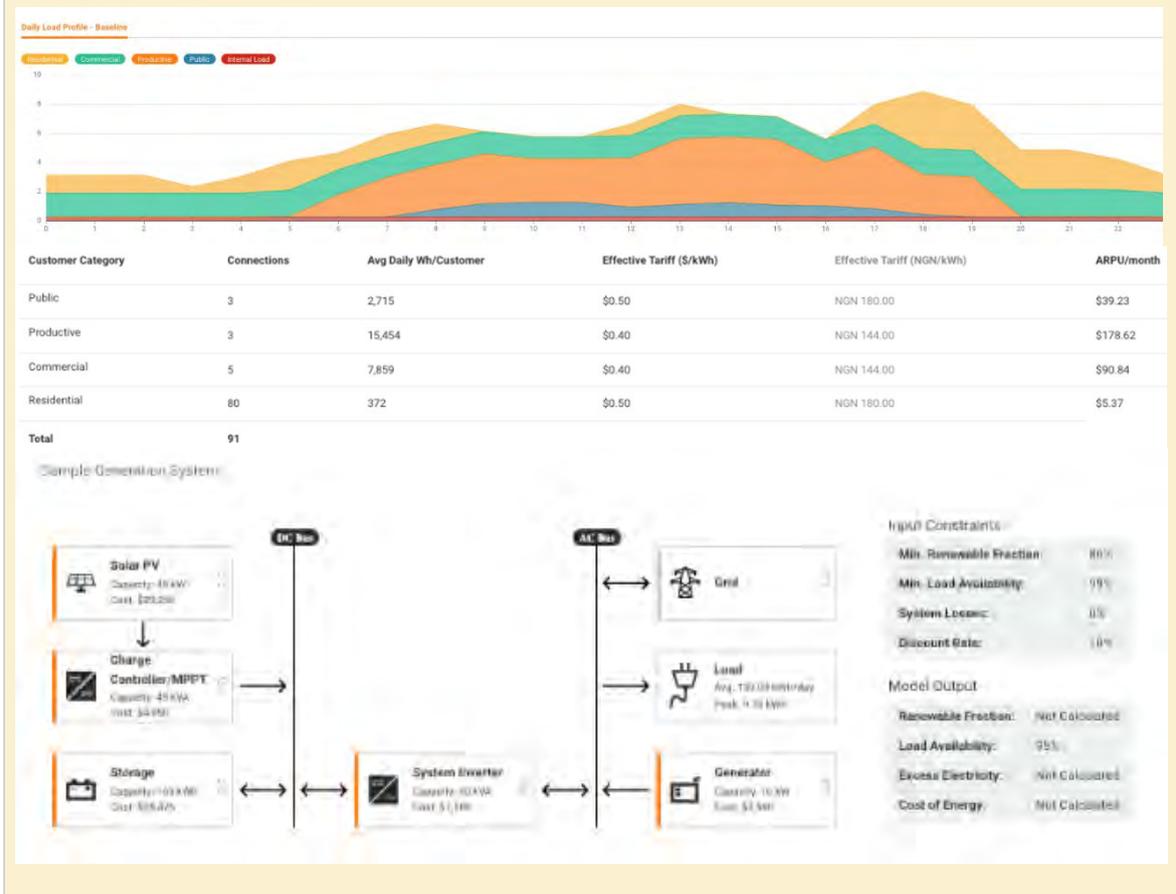
A Odyssey Energy Solutions oferece um conjunto de ferramentas digitais para que os promotores de projetos possam modelar perfis de carga, conceber sistemas otimizados (com o HOMER Pro), introduzir vários custos e receitas e gerar uma perspetiva financeira sólida para um projeto específico.

A externalização de aspetos do desenvolvimento de projetos através de software poupa tempo e recursos às empresas de energias renováveis. Especificamente, em vez de efetuar os seus próprios cálculos financeiros, uma empresa pode aproveitar o modelo financeiro padronizado da Odyssey, introduzindo simplesmente os dados e os pressupostos chave na plataforma. Da mesma forma, os financiadores podem mais facilmente comparar, fazer *benchmarking* e agregar projetos que se baseiam em pressupostos consistentes e utilizam o mesmo modelo.

A Figura 2.30 apresenta um exemplo de perfil de carga de uma mini-rede e um projeto de geração completa, tendo em conta a procura esperada e as especificações técnicas e custos dos componentes do sistema instalados.

¹³⁰ Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

Figura 2.30 Perfil de carga e projeto de geração na plataforma Odyssey



Fonte: Odyssey Energy Solutions. n.d. [Breaking ground on a ground-breaking project.](#)

Mesmo com ferramentas digitais, a previsão exata da procura futura é ainda uma área que está a ser aperfeiçoada. Prevêem-se desenvolvimentos importantes a este respeito, dada a aplicação crescente de *machine learning* e da inteligência artificial. Estes avanços continuam a remodelar a forma como a procura de energia é analisada e prevista. Mais especificamente, os modelos de *machine learning* podem ter em conta um vasto conjunto de variáveis, incluindo o histórico de utilização e os padrões climáticos sazonais, facilitando a previsão da procura e a tomada de decisões informadas sobre a conceção dos projetos.¹³¹

A digitalização é também crucial na fase de aquisição. Uma vez planeados os locais, um promotor de mini-redes precisa de adquirir equipamento, o que implica processos reconhecidamente complexos de encomenda, envio e importação. No ano passado, a Odyssey lançou a sua plataforma de aprovisionamento, destinada a simplificar o processo para os promotores de mini-redes, a ajudá-los a obter acesso a financiamento de capital de exploração e, em última análise, a reduzir o custo do equipamento através do aprovisionamento agregado. Uma plataforma digital segura que facilite a aquisição pode traduzir-se em mais tempo e poupança de custos para um promotor, ajudando assim o setor a expandir-se ainda mais.

¹³¹ Forbes. 2023. [Inteligência Artificial: Acelerar a transformação da energia limpa.](#)

As ferramentas de monitorização e controlo remoto têm ajudado os promotores de projectos a gerir e otimizar o desempenho de grandes portfólios de mini-redes

Quando os locais são comissionados, a localização remota de muitos projetos de mini-redes e as grandes portfólios de muitas empresas de energias renováveis podem ser impedimentos a uma operação e manutenção eficazes. As mini-redes são mais viáveis em locais sem infraestruturas de rede tradicionais, onde muitas vezes não existem redes de transportes ou de comunicações. Além disso, as empresas de energias renováveis podem operar numa área geográfica extensa, tornando as deslocações a locais individuais proibitivas em termos de tempo e de custos. Até recentemente, os promotores de projetos podiam gerir os através de uma abordagem de monitorização mais ad hoc. No entanto, à medida que o número de ativos no portfólio de um promotor aumenta, aumenta também a necessidade de sistemas de monitorização e controlo de dados mais eficientes e económicos.

As empresas confiam cada vez mais na monitorização remota e nas plataformas de dados para reduzir custos e otimizar as suas operações. Os avanços nas tecnologias de monitorização e controlo remotos permitiram que até os locais mais difíceis de alcançar fossem geridos à distância. Estas ferramentas digitais estão a reduzir os custos das empresas de energias renováveis, estimados em pelo menos 15% da O&M, que anteriormente necessitavam de afetar recursos a visitas no terreno.¹³² Mesmo em ambientes mais urbanos, como Lagos, na Nigéria, famosa pelo seu trânsito, a capacidade de resolver problemas à distância resulta numa poupança significativa de tempo e de custos.¹³³

Os problemas também podem ser resolvidos de forma proactiva através de circuitos lógicos e algoritmos de controlo avançados que otimizam o desempenho do sistema, ajudando ainda mais a reduzir os custos operacionais. Por exemplo, as temperaturas das baterias podem ser reguladas dentro de parâmetros específicos através de sistemas de alerta inteligentes ou um gerador a gás pode ser menos utilizado à medida que o sistema se torna mais sensível à procura através de circuitos lógicos.¹³⁴ À medida que os problemas de desempenho do sistema são abordados de forma proativa e as decisões são automatizadas, o desempenho dos ativos melhora, melhorando, por extensão, a experiência do utilizador final, reduzindo a necessidade de substituição de componentes e atenuando os custos contínuos do projeto. Estes algoritmos baseados em regras também ajudam a aumentar a produtividade e a libertar tempo para as equipas de desenvolvimento de projetos, para que estas possam prosseguir as suas atividades principais, como o aumento de rentabilidade.

¹³² Energy for Sustainable Development. 2023. [Quantifying impact and benefits of advanced remote monitoring solutions for the operation of mini-grids in sub-Saharan Africa](#)

¹³³ The Mini-Grid Business Podcast. 2024. [Managing complexity – digital tools for the mini-grid space.](#)

¹³⁴ The Mini-Grid Business Podcast. 2024. [Managing complexity – digital tools for the mini-grid space.](#)

As tecnologias de monitorização e controlo remoto também podem ajudar os promotores de mini-redes a tomar decisões mais baseadas em dados sobre a conceção de um sistema.

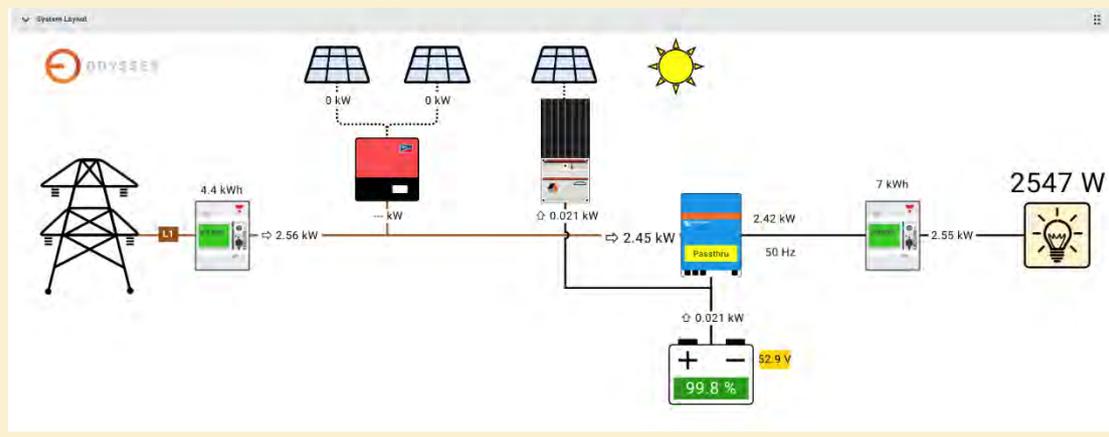
Desta forma, através da capacidade de dimensionar corretamente componentes como um grupo gerador a diesel, as despesas de capital de um projeto podem ser reduzidas. Ao seguir estes caminhos - resolução de problemas à distância, operações otimizadas e conceções mais inteligentes - a poupança de custos poderá equivaler a pelo menos 30% dos custos globais do projeto para um determinado promotor de mini-rede. No entanto, para realizar plenamente as poupanças de custos, o desenvolvimento de capacidades é fundamental juntamente com a própria tecnologia. Por exemplo, a Odyssey descobriu que para além de fornecer o seu poderoso conjunto de monitorização, estabelecer uma relação de trabalho próxima com as equipas de desenvolvimento e equipar os engenheiros no local com uma formação robusta são a chave para o sucesso.

À medida que o número de sítios sob a alçada de um programador aumenta, o mesmo acontece com a complexidade dos dados que tem de gerir. As soluções tecnológicas centralizadas evoluíram para suportar a necessidade de limpar, processar e gerir dados, tanto de locais geograficamente dispersos como de várias fontes de dados. Os grandes promotores de mini-redes estão interessados em obter uma visão consolidada dos projetos, que poderá incluir dados de inversores, contadores de clientes, interfaces de programação de aplicações de sistemas de pagamento, ferramentas de gestão da relação com o cliente e hardware no local. Cada uma destas peças é vital para as operações de um promotor. Por exemplo, o acompanhamento e a análise dos dados de consumo de forma automatizada e eficiente através de tecnologia avançada de contadores inteligentes ajudam os promotores a verificar as ligações e a desbloquear o financiamento. Assim, as soluções modernas de monitorização e controlo remoto devem integrar-se e recolher dados granulares sobre várias marcas de equipamento, bem como sistemas de emissão de bilhetes, de gestão das relações com os clientes e de pagamento, para simplificar totalmente as operações.

Caixa 2.22 Análises de monitorização avançadas

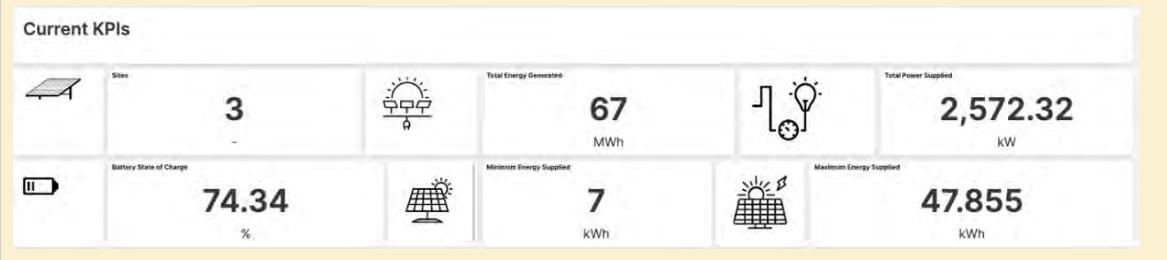
Tão importante como a capacidade de recolher dados é a capacidade de visualizar e analisar facilmente os dados em tempo real. Painéis de controlo dinâmicos e sistemas de alerta avançados dão às equipas de operações e engenharia uma visão granular de locais de projetos específicos.

Figura 2.31 Exemplo de um painel de controlo técnico



Com a escala, as visualizações de painel de alto nível também servem para as equipas que gerem muitos ativos descentralizados. Neste caso, a integração com marcas e fontes diferentes permite às equipas gerir eficazmente grandes frotas de projetos e acompanhar facilmente os KPI e o progresso geral da iniciativa. Além disso, estes tipos de painéis de impacto oferecem aos financiadores e a outras partes interessadas externos uma imagem clara do desempenho do projeto, ajudando-os a compreender onde e como o capital está a ser aplicado.

Figura 2.32 Exemplo de painel de controlo de KPI



Fonte: Odyssey Energy Solutions

A monitorização remota pode também permitir que os promotores de mini-redes retirem lições à medida que desenvolvem os seus negócios. Uma das principais razões que leva as empresas de mini-redes a adotarem a utilização de soluções avançadas de monitorização e controlo remoto é a necessidade de melhorar projetos futuros aprendendo com as operações atuais. Desta forma, e com a presença física nos locais a tornar-se menos essencial, a monitorização remota pode também ser um catalisador para os promotores se expandirem geograficamente.¹³⁵

As ferramentas de software estão a ser cada vez mais utilizadas pelos promotores de projetos de mini-redes para gerir os seus clientes e participar em mecanismos de financiamento baseados em resultados

As ferramentas digitais estão a tornar-se parte integrante da gestão das interações com os clientes. Quando os locais são escolhidos, é necessário gerir outros aspetos da operação do projeto para além da monitorização e controlo diretos dos sistemas. Por exemplo, os promotores de mini-redes atuam frequentemente como empresas de serviços públicos de pequena escala, gerindo simultaneamente os seus clientes finais e o próprio sistema de mini-redes. Para simplificar a gestão dos clientes, surgiram ferramentas como o Micropower Manager desenvolvido pela INENSUS para facilitar as interações bidirecionais com os clientes, os fluxos de caixa e até a instalação e utilização de aparelhos elétricos.

¹³⁵ Pittalis, Marco et al. 2023. "Quantifying impacts and benefits of advanced remote monitoring solutions for the operation for mini-grids in sub-Saharan Africa". *Energy for Sustainable Development* 77: 101335.

Para além disso, a digitalização simplifica a recolha de dados para cumprir os requisitos de reporte. Os promotores de mini-redes que participam em programas FBR são obrigados a apresentar dados e relatórios sobre o progresso do projeto para obterem incentivos específicos. Por sua vez, os financiadores concessionais têm de verificar os dados e efetuar os desembolsos em conformidade. Os financiadores podem também ter de apresentar relatórios sobre os indicadores-chave de desempenho do programa a outras partes interessadas externas. Este processo complexo e pesado em termos de dados seria, em suma, impossível sem a digitalização. Neste contexto, uma plataforma de software, como o Odyssey, permite aos promotores de mini-redes carregar milhões de pontos de dados e verificar automaticamente as ligações em direto através de integrações com contadores inteligentes no local. A plataforma também simplifica a recolha e análise de dados para os financiadores, bem como todo o processo de pagamento. Em vez de juntar dados díspares em Excel ou de procurar e-mails pontuais com os promotores de um projeto, os financiadores têm uma visão abrangente do progresso de um programa FBR e podem facilmente supervisionar um projeto específico.

Tendências económicas

Os últimos anos têm sido caracterizados por desenvolvimentos positivos na economia das mini-redes, incluindo LCOE, despesas de capital, custos operacionais e custos de desenvolvimento, conforme detalhado nas secções abaixo. Um reflexo deste facto é o crescimento do ARPU, que aumentou entre 2020 e 2022, atingindo 8,30 USD em 2022 para locais comissionados antes de 2019, em comparação com 4,44 USD em 2020, ultrapassando as redes nacionais altamente subsidiadas.¹³⁶

Sempre que possível, esta análise aproveita as informações da base de dados da MGA, que foi desenvolvida em paralelo com o presente relatório. No entanto, é importante reconhecer as limitações colocadas pelos desafios da recolha de dados. A hesitação do setor em divulgar informações relacionadas com as despesas de capital e as despesas operacionais teve um impacto significativo na disponibilidade de dados. Consequentemente, a dimensão da amostra é limitada pelo número modesto de partes interessadas dispostas a fornecer dados. Para mais pormenores sobre a recolha de dados, consultar o anexo A4.

LCOE

Em linha com as amplas reduções nos custos das mini-redes nos últimos anos, analisadas nas secções 2.6.2-2.6.4o **LCOE também tem vindo a diminuir.** De acordo com o ESMAP,¹³⁷ em 2018 a melhor mini-rede da sua classe produziu eletricidade com um LCOE de USD 0,55 por kWh, que depois caiu ~31 por cento até 2021 para apenas USD 0,38 por kWh.¹³⁸ Nos casos com um fator de carga mais elevado, foi observada uma diminuição ainda maior do LCOE. Isto deveu-se principalmente a uma diminuição do custo dos componentes da mini-rede; os custos mais baixos da produção e armazenamento fotovoltaicos também permitiram uma menor

¹³⁶AMDA. 2022. [Benchmarking Africa's Minigrids Report](#).

¹³⁷ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

¹³⁸ Não subsidiado, com uma taxa de ocupação de 22%.

utilização de combustível, reduzindo ainda mais o LCOE.¹³⁹ Finalmente, um fator crucial tem sido a redução dos custos de desenvolvimento devido a economias de escala. Por exemplo, a Husk Power conseguiu reduções significativas do LCOE, registrando LCOEs inferiores a 0,30 USD/kWh nas suas instalações mais recentes na Índia e estabeleceu um objetivo de 0,17 USD/kWh até 2030.¹⁴⁰

O LCOE é uma métrica crucial não só para os promotores, mas também para os investidores, uma vez que representa o potencial das mini-redes para competir com a tecnologia existente, tipicamente diesel. Reduzir o LCOE, tornando as mini-redes mais competitivas, requer abordar os fatores que têm o potencial de o influenciar significativamente. Um aspeto fundamental a este respeito é o fator de carga, que mede a taxa de utilização da mini-rede, calculada dividindo a carga média pela carga máxima ao longo de um ano. A análise de dados mostrou que um fator de carga mais elevado, por exemplo através do incentivo a utilizações produtivas da eletricidade (para as quais a procura é maior durante o dia), conduz a um LCOE mais baixo.

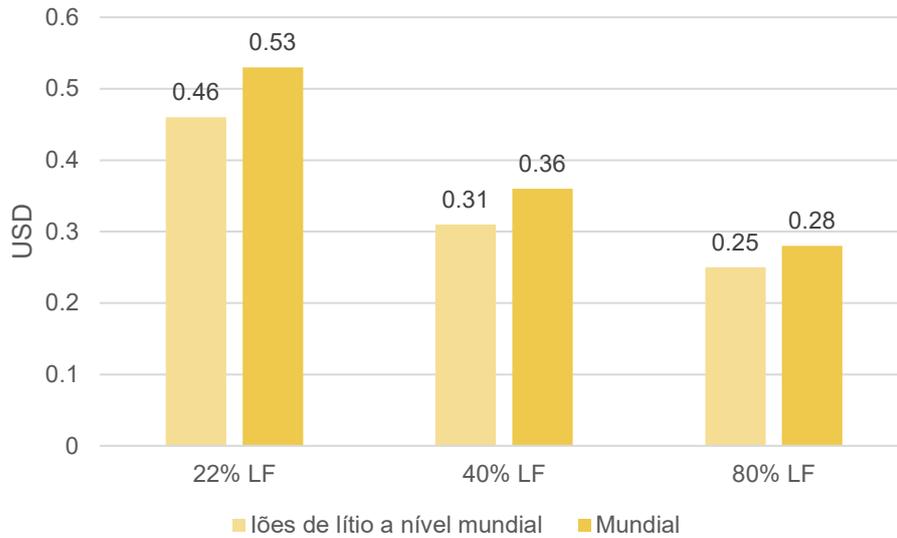
Por exemplo, o impacto do UPE no LCOE foi explorado utilizando a ferramenta LCOE REopt do NREL para uma comunidade de 500 agregados familiares no Quênia em dois cenários; um sem qualquer atividade UPE e outro com cargas de irrigação e moagem. O LCOE resultante no primeiro cenário foi de 0,329 USD/kWh, enquanto no segundo cenário foi de 0,298 USD/kWh.¹⁴¹ Estas reduções estão em conformidade com os resultados da modelização do ESMAP de três cenários que representam diferentes fatores de carga; o primeiro cenário é o caso de base (fator de carga de 22%) que representa uma carga residencial rural típica. Os outros dois cenários representam fatores de carga mais elevados, nomeadamente 40 por cento (caso médio) e 80 por cento (caso elevado), através da adição de cargas de utilização produtiva, como a bombagem de água, o processamento agrícola, o armazenamento em frio com inércia térmica e o carregamento de veículos elétricos, durante o período fora de horas de ponta. Como mostra a Figura 2.33 abaixo, fatores de carga mais elevados conduzem a um LCOE consistentemente mais baixo.

A escolha dos componentes da mini-rede, como o tipo de bateria, tem um grande impacto no LCOE. A mudança no tipo de bateria tipicamente utilizado nas mini-redes, de chumbo-ácido para iões de lítio, como salientado na secção 2.5.2 afetou o LCOE, dado que o ião de lítio tem custos iniciais semelhantes, mas características de desempenho superiores, resultando em custos de ciclo de vida mais baixos. A Figura 2.33 apresenta o LCOE para duas categorias de mini-redes: "Global Li-ion" restringe-se a mini-redes que utilizam baterias de iões de lítio, enquanto "Global" também inclui mini-redes com baterias de chumbo-ácido. É evidente que o LCOE para as mini-redes que utilizam baterias de iões de lítio é consistentemente mais baixo.

¹³⁹ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

¹⁴⁰ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India](#)

¹⁴¹ African Climate Action Partnership webinar. 2022. [Techno Economic Analysis of PUE Minigrids in Africa - YouTube](#).

Figura 2.33 LCOE por fator de carga e tipo de solução de armazenamento

Nota: LF significa fator de carga.

Fonte: ESMAP: ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

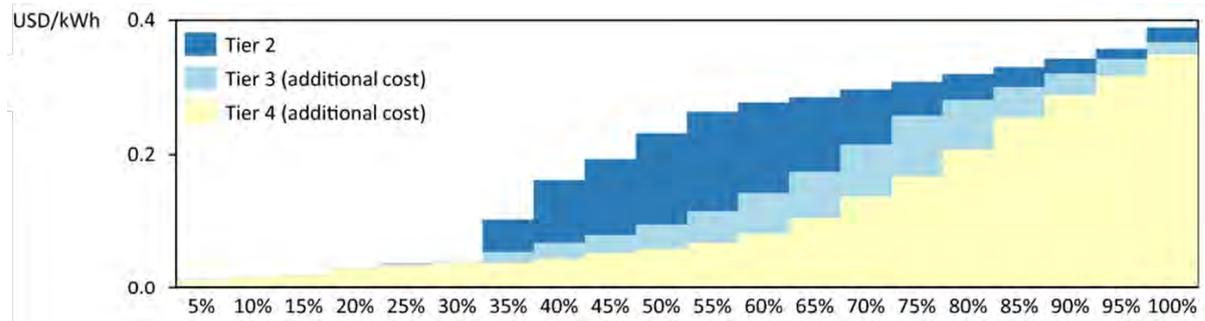
A interligação com a rede principal também pode fazer baixar o LCOE. De acordo com a análise de custos do Banco Mundial de seis propostas de mini-redes interligadas na Nigéria, estas mini-redes resultam num LCOE até 20% mais baixo em comparação com mini-redes não interligadas.¹⁴² As poupanças reais variam em função de fatores como o custo da eletricidade por grosso da empresa de distribuição e as horas por dia em que a empresa de distribuição pode fornecer eletricidade. As poupanças de LCOE são aproximadamente o dobro quando o fornecimento de eletricidade da empresa de distribuição é firme.

Os números do LCOE precisam de ser contextualizados para serem interpretados de forma significativa. Por exemplo, o LCOE depende dos níveis de eletrificação; níveis mais baixos resultam num LCOE mais elevado, como mostra a Figura 2.34 porque o investimento de capital é elevado em relação à produção de eletricidade durante o tempo de vida do ativo. As variações de nível podem representar aplicações de utilização produtiva em pequena escala, que normalmente se situariam entre o nível 3 e o nível 4.¹⁴³ Do mesmo modo, o contexto do país é crucial, uma vez que conduz a diferentes direitos de importação e impostos. Neste sentido, pode ser feita uma distinção entre o LCOE financeiro (incluindo direitos de importação, impostos e todos os outros custos reportados pelos promotores na construção e operação de uma mini-rede) e o LCOE económico, que não inclui estes custos. Do ponto de vista do operador do setor privado, o LCOE financeiro é mais valioso, enquanto os responsáveis políticos que decidem entre abordagens à eletrificação estão interessados no LCOE económico.¹⁴⁴

¹⁴² Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India](#).

¹⁴³ Egli, F., C. Agutu and B. Steffen and T. Schmidt. 2023. [The cost of electrifying all households in 40 Sub-Saharan African countries by 2030](#). *Nat Commun* 14: 5066.

¹⁴⁴ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#)

Figura 2.34 Curva LCOE de eletrificação para a África Subsaariana por nível

Fonte: Egli, F., C. Agutu, B. Steffen e T. Schmidt. 2023. [The cost of electrifying all households in 40 Sub-Saharan African countries by 2030](#) (O custo da eletrificação de todos os agregados familiares em 40 países da África Subsaariana até 2030). *Nat Commun* 14: 5066.

Abordar o design técnico de forma faseada pode ajudar a obter LCOEs mais baixos. Dada a dificuldade em estimar corretamente a procura, o sobredimensionamento - e, portanto, a subutilização dos sistemas - é um risco fundamental que faz subir o LCOE. Avaliações detalhadas da procura, baseadas na recolha de dados no terreno, podem ajudar a estimar as cargas com maior exatidão, mitigando parcialmente o risco da procura, como se salienta na Caixa 2.23.

Caixa 2.23 Uma abordagem faseada para o dimensionamento do sistema

A PowerGen utiliza o HOMER Pro para criar simulações de um novo sistema de mini-rede, para determinar as dimensões ótimas dos sistemas solares e de baterias e para calcular o LCOE.¹⁴⁵ Na primeira fase, dado que a procura de eletricidade é uma incógnita crucial neste exercício de modelação, a PowerGen utiliza equipas de aquisição de clientes para realizar **estudos e inquéritos no local** para determinar o consumo elétrico da comunidade. Em primeiro lugar, são estimadas as maiores cargas, incluindo empresas locais, hospitais, escolas e edifícios governamentais. Com base na experiência de projetos de mini-redes em África, os dados de inquéritos podem ser utilizados para estimar as cargas elétricas residenciais e as suas taxas de crescimento.

Numa segunda fase, as taxas de consumo da primeira tranche de clientes são cuidadosamente observadas e os dados reais de consumo são utilizados para planear a segunda fase de construção. Desta forma, o PowerGen pode determinar requisitos realistas do sistema e dimensionar os recursos de produção e armazenamento para atingir um custo ótimo.

Fonte: HOMER Microgrid News. 2022. [Nigerian minigrids improve power reliability and utility revenues for communities "under" the grid.](#)

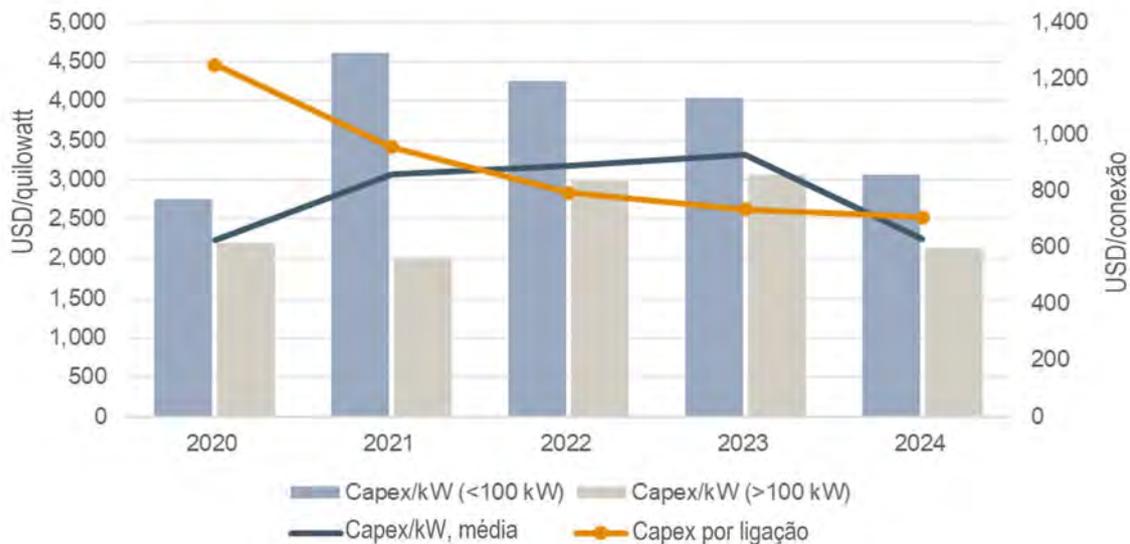
¹⁴⁵ O LCOE fornecido pelo HOMER Pro exclui tipicamente despesas de capital associadas aos ativos de distribuição, a menos que estes estejam explicitamente incluídos nos custos de investimento. Consequentemente, o LCOE calculado no HOMER Pro pode não estar alinhado com o LCOE financeiro ou económico acima mencionado.

Despesas de Capital

As despesas de capital têm vindo a diminuir de forma constante nos últimos quatro anos.

Como indicado na Figura 2.35o custo médio das despesas de capital por ligação de mini-rede caiu 43 por cento, de USD 1.250 em 2020 para USD 707 em 2024. Ao longo do período de 2021 a 2024, as despesas de capital por kW mantiveram-se em torno dos USD 3.000, antes de cair para aproximadamente USD 2.200 em 2024. Esta tendência descendente nos custos reflete os avanços da indústria em termos de tecnologia, eficiências de aprovisionamento e escala de operações, que contribuem coletivamente para a redução da barreira financeira para a implementação de novos projetos de mini-redes. Ao longo do período de 2020 a 2024, o custo marginal das despesas de capital para instalações com menos de 100 kW foi, em média, 50 por cento superior ao de instalações maiores.

Figura 2.35 Custos de Despesas de Capital por kW instalado



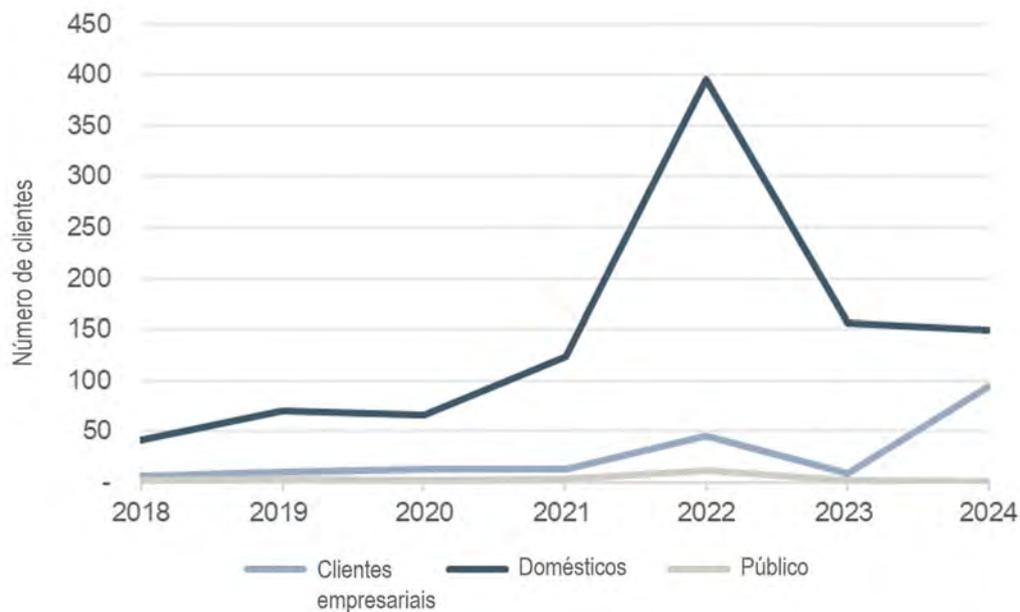
Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados MGA.

A dinâmica que influencia as despesas de capital no setor das mini-redes é moldada por duas tendências contraditórias. Por um lado, o mercado global assistiu a um aumento significativa dos preços de materiais cruciais à construção desde o início da pandemia da COVID-19. O preço do cobre, por exemplo, quase duplicou, refletindo tendências semelhantes nos preços da madeira e do betão, enquanto o aço, outro componente vital, registou aumentos mais moderados. Estes materiais desempenham um papel fundamental na construção de mini-redes, tendo assim um impacto direto nas suas despesas de capital.

Por outro lado, os promotores estão a definir estratégias para mitigar estes custos crescentes através da adoção de abordagens mais eficientes. Uma estratégia notável inclui o desenvolvimento de projetos de mini-redes de maior dimensão (ver Figura 2.36), que visam mais clientes, e a criação de cadeias de valor verticalmente integradas, que provaram reduzir

eficazmente os custos marginais. Um exemplo disso é a Husk Power, uma empresa que reduziu significativamente suas despesas de capital na Índia de 3 USD/Wp em 2018 para 2 USD/Wp em 2020. Esta redução foi conseguida através de uma gestão meticulosa da cadeia de abastecimento, da otimização da conceção dos sistemas e do aperfeiçoamento dos processos operacionais, desde a aquisição até à instalação. Esta abordagem sublinha a capacidade de adaptação do setor e as estratégias inovadoras que estão a ser utilizadas para contrabalançar os efeitos adversos do aumento dos custos globais dos materiais no desenvolvimento de mini-redes.¹⁴⁶

Figura 2.36 Número médio de clientes por mini-rede comunicada



Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados MGA.

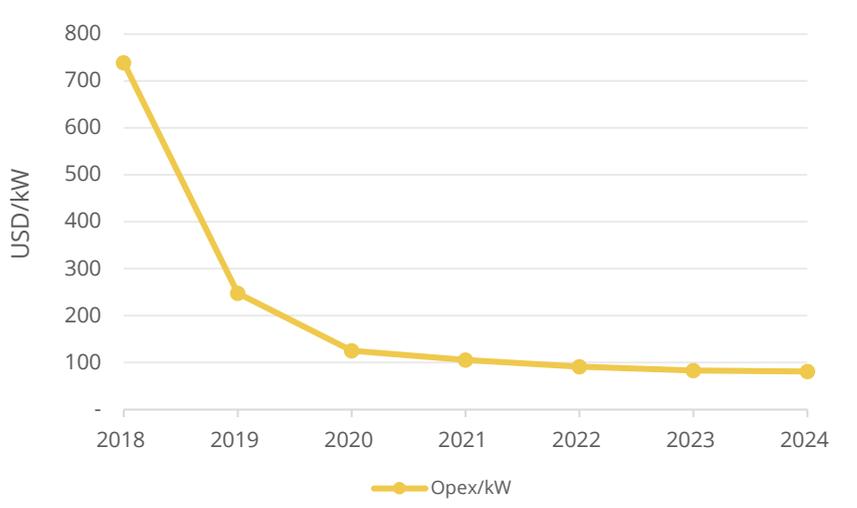
Outro fator que afeta as despesas de capital é a saturação do mercado. Em alguns países, sobretudo no Sul da Ásia, a saturação do mercado está a obrigar os promotores a procurar os consumidores mais difíceis de alcançar. Por exemplo, na Índia, as taxas de eletrificação extremamente elevadas significam que os consumidores sem ligações são provavelmente os que se encontram nas zonas mais remotas e, por conseguinte, mais "caras". Outro aspeto deste desafio é que, à medida que as economias se desenvolvem, tanto a nível local como nacional, os consumidores de eletricidade de mini-redes começam a exigir uma qualidade de fornecimento de energia que requer custos iniciais mais elevados. Por exemplo, à medida que as economias se desenvolvem, o mesmo acontece com a procura de eletricidade, tanto em termos absolutos como temporais. Isto, por sua vez, aumenta a procura de ligações estáveis e confiáveis, colocando pressão sobre os promotores para garantir que a confiabilidade das suas redes ao longo do tempo.

¹⁴⁶ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

Custos Operacionais

Em paralelo com a dinâmica observada nas despesas de capital, os custos operacionais no setor das mini-redes também têm vindo a registar um declínio notável nos últimos anos. Esta tendência reflete um ganho de eficiência e uma otimização de custos mais amplos em toda a indústria. De acordo com dados da AMDA, registou-se uma redução substancial nos custos operacionais de 41 por cento entre 2020 e 2022. Especificamente, o custo por cliente por mês registou uma diminuição de um intervalo de 2,50 a 6,00 USD em 2020 para um intervalo mais acessível de 1,00 a 4,00 USD em 2022. Esta redução é uma conquista significativa, sinalizando uma maior eficiência operacional e práticas de gestão de custos entre os operadores de mini-redes.

Ilustrando ainda mais esta tendência, Figura 2.37 destaca a diminuição dos custos operacionais por kW, que apresentam um declínio constante de aproximadamente USD 250/kW em 2019 para USD 80/kW em 2024. Esta redução pode ser atribuída a vários fatores, nos quais se incluem os avanços tecnológicos, as economias de escala à medida que o setor se expande e a adoção de práticas operacionais mais eficazes. As inovações nas tecnologias de monitorização e controlo remoto, por exemplo, têm desempenhado um papel fundamental na redução da necessidade de manutenção no local, diminuindo assim os custos operacionais globais. Além disso, à medida que os operadores adquirem mais experiência e o mercado amadurece, verifica-se uma progressão natural para modelos operacionais mais eficientes e económicos.

Figura 2.37 Custos médios de despesas de capital por kW

Nota: Os custos produção incluem: O&M, transporte, substituição, segurança, dinheiro móvel, contagem, agente local e custos operacionais centrais (por exemplo, legais).

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados da MGA.

Custos de desenvolvimento

Os dados sobre os custos de desenvolvimento são difíceis de obter, dada a falta de padronização na forma como estes custos são comunicados. Enquanto algumas empresas parecem declarar explicitamente os custos de desenvolvimento dos projetos, outros promotores combinam-nos com os custos de equipamento sob a forma de margens de lucro, ou internalizam esses custos e não os declaram de todo.

As economias de escala são cruciais para reduzir os custos de desenvolvimento. A análise do ESMAP demonstrou que as mini-redes construídas separadamente de portfólio projetos têm custos suaves médios substancialmente mais elevados (desenvolvimento do projeto e logística). Em particular, as mini-redes construídas como parte de uns portfólios pouparam em média 81.000 USD em custos suaves, em comparação com as mini-redes construídas como projetos isolados.¹⁴⁷

A digitalização é outro fator crucial que conduziu a uma grande redução dos custos de desenvolvimento dos projetos. As ferramentas que facilitam o processo de desenvolvimento de projetos incluem o Odyssey, o VIDA e o software Site Wizard for Analysis, Reconnaissance and Mapping (SWARM) utilizado pela Powerhive.¹⁴⁸ O software permite aos programadores identificar remotamente locais viáveis em grandes regiões, reduzindo assim os custos de desenvolvimento do projeto. Ao aproveitar os dados financeiros, técnicos e geoespaciais, o

¹⁴⁷ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

¹⁴⁸ Powerhive. n.d. [Technology.](#)

SWARM identifica as melhores localizações de mini-redes e calcula a dimensão necessária do sistema, resultando numa lista prioritária dos locais mais viáveis.

Em direção a uma perspetiva holística da eletrificação

Embora a análise da economia das mini-redes seja valiosa para mostrar o potencial das mini-redes para eletrificar áreas não servidas de forma rentável, e também para identificar formas de reduzir ainda mais o custo do serviço, é crucial reconhecer a limitação de confiar no LCOE como uma medida única do sucesso das mini-redes. O LCOE das mini-redes incorpora tipicamente as despesas de distribuição, que podem variar significativamente entre locais. Esta variação torna a comparação de um LCOE com outras tecnologias, tais como produtos solares fora da rede e extensão da rede, um desafio, uma vez que as bases de custos podem ser diferentes. Além disso, as mini-redes não estão apenas a fornecer energia, mas também a estimular a futura procura de eletricidade através de estratégias sólidas de desenvolvimento socioeconómico. As mini-redes bem-sucedidas são, na maioria das vezes, as que adotaram uma abordagem holística, ajudando a fazer crescer a economia e a comunidade local circundante - e, por sua vez, fazendo crescer a procura de eletricidade.





CAPÍTULO TRÊS

IMPACTOS

As métricas de desempenho e de impacto social têm demonstrado consistentemente a superioridade das mini-redes em relação às empresas nacionais de serviços públicos. As mini-redes superam as empresas de serviços públicos nacionais nos países onde operam no que diz respeito a métricas de serviço, incluindo tempo de funcionamento, qualidade da energia, ligações fiáveis e criação de emprego a jusante. Têm um tempo de funcionamento consistentemente elevado, em média superior a 99%, enquanto as redes nacionais registam significativamente mais interrupções.¹⁴⁹

Uma abordagem consistente à medição do impacto permite ao setor avaliar os resultados criados pelos projetos de mini-redes de forma transparente e coerente. Através da monitorização e avaliação contínuas dos projetos de mini-redes, os decisores políticos, instituições multilaterais, empresas, investidores e outras partes interessadas do setor podem avaliar quais as abordagens que funcionaram melhor, identificar potenciais áreas de melhoria e tomar decisões informadas para projetos futuros. Para além disso, as métricas de impacto são uma componente chave dos esquemas de financiamento baseado em resultados (FBRBR), que fornecem subsídios mediante a obtenção de resultados pré-definidos que têm de ser verificados.

¹⁴⁹ AMDA 2022. [Benchmarking Africa's Minigrids Report 2022](#).

Medição do impacto no quadro dos ODS

O setor está a adotar cada vez mais quadros de monitorização e avaliação abrangentes para captar o impacto multifacetado das mini-redes. Os financiadores de mini-redes, incluindo agências doadoras e investidores privados, estabeleceram métricas de impacto ligadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. Embora o setor ainda não seja dotado de uma abordagem amplamente adotada ou estandardizada para medir o impacto, o tema comum às várias metodologias utilizadas é o objetivo de captar os três aspetos chave do impacto, nomeadamente o impacto económico, social e ambiental. Assim, as métricas vão além do objetivo de alcançar o ODS 7 (energia acessível e limpa), porque também incluem o progresso no:

- ODS 1 (erradicação da pobreza), ODS 8 (trabalho digno e crescimento económico) e ODS 9 (indústria, inovação e infraestruturas) como parte do impacto **económico**. Por exemplo, uma mini-rede normal de 20 kW cria cerca de três postos de trabalho a tempo inteiro.¹⁵⁰
- O ODS 3 (saúde de qualidade), o ODS 4 (educação de qualidade), o ODS 5 (igualdade de género) e o ODS 11 (cidades e comunidades sustentáveis) como parte do impacto **social**. Os exemplos demonstram uma redução das doenças respiratórias, uma vez que a eletricidade das mini-redes diminui a forte dependência dos agregados familiares do querosene, permite horários de estudo mais longos para as crianças após o pôr do sol e melhora a segurança das mulheres após o anoitecer devido à existência de um ambiente bem iluminado, de acordo com um estudo realizado na Índia.¹⁵¹
- ODS 13 (ação climática) como parte do impacto **ambiental**. Por exemplo, na carteira da EEP África, as mini-redes permitiram reduzir as emissões de carbono em 490 tCO₂-eq por projeto durante a sua vida útil.¹⁵²

¹⁵⁰ Power for All. 2022. [Powering Jobs Census 2022: The Energy Access Workforce](#)

¹⁵¹ The Rockefeller Foundation. 2017. [Understanding the Impact of Rural Electrification in Uttar Pradesh and Bihar, India](#)

¹⁵² EEP África. 2018. Oportunidades e desafios no setor das mini-redes em África.

Figura 3.1 ODS e mini-redes



Fonte: TCE.

Desta forma, para além do número de ligações conseguidas ou do número de mini-redes implantadas, as métricas de impacto captam a criação de emprego e a melhoria das condições de vida, bem como a redução das emissões de carbono, com algumas metodologias a fornecerem também métricas desagregadas por género para captar o impacto positivo no que respeita à igualdade de género.

Por exemplo, a Energising Development (EnDev) utiliza um sistema completo de monitorização e avaliação que capta o impacto em termos de desenvolvimento social, desenvolvimento económico e alterações climáticas, utilizando as seguintes categorias¹⁵³

- **Beneficiário:** agregado familiar (AF), instituições sociais (IS), micro, pequenas e médias empresas (MPME), dimensão média do AF, percentagem de mulheres no AF/SI/MPME, percentagem de AF/SI/MPME dirigidas por mulheres
- **Tecnologia:** modo de eletrificação (sistemas fotovoltaicos, mini-/nano-rede, rede), aparelhos elétricos (incluindo cozinha eletrónica), tempo de vida previsto, nível de qualidade do acesso, capacidade instalada
- **Tipo de apoio:** Apoio ao desenvolvimento empresarial, parceria estratégica, subvenção do lado da procura, energia humanitária, cozinha de nível superior, FBR, resposta à COVID-19
- **Resultados:** N.º de ligações, N.º de sistemas vendidos, N.º de pessoas recentemente ligadas/com acesso melhorado, empregos na utilização produtiva da energia (UPE),

¹⁵³ Entrevista do consultor à EnDev e à EnDev. 2022. [Relatório de Progresso 2022](#).

empregos para mulheres, redução das emissões CO₂-eq verificadas, biomassa poupada.

Além disso, o EnDev adota uma **abordagem "não deixar ninguém para trás"**, que visa atingir grupos desfavorecidos, tais como refugiados, deslocados internos e comunidades de acolhimento, mulheres socioeconomicamente desfavorecidas, os mais pobres dos pobres e pessoas com deficiência, bem como grupos indígenas e minorias étnicas. Esta estratégia é vital, tendo em conta a atual distribuição desigual do acesso à eletricidade; os consumidores menos abastados continuam a ter níveis de acesso inferiores quando comparado com os mais ricos, existindo também disparidades em função do género, com os homens a constituírem a maioria das pessoas com acesso.¹⁵⁴

Do mesmo modo, a Global Energy Alliance for People and Planet (GEAPP) utiliza um "painel de impacto", que acompanha os impactos diretos e indiretos através do acompanhamento dos resultados em tempo real em relação aos seus principais objetivos estratégicos. O painel de impacto da GEAPP faz uma distinção entre indicadores de curto prazo, que se centram na capacidade instalada (nomeadamente, MW instalados, mini-redes implantadas e sistemas solares C&I implantados), e indicadores de longo prazo, que englobam três categorias principais (também apresentadas na Figura 3.2):

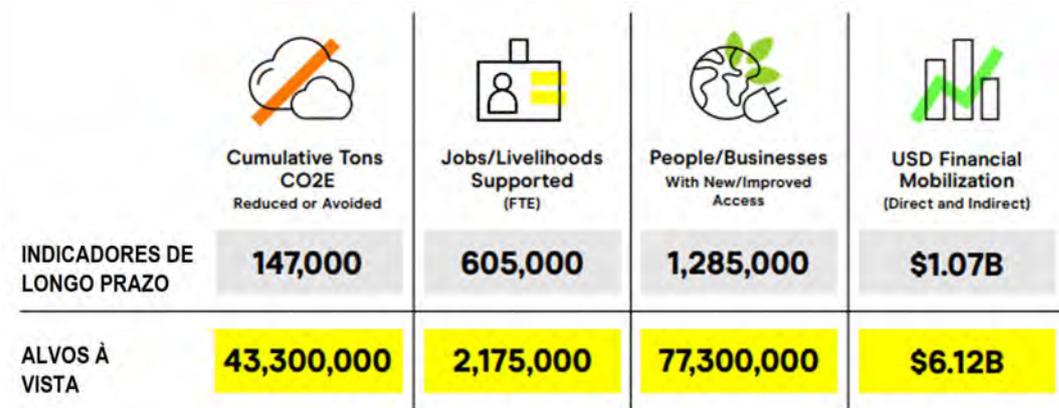
- **Conectar as pessoas:** Medido através número de pessoas e empresas com acesso novo ou melhorado. O indicador está alinhado com o enquadramento multi-nível do Banco Mundial, centrando-se na qualidade, confiabilidade e acessibilidade económica como os indicadores mais relevantes da melhoria do acesso em áreas onde a cobertura universal já foi totalmente ou quase alcançada.
- **Criação de emprego:** Medido através do número de postos de trabalho e meios de subsistência apoiados através de projetos apoiados pelo GEAPP. O indicador capta a criação direta de emprego através do investimento em energias renováveis e da transição para longe dos combustíveis fósseis, bem como a melhoria dos meios de subsistência ligada ao fornecimento de energias renováveis financiado pelo GEAPP.
- **Redução das emissões de CO₂:** Medido pelas toneladas cumulativas de CO₂-eq reduzidas ou evitadas ao longo do ciclo de vida dos projetos.¹⁵⁵

A GEAPP mede também a mobilização financeira direta e indireta, que é o principal mecanismo de apoio através do qual cria impacto. Através da sua estratégia de financiamento misto, a GEAPP alcançou uma taxa de alavancagem¹⁵⁶ de 2,4 em relação à sua carteira de investimentos no setor das energias renováveis, desencadeando investimentos públicos e privados que poderiam não ter ocorrido sem o seu apoio.

¹⁵⁴ 60 decibels. 2020. [Why off-grid energy matters.](#)

¹⁵⁵ GEAPP. 2023. [Impact Report 2023.](#)

¹⁵⁶ USD mobilizados direta ou indiretamente por cada USD 1 de investimento da GEAPP.

Figura 3.2 Captura dos indicadores de impacto do GEAPP

Fonte: GEAPP. 2023. [Relatório de impacto 2023](#).

Por último, a EEP África apresenta indicadores estandardizados (incluindo poupanças nas despesas relacionadas com a energia; pessoas com melhor acesso à energia; emissões de CO₂-eq reduzidas ou evitadas; criação direta de emprego; e mulheres na liderança, apresentados na Figura 3.3) por país da iniciativa. Para além das principais métricas, o fundo também acompanha o financiamento alavancado, as vendas de aparelhos energeticamente eficientes e o acesso à energia para fins de utilização produtiva.

Figura 3.3 Resumo do impacto projetado pelo PEE para a sua portfólio ativo, enquadrado nos ODS

Fonte: EEP África. n.d. [Resultados](#).

Em relação ao impacto ambiental das mini-redes, o setor carece de uma metodologia estandardizada para medir as emissões de carbono evitadas pelas mini-redes. As metodologias existentes calculam as emissões evitadas com base na energia gerada pelas mini-redes e num fator de emissões por defeito, que pressupõe que todos os consumidores de mini-redes utilizavam anteriormente uma única fonte de energia, como um gerador a gásóleo, quando na prática os consumidores utilizam normalmente uma variedade de fontes. Além disso, o cálculo das emissões com base na energia produzida pode levar a resultados

enganadores se alguma dessa energia não for consumida.¹⁵⁷ Para resolver estas questões, a SEforALL desenvolveu a ferramenta de emissões de mini-redes, utilizada pela Universal Energy Facility (UEF), que oferece uma abordagem harmonizada para quantificar os benefícios de mitigação das mini-redes, com base em pressupostos realistas.

No que diz respeito às considerações ambientais, sociais e de governação (ASG ASG), embora os financiadores tenham adotado quadros de medição ASG semelhantes, as principais métricas utilizadas ainda variam de um financiador para outro. A identificação e a atenuação dos riscos ASG são geralmente efetuadas de acordo com as oito normas de desempenho da SFI, mas as métricas e os modelos de relatórios utilizados não são standardizados, o que representa um custo significativo para os promotores. Este custo é particularmente elevado quando se trata da diligência devida da cadeia de fornecimento relativamente a questões de direitos humanos. À medida que o setor das mini-redes se vai expandindo, é necessário abordar as questões do trabalho forçado e infantil na exploração mineira e, por extensão, nas cadeias de fornecimento de baterias. No entanto, os promotores carecem atualmente de orientação por parte dos financiadores sobre o mapeamento e a abordagem desses riscos, enquanto transferem para os consumidores o custo de rastrear a cadeia de abastecimento.

Por fim, vale a pena notar que, por vezes, o cumprimento dos ODS entra em conflito com os modelos de negócio existentes. Dado que a rentabilidade continua a ser um fator-chave para os promotores de mini-redes, é frequente que o número de ligações seja reduzido para aumentar a rentabilidade. Mais especificamente, os promotores de mini-redes de maior dimensão estão a adotar uma abordagem estratégica para atingir a utilização total nos primeiros 12 meses de operação, através da qual inicialmente subdimensionam ligeiramente a infraestrutura, com o objetivo de atingir rapidamente uma utilização de 100 por cento. Esta abordagem minimiza o risco de eletricidade encalhada, um cenário em que a energia produzida permanece inutilizada devido à falta de clientes ligados ou de procura suficiente. Ao atingir a utilização total, os promotores podem então apresentar um caso convincente aos investidores para expandir as operações, demonstrando tanto a procura como a eficiência do local. A abordagem da Nuru exemplifica isto, uma vez que se compromete com uma fração de 75% de energia renovável em todas as instalações. No entanto, à medida que se aproximam dos 100% de utilização, é necessário aumentar temporariamente a percentagem de gásóleo na mini-rede para garantir um fornecimento de energia consistente.

Abordagens centradas no cliente para medir o impacto

As abordagens inovadoras para medir o impacto também incluem empresas terceiras que utilizam inquéritos para medir o impacto social em todo o mundo. Por exemplo, a 60 decibéis, uma empresa de medição do impacto, desenvolveu um índice de energia fora da rede baseado em inquéritos que fornece dados de desempenho social de referência sobre o impacto dos sistemas solares domésticos, lanternas, eletrodomésticos, mini-redes e fogões de cozinha limpos. Analisando o setor das mini-redes, as conclusões apresentadas no Quadro 3.1 baseiam-

¹⁵⁷ SEforALL. n.d. [Mini-grids emissions tool](#).

se em inquéritos a 2.445 clientes servidos por sete empresas em cinco países. Os resultados são encorajadores no que diz respeito ao acesso, com 84% dos clientes a acederem à eletricidade pela primeira vez, 97% dos clientes a não estarem ligados à rede e 94% dos clientes a abandonarem as fontes tradicionais. No entanto, o acesso *equitativo* continua a ser um desafio, uma vez que apenas 27% dos clientes são mulheres e os clientes com rendimentos mais baixos são mal servidos.

Tabela 3.1 Métricas de impacto de 60 decibéis para o setor das mini-redes

MÉTRICA	DESCRIÇÃO	IMPACTO DAS EMPRESAS INQUIRIDAS
PERFIL		
Alcance da pobreza	Percentagem de clientes que vivem abaixo do limiar de pobreza internacional definido pelo Banco Mundial correspondente a 3,20 USD por pessoa e por dia	57 por cento
Rácio de inclusividade	Grau em que os clientes com baixos rendimentos são servidos em relação à população do país (1 = paridade com a população nacional, > 1 = excesso de serviço, < 1 = falta de serviço)	0.9
Alcance feminino	Percentagem de clientes do sexo feminino	27 por cento
Alcance rural	Percentagem de clientes que vivem em zonas rurais em relação a zonas periurbanas e urbanas	69 por cento
Nenhum acesso à rede elétrica	Percentagem de clientes não ligados à rede nacional	97 por cento
IMPACTO		
A qualidade de vida melhorou muito	Percentagem de clientes cuja qualidade de vida melhorou muito devido ao serviço de energia	43 por cento
Enfrentar um pesado encargo de reembolso	Percentagem de clientes que afirmam que o pagamento do serviço de energia é um encargo pesado	16 por cento
Subiu a escada da energia	Percentagem de clientes que deixaram as fontes de energia mais tradicionais/básicas	94 por cento
Primeiro acesso	Percentagem de clientes que acedem ao serviço de energia pela primeira vez	84 por cento
Utilização produtiva	Percentagem de clientes que utilizam o serviço de energia para atividades geradoras de rendimento	21 por cento
EXPERIÊNCIA		
Taxa de contestação do cliente	Percentagem de clientes que tiveram dificuldades em utilizar o serviço de energia	36 por cento
Questões não resolvidas	Percentagem de clientes que enfrentam um desafio e cujos problemas não foram resolvidos	55 por cento

Fonte: 60 decibels. 2024. [Why off-grid energy matters.](#)

De acordo com os inquéritos realizados pela 60 decibéis, os três impactos mais importantes para os clientes das mini-redes são o acesso a (melhor) iluminação, a confiabilidade e o acesso a eletrodomésticos.

A abordagem baseada em inquéritos é também utilizada pela Oikocredit (ver Caixa 3.1), para além das suas métricas de impacto padrão que estão enquadradas nos ODS (ligações, redução das emissões de CO₂, empregos criados).

Caixa 3.1 Inquéritos finais efetuados pela Oikocredit

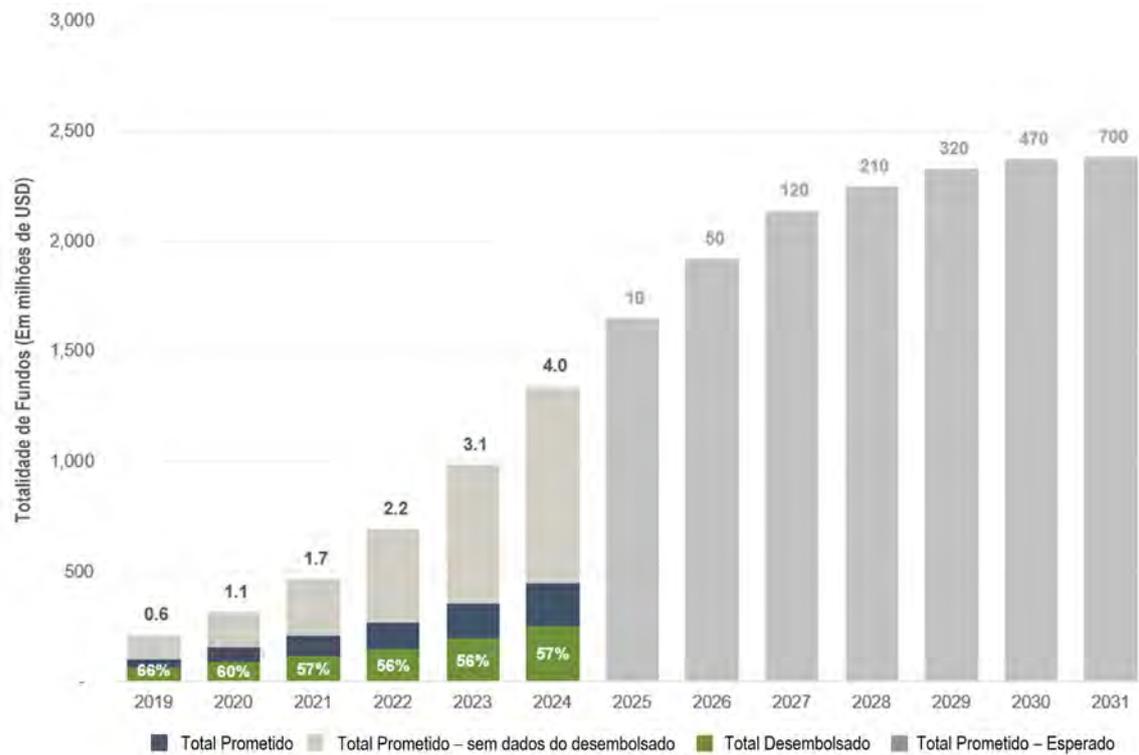
O investidor de impacto Oikocredit tira partido do seu estreito envolvimento com os seus parceiros e utiliza inquéritos aos clientes finais como forma de identificar o impacto dos seus investimentos nos utilizadores finais. Em 2022, a Oikocredit realizou um inquérito aos clientes finais em colaboração com 19 parceiros e outras organizações, entrevistando 16500 clientes. Os inquéritos incluíam 30 perguntas centradas no seu bem-estar, no impacto do financiamento e nos efeitos das alterações climáticas e foram realizados nas línguas locais.

Fonte: Oikocredit. 2023. [Financial inclusion: How does Oikocredit select its partners?](#).

Medir os progressos realizados na implementação feita por doadores

O acompanhamento do financiamento desembolsado em relação ao financiamento aprovado é crucial para obter uma imagem completa do mercado global de mini-redes. Acompanhar e reportar os desembolsos em comparação com os compromissos é crucial para garantir a transparência e a responsabilização. Medir o progresso permitirá uma maior colaboração entre os partes interessadas para atingir objetivos comuns, reconhecendo os desafios que precisam de ser abordados para promover o crescimento sustentável no setor das mini-redes.

O financiamento total autorizado tem vindo a aumentar, enquanto a taxa de desembolso se manteve acima dos 50 por cento. O financiamento total autorizado aumentou seis vezes entre 2019 e 2024, como se pode ver na Figura 3.4. Nos projetos para os quais estavam disponíveis dados de desembolso, a taxa de desembolso aumentou ligeiramente entre 2022 e 2024, atingindo 57%. No entanto, esta taxa pode ser inferior porque não foram fornecidas taxas de desembolso para programas que constituem uma grande parte do financiamento global autorizado. Até 2031, prevê-se que o financiamento total autorizado atinja 2,4 mil milhões de dólares.

Figura 3.4 Financiamento total autorizado vs. desembolsado por ano

Nota: A taxa de desembolso total (verde) é fornecida apenas para os programas em que as taxas de desembolso estão disponíveis.

Fonte: Análise do TCE baseada na base de dados do FGM.

As taxas de desembolso para 2019 e 2020 aqui apresentadas diferem das apresentadas no Estado do Mercado Global de Mini-Redes 2020 devido a diferenças metodológicas e a variações na amostra: A metodologia deste relatório tem em conta a duração dos programas de financiamento, garantindo que a taxa de desembolso para cada ano é relativa à parte do financiamento total disponível em cada programa durante esse ano.

Caixa 3.2 Acompanhamento da implementação dos doadores: Power for All

A Power for All¹⁵⁸ lançou recentemente "Accelerating Energy Access: Unlocking Catalytic Capital for Mini-Grids", uma campanha de dois anos para impulsionar o apoio às mini-redes através da sensibilização, comunicação e promoção. Esta campanha procura aumentar o apoio político, regulamentar e financeiro ao setor das mini-redes solares. Os KPIs descritos abaixo são um passo necessário para medir e acompanhar o atual apoio e progresso do setor.

Os indicadores-chave de desempenho darão uma ideia da eficácia das iniciativas atuais e identificarão as áreas que necessitam de mais apoio. O acompanhamento do progresso aumentará a transparência e a responsabilidade, criando confiança entre as partes interessadas e promovendo a colaboração para objetivos comuns. Adicionalmente, a medição do apoio permite às partes interessadas monitorizar o progresso, reconhecer desafios e tomar decisões que promovam o crescimento sustentável no setor das mini-redes e o progresso no sentido do acesso universal à energia.

¹⁵⁸ Power for All é uma coligação de partes interessadas que faz campanha para aumentar rapidamente a implementação de energias renováveis descentralizadas, a fim de alcançar o acesso universal à eletricidade antes de 2030.

Os KPIs para a campanha de mini-redes da Power for All incluem

1. **Financiamento aprovado v. financiamento desembolsado**
2. **Porcentagem de lugares que recebem financiamento de doadores**
3. **Fundos desembolsados por lugar**
4. **Fundos dos doadores por ligação nos países em foco.**

A análise da Power for All salienta que, embora exista um compromisso dos doadores (com o capital prometido a crescer ao longo do tempo), os fundos desembolsados para projetos de mini-redes são apenas uma fração do total atribuído, com uma média de 14% nos últimos anos. Grandes projetos como o KOSAP no Quênia e a UEF enfrentam atrasos significativos e baixos rácios de desembolso. A análise também mostra uma tendência de financiamento para projetos maiores e remotos, com os operadores de vários locais a receberem mais financiamento por local. Os indicadores-chave de desempenho fornecem uma ferramenta essencial para acompanhar os progressos, garantindo esforços coordenados para resolver as ineficiências e maximizar o impacto dos doadores para acabar mais rapidamente com a pobreza energética.

Fonte: Informação fornecida pela Power for All



CAPÍTULO QUATRO

PERSPECTIVAS DE MERCADO

A presente secção baseia-se nos conhecimentos e resultados discutidos nas secções anteriores para apresentar uma visão prospetiva para o setor, no que diz respeito ao ambiente favorável, aos modelos de negócio, ao financiamento, à tecnologia e à economia, tal como resumido na Figura 4.1.

Figura 4.1 Perspetivas de mercado



Notas: LCOE significa custo nivelado de eletricidade; UPE significa utilização produtiva de energia.

Perspetivas sobre o ambiente favorável



Planeamento energético integrado

Espera-se que o setor se afaste gradualmente da coexistência dos três modos de eletrificação (na rede, mini-redes e sistemas autónomos) em silos, em direção a um quadro integrado de planeamento energético. Um exemplo desta abordagem é o Quadro Integrado de Distribuição (QID), que defende que uma "entidade" (composta por um ou mais intervenientes, como a empresa de distribuição existente em parceria com o setor privado) deve ser responsável pela distribuição numa determinada área (ao abrigo de um contrato como uma concessão) e assegurar a cobertura universal. Neste modelo, a "integração" torna-se um conceito multifacetado, que inclui a integração dos três modos de eletrificação, de todos os tipos de clientes finais e dos setores público e privado no setor da distribuição.¹⁵⁹ Ver a caixa 2.1 para mais pormenores.

Do mesmo modo, o projeto Utilities 2.0 da PowerforAll defende uma mudança da abordagem clássica dos serviços de utilidade pública, combinando tecnologias centralizadas e descentralizadas numa rede de energia integrada, inteligente e interativa, capaz de fornecer soluções de energia limpa centradas no cliente e ao mais baixo custo. Esta abordagem reconhece que os serviços públicos precisam de colaborar com agentes do mercado que se destacam no serviço ao cliente (no primeiro ou no último quilómetro), que teriam a liberdade de escolher as tecnologias que melhor satisfazem a procura dos consumidores.¹⁶⁰



Abordagens regulamentares que reconheçam a necessidade de recuperar os custos de uma forma menos arriscada

Pre vemos uma mudança de foco, passando de uma abordagem tradicional na recuperação de custos, através de tarifas baseadas em avaliações de custo de serviço para projetos individuais, para uma forma mais abrangente e flexível de recuperar os custos de uma forma que não comporta riscos. Um exemplo desta abordagem é a implementação de ajustamentos automáticos de tarifas para ter em conta grandes alterações nos custos que estão fora do controlo dos operadores de mini-redes, como a inflação e as flutuações cambiais. Do mesmo modo, a regulamentação deverá reconhecer cada vez mais a necessidade de escala como um fator-chave da viabilidade das mini-redes, por exemplo, permitindo pedidos de licenças e tarifas em carteira e adotando normas técnicas adequadas à escala do projeto.

¹⁵⁹ Global Commission to End Energy Poverty. n.d. [Integrated Distribution Framework; Integrating Isolated Mini-Grids With an IDF-Compliant Regulated Distribution Sector.](#)

¹⁶⁰ PowerforAll. 2019. [Universal Renewable Energy Access: The Utilities of the Future](#)



Estandarização das abordagens e instrumentos regulamentares

Dada a necessidade de uma rápida expansão do setor, podemos prever a estandarização de certos aspetos regulamentares, como as metodologias de fixação de tarifas baseadas no princípio da recuperação dos custos ou as modalidades de chegada à rede. Tendo em conta a maturidade de certas abordagens e as lições aprendidas até à data, o setor pode afirmar confortavelmente que estabeleceu modelos que podem ser ajustados às condições do mercado e dos projetos. Um bom exemplo é o trabalho do Fórum Africano de Reguladores de Serviços Públicos (AFUR) em colaboração com a Associação Africana de Promotores de Mini-redes (AMDA) no desenvolvimento de uma ferramenta estandarizada de tarifas para mini-redes. À luz da criação da African School of Regulation, é de esperar que a harmonização aumente através de um envolvimento próximo com os parceiros de desenvolvimento, reguladores, ministérios da energia e o setor privado, com o objetivo de estabelecer um consenso em todo o setor sobre os principais aspetos regulamentares.



Abordagens mais abrangentes para a avaliação de ativos em caso de chegada da rede

As metodologias de avaliação de ativos de mini-redes estão a evoluir gradualmente. A chegada à rede é uma das principais fontes de incerteza para os promotores e investidores de mini-redes. Sem uma compensação garantida, estes investimentos privados são menos seguros, o que leva à relutância dos investidores privados em se envolverem no setor. Além disso, a ausência de um mecanismo de indemnização claro e aplicável pode desencorajar o investimento e a inovação a longo prazo, travando ainda mais o crescimento e o desenvolvimento das mini-redes.

Para resolver esta questão, um número crescente de países está a adotar regulamentos que especificam o direito a compensação pelos ativos da mini-rede no caso de a empresa de distribuição chegar mais cedo do que o acordado ou esperado, incluindo a Nigéria e a Serra Leoa. No entanto, até à data, nenhuma mini-rede africana recebeu qualquer compensação ao abrigo destas regras. De facto, a maior parte das empresas de distribuição e agências de eletrificação rural na África Subsariana não têm dinheiro para comprar mini-redes isoladas, enquanto o financiamento dos doadores para as empresas de rede principal é tipicamente dedicado a novas instalações de distribuição, com apenas um financiamento limitado ou nulo atribuído à aquisição e compensação de ativos de mini-redes.¹⁶¹ À medida que o setor amadurece, esperamos ver exemplos de tais acordos de chegada à rede na prática, e o estabelecimento de abordagens inovadoras à avaliação de ativos que encorajem o envolvimento do setor privado no setor das mini-redes.

¹⁶¹ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)



Mini-redes interligadas

Está a ser dada maior atenção à questão da qualidade do serviço recebido pelos utilizadores finais, em oposição ao simples acesso nominal à energia. As estatísticas de acesso baseiam-se nas ligações elétricas e não captam os clientes que estão "eletrificados," mas que receberam um mau serviço ou, em alguns casos, nenhum serviço. Assim, as taxas de acesso à eletricidade publicadas pintam frequentemente uma imagem cor-de-rosa do panorama da eletrificação que está longe de estar completo. As mini-redes interligadas deverão desempenhar um papel fundamental no preenchimento desta lacuna, como já foi salientado na Nigéria, onde a má qualidade do serviço, incluindo a falta de confiabilidade e as grandes variações de tensão e frequência, é um problema crítico. A Agência de Eletrificação Rural, com um novo financiamento do Banco Mundial, iniciou o Projeto de Eletrificação da Nigéria para criar mini-redes interligadas (para as empresas privadas de distribuição da Nigéria), bem como o Programa Nigeriano de Apoio à Energia, que está a conceder subsídios e assistência técnica aos promotores nigerianos que se propõem construir mini-redes interligadas.¹⁶²

Perspetivas sobre o modelo de negócio



Há uma necessidade de modelos de negócio inovadores para chegar ao último quilómetro

Devido às grandes poupanças de custos que podem ser obtidas através de economias de escala, muitos promotores procuram eletrificar locais maiores, com mais de 5 000 ligações. No entanto, esta abordagem leva a que se escolham os locais comercialmente mais viáveis, onde o défice de eletricidade pode ser mais facilmente colmatado, deixando para trás os locais menos viáveis. Isto representa um desafio para a política de subsídios, uma vez que, para garantir a eficiência, é importante determinar os níveis adequados de subsídios com base na atratividade comercial.

Uma abordagem inovadora para eletrificar o último quilómetro são as redes em malha, que deverão ganhar força em zonas com baixa densidade populacional. Os custos de distribuição reduzidos resultantes da proximidade das casas e a taxa de implantação acelerada (devido à ausência de requisitos de aquisição de terrenos) representam uma oportunidade largamente inexplorada para o setor privado. Ao ligar organicamente os agregados familiares, esta abordagem oferece um método replicável e com potencial de escala para chegar aos clientes no último quilómetro em regiões escassamente povoadas, permitindo assim poupanças significativas nos custos de investimento.

¹⁶² Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen e Ashish Shrestha. 2024. [Soluções de mini-redes para clientes mal servidos: New Insights from Nigeria and India.](#)



Uma abordagem mais proactiva à UPE

A UPE continua a ser um aspeto fundamental do desenvolvimento de mini-redes. No entanto, espera-se que o seu foco se expanda, exigindo que os promotores assumam um papel mais proactivo no aumento das cargas dos clientes e, conseqüentemente, das receitas das mini-redes. No que diz respeito aos modelos de negócio, isto refletir-se-á na mudança do modelo tradicional de fornecimento de energia para o modelo de aceleração do negócio e para o modelo de fornecedor-consumidor. Por exemplo, a Husk Power oferece educação, formação e desenvolvimento empresarial a clientes que operam MPMEs, ao mesmo tempo que está a experimentar formar e operar as suas próprias empresas utilizando a eletricidade da mini-rede.¹⁶³ O duplo benefício da UPE - manter a rentabilidade das mini-redes e capacitar as comunidades - continua a ser uma narrativa poderosa na evolução do setor das mini-redes.

Perspetivas de financiamento



A agregação como fator-chave para a viabilidade financeira das mini-redes

Espera-se que os agregadores desempenhem um papel cada vez mais importante para ajudar as empresas mais pequenas a poupar através de economias de escala. Por exemplo, a Demand Aggregation for Renewable Technology (DART) da GEAPP, que foi recentemente lançada, é uma das principais plataformas de agregação que ajuda as empresas mais pequenas, que de outra forma não teriam poder de negociação, a aceder a equipamento a preços acessíveis. A DART aborda este desafio através da agregação da procura, permitindo assim que as empresas beneficiem de economias de escala e obtenham equipamento a uma taxa de desconto até 30%, fornecendo simultaneamente financiamento a fundo perdido para apoiar a compra de equipamento, para além de prestar um serviço de desalfandegamento.¹⁶⁴

Cada vez mais, esperamos ver fundos especializados a agregar portfólios de mini-redes em vários países. O modelo utilizado pela CrossBoundary Energy Access é um excelente exemplo de um fundo deste tipo que pretende atingir para garantir o *scale-up* através da agregação de várias empresas de ativos numa única plataforma de investimento suficientemente grande para angariar capital e dívida mezanino junto dos investidores.

¹⁶³ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

¹⁶⁴ GEAPP. 2024. [DART 3.0 Kicks Off in Nigeria for DRE Companies.](#)



Aumento da colaboração intersectorial para garantir o scale-up setor

É de prever que a comunidade de doadores forme parcerias para acabar com os silos, reunir recursos e incentivar a inovação no setor. Prevê-se que a tendência para grandes instrumentos de financiamento cruzado, exemplificada pelo FUE, continue em resposta à necessidade de continuidade do financiamento, em vez da abordagem de "pára-arranca" registada até agora. Os diferentes setores deverão também unir cada vez mais forças para potenciar as sinergias entre os ODS. Neste contexto, o financiamento da luta contra as alterações climáticas desempenha um papel fundamental; o recém-lançado programa de financiamento misto para o clima entre a Finlândia e a CIF é um exemplo de como os setores do clima e da energia se unem para ajudar a expandir o setor. O programa procura catalisar investimentos inovadores e desbloquear o financiamento privado de projetos inteligentes relacionados com o clima, em países em desenvolvimento com baixos rendimentos.

Perspetivas tecnológicas



Avanços tecnológicos que conduzem a reduções de custos operacionais

As tecnologias de monitorização à distância já começaram a transformar a forma como as empresas de energias renováveis gerem e otimizam as suas operações de mini-redes. Estas ferramentas digitais facilitam o acompanhamento e controlo em tempo real de locais remotos, garantindo a eficiência operacional e reduzindo a necessidade de visitas dispendiosas ao local. À medida que estas tecnologias avançam, é de esperar que se tornem ainda mais essenciais para o funcionamento das mini-redes. A tendência para a digitalização e integração da IoT (Internet das Coisas) significa que a monitorização à distância não só se tornará mais comum, como mais sofisticada, permitindo a manutenção preditiva, uma melhor gestão energética e um melhor serviço ao cliente. Espera-se que esta mudança tecnológica reduza ainda mais os custos de O&M, que atualmente beneficiam de uma redução estimada de 15% devido às capacidades de monitorização à distância existentes.¹⁶⁵



Maior disponibilidade de dados é necessária para expandir o setor

O papel das ferramentas de partilha de dados no setor das mini-redes está a tornar-se cada vez mais crítico. As ferramentas e plataformas de partilha de dados podem desempenhar um papel fundamental na expansão do setor, demonstrando a viabilidade e a capacidade de gerar rendimentos dos projetos de mini-redes a potenciais investidores e organismos de financiamento. Apesar da atual hesitação entre empresas e instituições em partilhar dados de desempenho sensíveis, o estabelecimento de quadros de partilha de dados

¹⁶⁵ Entrevista com a Odyssey Energy Solutions.

seguros e anónimos pode mitigar estas preocupações. Estes quadros não só facilitarão a partilha de dados operacionais vitais, como também permitirão aos partes interessadas aferir o desempenho, compreender a dinâmica do mercado e identificar áreas de melhoria e investimento.

Uma melhor partilha de dados e capacidades de monitorização à distância podem contribuir significativamente para alcançar o acesso universal à eletricidade até 2030. Ao fornecerem provas claras e tangíveis do desempenho e da eficiência das mini-redes, estas tecnologias podem ajudar a atrair os investimentos necessários para aumentar o número de instalações de mini-redes em todo o mundo. Além disso, a integração de análises avançadas com dados de monitorização remota pode oferecer uma visão mais profunda do comportamento dos consumidores, dos padrões de utilização de energia e do desempenho do sistema, permitindo estratégias de eletrificação mais direcionadas e eficazes.

Na África Subsariana, a AMDA, através da sua estratégia AMDA 2.0, está a trabalhar para assumir a liderança na facilitação da partilha de dados de informação agregada e anónima dos seus membros para diferentes partes interessadas no setor.

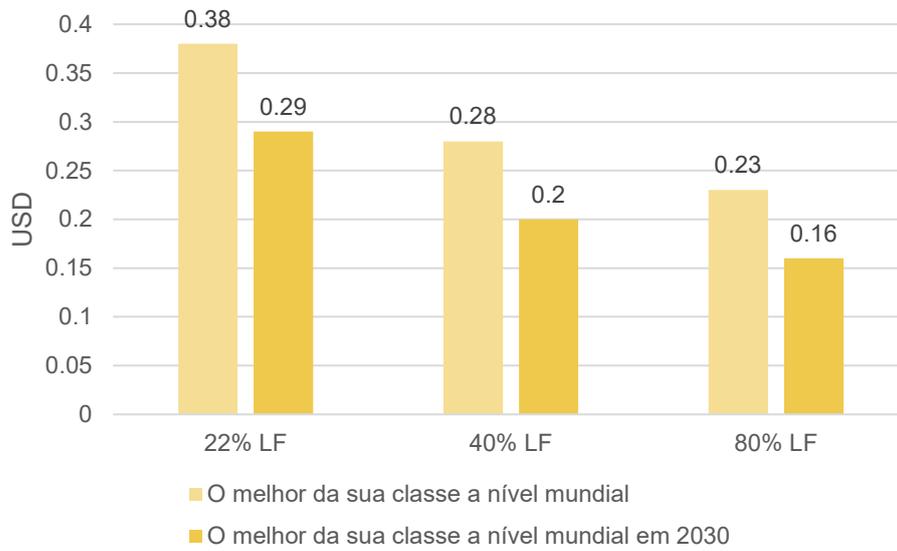
Perspetivas para a economia



Maior redução do LCOE

De acordo com os resultados da modelação do ESMAP, prevêem-se novas reduções do LCOE. A Figura 4.2 apresenta o LCOE para o que seria atualmente considerado como as melhores mini-redes da sua classe, i.e. mini-redes de elevado desempenho com base nos custos dos componentes e na magnitude da carga. Para comparação, é apresentado o LCOE das melhores mini-redes de 2030, com base nas reduções de custos de equipamento esperadas em 2030. Estas reduções são impulsionadas pelo facto de a indústria de mini-redes (e indústrias associadas) ter atingido escala, resultando em reduções de custos para componentes de mini-redes como painéis solares (através da implantação global de painéis solares em parques solares) e baterias de iões de lítio (através da expansão global de VEs e armazenamento de eletricidade à escala dos serviços públicos).¹⁶⁶

¹⁶⁶ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers.](#)

Figura 4.2 Reduções previstas no LCOE até 2030

Nota: LF significa fator de carga.

Fonte: ESMAP: ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).





CAPÍTULO CINCO

RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÕES

Embora o mercado das mini-redes esteja preparado para o crescimento e a inovação, tem de navegar num labirinto de desafios financeiros, regulamentares e operacionais. Ultrapassar estes obstáculos é crucial para que o setor concretize todo o seu potencial na contribuição para o acesso global à energia e para os objetivos de sustentabilidade. As secções seguintes traduzem os desafios identificados ao longo do relatório em planos de ação para cada grupo de partes interessadas, nomeadamente o setor público, os doadores e investidores e o setor privado, bem como as suas responsabilidades partilhadas (resumidas na Figura 5.1). O setor público engloba não só as agências governamentais responsáveis pela elaboração de políticas, mas também as agências de eletrificação rural, as unidades de parcerias público-privadas (PPP) e as empresas de serviços públicos, que desempenham papéis cruciais no desenvolvimento do setor.

Figura 5.1 Áreas de ação



Áreas de ação para o setor público

Clareza relativamente aos planos de expansão da rede de distribuição: Os decisores políticos têm de ir além da integração das mini-redes nos seus planos nacionais de eletrificação, assegurando que existe clareza e previsibilidade suficientes relativamente aos planos de expansão da rede das empresas de distribuição. Tal proporcionaria a certeza necessária aos promotores sobre potenciais áreas para o desenvolvimento de mini-redes.

Consideração das mini-redes interligadas como uma potencial solução com menores custos: Os modelos atualmente utilizados para o planeamento da eletrificação a menor custo identificam tipicamente as empresas de distribuição como a opção recomendada para a densificação e extensão da rede, sem considerar as mini-redes interligadas. Esta opção deve ser considerada, uma vez que frequentemente proporciona uma alternativa mais rentável e confiável para os consumidores em zonas onde a infraestrutura da rede é deficiente.

Configuração regulamentar das mini-redes como infra-estruturas: Isto implica o alinhamento das disposições regulamentares relativas às mini-redes com a sua natureza de investimentos a longo prazo e o reconhecimento da importância crescente do financiamento de projetos. Como tal, a duração das autorizações e licenças deverá ter como objetivo refletir o período de vigência dos acordos de financiamento e dar tempo suficiente para as atividades preparatórias. Assim, é necessária uma duração de pelo menos 10 ou 15 anos.

Reduzir o risco dos investimentos através de regulamentação e contratação: Embora os instrumentos financeiros sejam importantes para reduzir o risco do investimento em mini-redes, as disposições regulamentares (tais como mecanismos de indexação de tarifas para mitigar parcialmente os principais riscos, como a depreciação da moeda e a inflação) são cruciais para dar confiança aos investidores. Uma vez que o desenvolvimento de tais regulamentos pode levar tempo, os contratos precisam de incluir cláusulas específicas que

abordem diretamente estes riscos. Ao incorporar termos que permitam ajustamentos tarifários e outras medidas de mitigação de riscos, os contratos podem garantir que os investidores estão protegidos contra flutuações económicas imprevistas, promovendo assim um ambiente de investimento mais seguro, mesmo antes de serem estabelecidas regulamentações abrangentes.

Consulta dos investidores: A participação dos investidores no início do processo de desenvolvimento do quadro regulamentar é crucial para obter informações sobre o que constitui um quadro suscetível de ser financiado, incentivando assim os fluxos de investimento privado.

Maior colaboração entre reguladores a nível regional: Isto apoiaria a expansão do setor ao reduzir os recursos necessários para desenvolver um quadro de mini-redes financiável a partir do zero, mas também ao permitir que os promotores trabalhem em diferentes países, minimizando os seus custos de desenvolvimento.

Áreas de ação para doadores e investidores

Colaboração entre financiadores: O setor continua fragmentado, com múltiplos doadores e investidores a considerar o investimento no mercado e a realizar estudos de diligência devida em paralelo. Uma maior colaboração e partilha de dados aumentaria a eficiência do processo, poupando recursos tanto para os doadores/investidores como para os promotores de mini-redes.

Reconhecer que as mini-redes são uma abordagem localizada: A viabilidade financeira da mini-rede depende de uma compreensão profunda do contexto local e das necessidades energéticas, incluindo potenciais atividades de utilização produtiva de energia (UPE). Uma vez que não existe uma abordagem única para o desenvolvimento de mini-redes, é crucial que os financiadores e os parceiros de desenvolvimento desenvolvam abordagens mais direcionadas que não excluam os atores locais na implementação de programas de mini-redes.

Facilitar o acesso a subsídios: O objetivo dos subsídios é ajudar os promotores a arrancar e, como tal, os seus requisitos e as condições de concessão devem ser mais fáceis do que os do capital próprio ou da dívida. Além disso, os doadores devem procurar normalizar os processos de candidatura a subsídios, melhorando assim a eficiência e reduzindo os custos de financiamento para os promotores.

Aumentar a duração dos programas: Os doadores implementam frequentemente programas que se baseiam em projetos e têm prazos definidos, normalmente entre dois e cinco anos. No entanto, quando se trata de desenvolver todo o setor das mini-redes num país onde não existem empresas de mini-redes estabelecidas, este processo requer muitas vezes um período de tempo significativo. Alguns programas de doadores têm restrições de tempo e objetivos de desembolso que não se alinham com o prazo mais longo necessário para este esforço. Prolongar a duração dos programas liderados por doadores não só dá mais tempo aos promotores para desenvolverem projetos de mini-redes, como também reduz o risco de o apoio dos doadores terminar prematuramente, assegurando um apoio contínuo até os promotores terem recuperado os seus custos de investimento.

É necessário dar mais atenção ao financiamento do crescimento: Atualmente, as fases de capital de crescimento e de escalonamento até à rentabilidade (ou o chamado "vale da morte") são negligenciadas pelos financiadores, exemplificado pelo facto de a Nuru ter demorado cinco anos a obter financiamento para a expansão.¹⁶⁷ Embora o financiamento de projetos para mini-redes seja uma abordagem de financiamento importante para a expansão comercial, o financiamento para o crescimento da empresa deverá também receber a devida atenção.

Estabelecer uma relação de trabalho duradoura entre o financiador e o promotor: Estas relações podem desempenhar um papel vital para assegurar a continuidade do financiamento. O envolvimento em reuniões presenciais regulares com os promotores pode aumentar a confiança dos parceiros financeiros no modelo de negócio das mini-redes e levar a uma melhor compreensão das operações e do impacto dos promotores no terreno, potencialmente levando a empréstimos repetidos.

Garantir a capacitação dos governos e das empresas de distribuição: Dada a necessidade de adesão política e de um forte compromisso por parte dos governos para a implementação bem-sucedida e a sustentabilidade dos projetos de mini-redes, é necessária mais assistência técnica dirigida aos governos no âmbito de programas financiados por doadores, centrada em aspetos do desenvolvimento do quadro regulamentar das mini-redes, incluindo apoio consultivo em matéria de transações. O apoio às empresas de distribuição é também essencial, particularmente no contexto das mini-redes destinadas a servir clientes mal servidos.

Reforço do papel da AMDA: A AMDA, com a ajuda dos doadores, deve assumir o papel crucial de reforçar as capacidades dos seus membros, em especial das empresas locais em fase inicial, com destaque para o reforço da sua capacidade de aceder a subvenções e de participar noutras atividades de angariação de capital, bem como de melhorar as suas capacidades empresariais, como a monitorização do impacto e a elaboração de relatórios.

Áreas de ação para o setor privado

Procurar economias de escala: A agregação é fundamental para garantir melhores condições comerciais. Isto pode ser conseguido, por exemplo, através da criação de uma portfólio composto por sítios maiores e menos arriscados, agrupados com sítios mais pequenos e de maior risco. Esta abordagem também é útil para atenuar o risco cambial, quando se agrega entre países.

Estabelecimento de um processo sólido, com uma via clara para a rentabilidade: Um processo sólido e transparente deve fornecer aos investidores informações sobre os principais pressupostos do modelo de negócio e estratégias de expansão, incluindo métricas fundamentais como a receita média por utilizador (ARPU) e a utilização, expectativas de rentabilidade e estratégias de UPE. Isto serve para realçar a viabilidade comercial. Ao mesmo tempo, embora muitas vezes inconsistente com a rentabilidade, os promotores precisam de mostrar a sua vontade de alcançar o ODS 7 através de métricas de impacto chave.

¹⁶⁷ [GEAPP](#)

Dar prioridade à UPE para a capacitação económica e da comunidade: Os promotores devem continuar a procurar promover o UPE, mas encará-lo como um conceito que vai além da mera identificação de uma carga-âncora e que visa a capacitação económica e o desenvolvimento da comunidade. Modelos de financiamento inovadores, como a locação de equipamentos, o financiamento *on-bill* e os modelos KeyMaker, podem melhorar significativamente a acessibilidade e a sustentabilidade das iniciativas de UPE. Deve ser dada especial atenção à ampliação do impacto através da eletrificação de instituições públicas.

Responsabilidades partilhadas

Melhorar a eficiência e a colaboração para aumentar as taxas de desembolso: Os financiadores podem melhorar os seus processos e procedimentos para aumentar a eficiência. A partilha de lições, modelos e ferramentas entre programas e com os governos parceiros pode ajudar a acelerar a implementação do programa. Os papéis dos governos parceiros e dos promotores são também cruciais. Os governos podem estabelecer condições políticas e regulamentares favoráveis e são necessários acordos público-privados claros sobre as tarifas para garantir que os projetos possam chegar ao encerramento financeiro, de modo a que os fundos sejam desembolsados rapidamente.

Redução da fragmentação do setor: Apesar dos esforços para divulgar informação e os últimos desenvolvimentos sobre mini-redes, o setor continua fragmentado, com uma relutância geral em partilhar dados sobre a economia das mini-redes. No desenvolvimento deste relatório foram enfrentados grandes obstáculos à obtenção de dados, apesar das garantias de confidencialidade. Este é, no entanto, um resultado importante em si mesmo. Só através da partilha de dados é que as partes interessadas no setor das mini-redes poderão obter informações valiosas sobre a dinâmica do mercado, identificar tendências emergentes e enfrentar os desafios de forma mais eficaz. A eliminação de silos no setor das mini-redes é crucial para otimizar a atribuição de recursos, melhorar a tomada de decisões, conceber intervenções específicas e impulsionar o progresso do setor. Esta abordagem colaborativa também promove a transparência e a responsabilização, criando confiança entre os partes interessadas e criando um ambiente propício à inovação e ao investimento.

Construir colaborativamente um pacote que possa contribuir para a viabilidade das mini-redes: Não existe um elemento único que possa tornar os projetos de mini-redes mais atrativos para os investidores. Os partes interessadas relevantes têm de trabalhar em conjunto para criar um quadro abrangente que permita o desenvolvimento de mini-redes, incluindo regulamentação de apoio, instrumentos de financiamento adaptados e acesso a capital de longo prazo.

Adoção de uma perspetiva de longo prazo, baseada na viabilidade comercial: Um modelo comercial viável é crucial para a sustentabilidade dos projetos de mini-redes. Em toda a África, existem inúmeros exemplos de projetos de mini-redes financiados exclusivamente por doadores que acabaram por falhar, devido à falta de um modelo comercial sustentável para garantir a sua operação rentável. Este facto sublinha a importância do financiamento misto, em que os investidores de impacto estão alinhados com os investidores comerciais que procuram retorno. Um modelo bem-sucedido e sustentável requer viabilidade comercial em todas as

fases do ciclo de vida do projeto, incluindo promotores, empreiteiros de engenharia, aquisição e construção (EAC) e operadores a longo prazo. Ao avaliar a viabilidade comercial, é importante reconhecer que as mini-redes, enquanto investimentos em infraestruturas, não geram lucros imediatos; os retornos são realizados durante um período alargado, normalmente para além dos primeiros anos de operação. Esta perspetiva de longo prazo é essencial para o desenvolvimento sustentável do setor das mini-redes. No entanto, o acesso universal e equitativo requer um enfoque estratégico não só em áreas onde existe viabilidade comercial, mas também onde as mini-redes podem ter o impacto mais significativo. Para tal, é necessário encontrar um equilíbrio delicado entre a rentabilidade e os ODS.

ANEXO ESTUDOS DE CASO

A secção final do relatório inclui três estudos de caso aprofundados:

País	Razões para a seleção
 Serra Leoa	<ul style="list-style-type: none"> • Foram implementados vários programas de financiamento e modelos empresariais para mini-redes, com diferentes níveis de sucesso • Possui uma das taxas de acesso à eletricidade mais baixas da região • Desenvolveu um quadro regulamentar global para as mini-redes
 Índia	<ul style="list-style-type: none"> • Possui o maior número nominal de mini-redes na Ásia • Detém acesso generalizado à eletricidade da rede, mas as preocupações com a confiabilidade do abastecimento levam a uma procura contínua de mini-redes
 Quênia	<ul style="list-style-type: none"> • Quadro político favorável • Planeia desenvolver mais de 400 mini-redes para alcançar o acesso universal

Cada estudo de caso está dividido em quatro secções:

- Contexto nacional (incluindo eletrificação e principais operadores e projetos de mini-redes)
- Quadro político
- Quadro regulamentar
- Economia (incluindo modelos de negócio, tarifas e acessibilidade, bem como a utilização produtiva da energia [UPE]).

A1 Serra Leoa

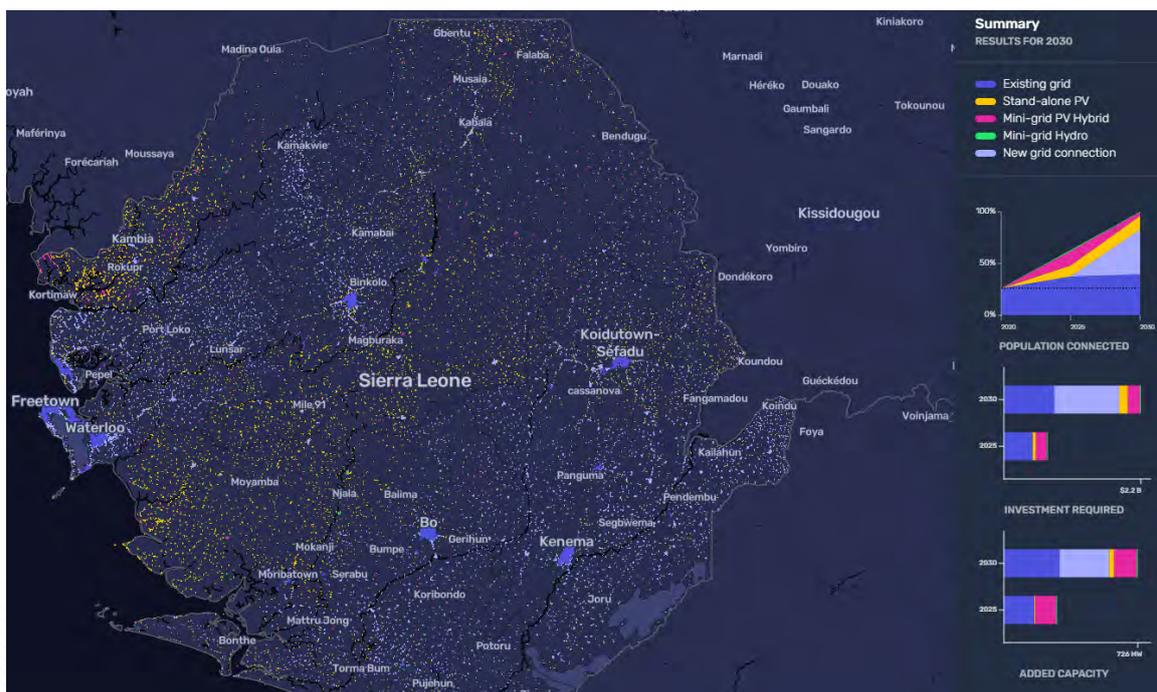
A1.1 Contexto do país

A1.1.1 Eletrificação

Na Serra Leoa a taxa de eletrificação nacional corresponde a 27%, contudo, nas zonas rurais, onde vive maioria da população, este valor é apenas 5%.¹⁶⁸ A figura 6.1 apresenta a estratégia para a eletrificação total do país até 2030, tal como apresentada na Plataforma Global de Eletrificação (GEP).

A abordagem de menor custo a nível nacional adotada pela GEP começa por aumentar as ligações nas povoações já ligadas à rede e, em seguida, dá prioridade às povoações não eletrificadas com base no menor custo de investimento per capita, até ser atingida a taxa de eletrificação pretendida.¹⁶⁹

Figura 6.1 Plano de eletrificação de menor custo na Serra Leoa



Fonte: [Global Electrification Platform](#).

¹⁶⁸ ESMAP. Tracking SDG7. Country reports: Sierra Leone.

¹⁶⁹ É aplicado um limite de capacidade de produção para manter a expansão da rede a níveis razoáveis.

Para alcançar o acesso universal até 2030 numa base de menor custo,¹⁷⁰ as mini-redes híbridas fotovoltaicas precisam de eletrificar 1,3 milhões de pessoas, às quais se juntam 19.000 pessoas ligadas através de mini-redes híbridas. Em termos de capacidade acrescida, são necessários 124 MW de mini-redes híbridas fotovoltaicas e 6 MW de mini-redes hidroelétricas até 2030 (de um total de 726 MW de capacidade acrescida). O investimento correspondente necessário até 2030 é de 198 milhões de USD para as mini-redes híbridas fotovoltaicas e de 15 milhões de USD para as mini-redes hidroelétricas.

De acordo com os últimos dados publicados pela IRENA,¹⁷¹ 104.000 pessoas têm acesso de Nível 1 e 85.000 pessoas têm acesso de Nível 2 através de mini-redes solares na Serra Leoa.

A1.1.2 Principais operadores e projetos de mini-redes

Existem atualmente quatro operadores de mini-redes na Serra Leoa,¹⁷² nomeadamente a Winch Energy, a Off-Grid Power (PowerGen), a Power Leone (Energicity) e a Power Ned. A energia solar fotovoltaica é a tecnologia de produção de mini-redes predominante em três dos quatro operadores, com a Power Ned a operar uma mini-rede hidroelétrica.

No que se refere aos projetos financiados por doadores, a Serra Leoa tem quatro projetos principais de mini-redes. O primeiro é o **Promoting Renewable Energy Services for Social Development** (PRESS-D), financiado pela União Europeia, Oxfam e GIZ, que instalou mini-redes em Gbinti (79 kW), Panguma (66 kW) e Segbwema (127 kW). O projeto durou até 2021, altura em que foi entregue ao Ministério da Energia, que tencionava contratar operadores privados para a exploração e manutenção das mini-redes nas três chefias, a fim de garantir a sustentabilidade das três mini-redes.¹⁷³

O Escritório das Nações Unidas para Serviços de Projetos (UNOPS) desempenhou um papel fundamental, apoiando o governo a alcançar o acesso universal à eletricidade, através da implementação do **projeto Rural Renewable Energy Project (RREP)**, financiado pelo Foreign, Commonwealth and Development Office (FCDO) do Reino Unido. As duas primeiras fases do projeto proporcionaram acesso à eletricidade a comunidades de 14 distritos da Serra Leoa através da construção de 94 mini-redes.¹⁷⁴ O projeto está a ser executado em pacotes de trabalho:

- Como parte do Pacote de Trabalho 1 (PT1), o UNOPS instalou mini-redes solares fotovoltaicas de 6 kWp em 54 centros de saúde comunitários, que foram

¹⁷⁰ Para obter estas estimativas, utilizámos o objetivo de procura de eletricidade da base para o topo (expresso em kWh/capita/ano) em vez de um objetivo do topo para a base, que atribui um objetivo de procura único em cada povoação, com base na taxa de pobreza local e no nível do PIB.

¹⁷¹ IRENA. 2023. [Off-grid renewable energy statistics](#)

¹⁷² SLEWRC. 2021. [Public Registry: Electricity](#).

¹⁷³ Ministry of Energy. 2021. [Request for Expression of Interest for the Operation, Maintenance and Management of the Solar Mini-Grids in Gbinti, Panguma, Segbwema](#).

¹⁷⁴ UNOPS. 2022. [Policy brief: Improving access to renewable energy in rural Sierra Leone](#).

posteriormente alargadas até 36 kWp em 50 locais (de 54) para converter os sistemas em pequenas mini-redes que cobrem as comunidades vizinhas (PCT1+).

- O Pacote de Trabalho 2 (PCT2) forneceu instalações de mini-redes de maior dimensão a mais 44 comunidades, levando a uma capacidade total de produção de 5 MW com mais de 97 mini-redes.¹⁷⁵ Este pacote introduziu o modelo de entrega de ativos divididos (ver secção A1.4.1), em que os ativos de produção são propriedade privada, enquanto os ativos de distribuição são propriedade do Ministério da Energia.

Além disso, o UNOPS está a implementar o projeto "**Enhancing the Impact of Rural Renewable Energy in Sierra Leone**", financiado pelo governo do Japão, que visa instalar seis mini-redes solares fotovoltaicas no distrito de Bo.¹⁷⁶

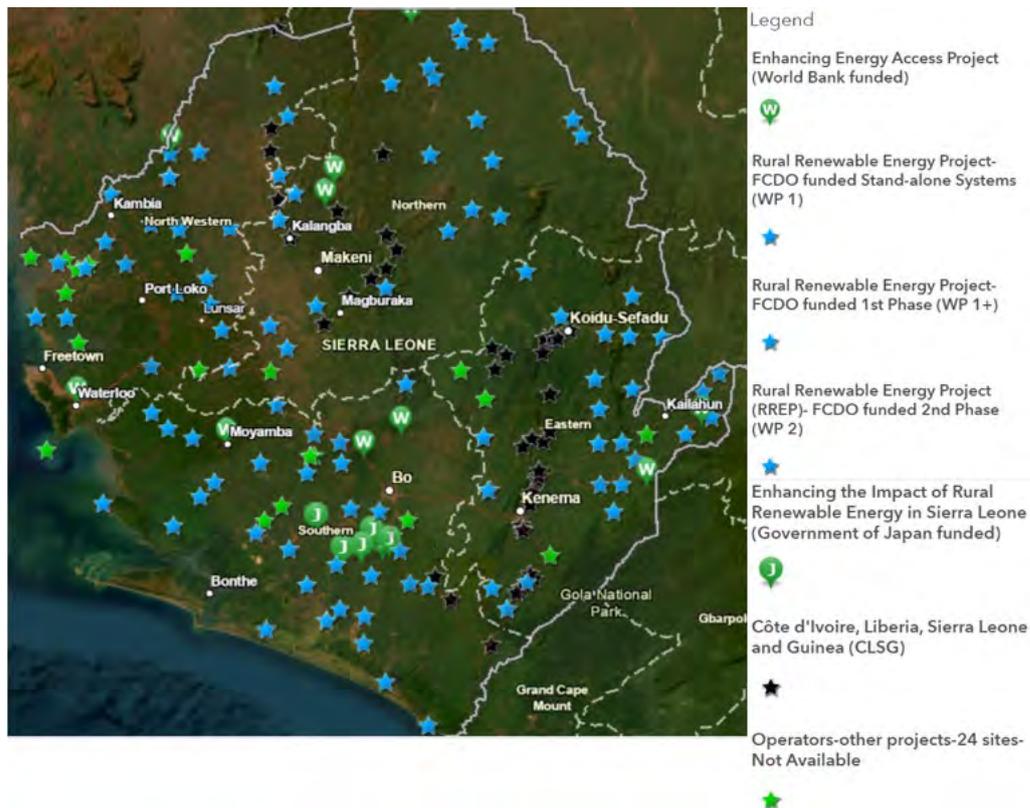
Por último, o projeto **Enhancing Sierra Leone Energy Access, financiado** pelo Banco Mundial e implementado pelo UNOPS, tem como objectivo instalar dez mini-redes solares fotovoltaicas com capacidade de armazenamento de baterias na cidade de Moyamba e em comunidades seleccionadas.¹⁷⁷ As localizações das mini-redes implementadas pelo UNOPS estão apresentadas na Figura 6.2.

¹⁷⁵ AfDB. 2019. Mini-Grid Market Opportunity Assessment: Sierra Leone.

¹⁷⁶ UNOPS. 2024. [Enhancing the Impact of Rural Renewable Energy](#).

¹⁷⁷ World Bank. 2021. [Enhancing Sierra Leone Energy Access](#).

Figura 6.2 Mini-redes do UNOPS



Fonte: ArcGIS. n.d. [The UNOPS mini-grids](#).

Uma adição significativa ao panorama das mini-redes é a chegada da **Universal Energy Facility** (UEF) à Serra Leoa, uma programa de financiamento baseada em resultados (FBR) de vários doadores implementada pela SEforALL, criada para aumentar significativamente o acesso à energia na África Subariana. O mecanismo prevê pagamentos de incentivos às empresas que fornecem ligações verificadas de eletricidade aos utilizadores finais através de mini-redes com base em normas pré-determinadas (592 USD por ligação eléctrica).¹⁷⁸ As suas atividades na Serra Leoa foram lançadas em 2020 e estão atualmente em fase de implementação, com um acordo de subvenção assinado com um promotor que irá fornecer 1 385 ligações no país.¹⁷⁹

¹⁷⁸ SEforALL.n.d. [Universal Energy Facility](#).

¹⁷⁹ SEforALL. 2023. [Understanding mini-grid tariffs in Sierra Leone: A Quantitative and Comparative Analysis of Price Drivers](#).

A1.2 Quadro político

O Governo da Serra Leoa, com o apoio dos parceiros de desenvolvimento, nomeadamente o FCDO do Reino Unido, estabeleceu um quadro político de apoio e regulamentos abrangentes para aumentar o acesso à eletricidade através de mini-redes. A responsabilidade pela definição de políticas cabe ao Ministério da Energia.

O quadro político reconhece o importante papel das mini-redes no aumento do acesso à energia e estabelece objetivos específicos para as mini-redes a atingir até 2030.

O **Plano de Ação Nacional para as Energias Renováveis de 2015** considera as soluções fora da rede (mini-redes e sistemas autónomos) como parte do plano de eletrificação e estabelece uma meta ambiciosa de 27% da população rural a ser servida por 65 mini-redes até 2030. A capacidade instalada correspondente é de 134 MW com base nos objetivos do plano e na trajetória estimada.

A **Política de Energias Renováveis da Serra Leoa de 2016** mostra o compromisso do governo com as mini-redes como forma de eletrificar as zonas rurais do país e propõe uma série de medidas destinadas a reforçar a capacidade institucional de planeamento e implementação de mini-redes, promovendo a formação de agências locais para a operação e manutenção de mini-redes e sensibilizando as comunidades locais para os benefícios dos projetos de mini-redes de energias renováveis.

Por último, a **Política Nacional de Energia atualizada de 2019** reconhece a questão do acesso limitado à eletricidade nas zonas rurais e o seu impacto negativo na atividade económica (incluindo a agricultura e as empresas), na igualdade de género e na pobreza. Neste contexto, a política afirma claramente a intenção do governo de desenvolver mini-redes através de acordos de parceria público-privada para aumentar o acesso à eletricidade nas zonas rurais.

A1.3 Quadro regulamentar

A Lei da Comissão Reguladora da Eletricidade e da Água da Serra Leoa de 2011 estabeleceu o organismo responsável pela regulação da prestação de serviços de eletricidade (e água) e definiu os princípios orientadores para o licenciamento desses serviços.

A1.3.1 Regulamentação das mini-redes

O quadro regulamentar para as mini-redes é definido pelo **Regulamento de Mini-Redes 2019 da Comissão Reguladora da Eletricidade e da Água da Serra Leoa (SLEWRC)**, que se aplica tanto a mini-redes isoladas como a mini-redes interligadas.

Os regulamentos relativos às mini-redes de 2019 simplificam o quadro regulamentar e de tarifas das mini-redes, permitindo duas categorias de licenças e tarifas que refletem os custos.

Licença básica e completa

Os regulamentos estabelecem uma distinção entre uma licença básica e uma licença completa de mini-rede, fixando um limiar de potência distribuída cumulativa até 100 kW, acima do qual é exigida uma licença completa. Esta distinção é crucial na prática, uma vez que influencia o tratamento regulamentar das mini-redes em termos de fixação de tarifas e de interligação à rede.

Uma licença de mini-rede **básica** aplica-se a sistemas isolados até 100 kW e inclui uma licença de produção e uma licença de venda para uma zona não servida, enquanto uma **licença de mini-rede completa** se aplica a projetos de mini-rede entre 100 kW e 10 MW e inclui uma licença de produção, uma licença de distribuição e uma licença de venda para uma zona não servida designada.

A Comissão pode também aprovar um **contrato de mini-rede interconectada** assinado com uma empresa de serviços de rede principal para construir, instalar e operar uma mini-rede interconectada numa zona mal servida.

Licenciamento

Os regulamentos estabelecem claramente o processo de pedido de licença, incluindo as taxas relevantes e os formulários necessários para obter uma licença básica e completa, bem como para uma licença que abranja vários sítios. **O curto prazo em que a Comissão tem de tomar uma decisão garante a eficiência do processo de pedido de licença.** Mais especificamente, a Comissão dispõe de 30 dias para tomar uma decisão sobre a licença após a receção do pedido ou da documentação adicional solicitada para completar o pedido.

Para aprovar o pedido, a Comissão avalia, para além do carácter exaustivo e exato do próprio pedido, a **capacidade financeira, técnica e de gestão** do candidato.

Os regulamentos especificam dois motivos para a suspensão, anulação ou revogação de uma licença, nomeadamente a violação dos termos e condições da licença e o "interesse público". Este último conceito permite uma interpretação jurídica flexível e pode causar incerteza aos potenciais investidores, a menos que raramente seja aplicado na prática. A licença pode também ser anulada ou revogada se não for utilizada no prazo de um ano após a sua concessão.

As condições gerais que têm de ser cumpridas pelo titular da licença incluem:

- Prestação de um serviço seguro, adequado, eficiente, razoável e não discriminatório.
- Conformidade com as normas aplicáveis¹⁸⁰ para as atividades relacionadas com a licença, incluindo engenharia, construção, colocação em funcionamento, operação e manutenção.
- Aprovação das tarifas pela Comissão.

A prestação não discriminatória do serviço é ainda definida como um requisito para que o titular da licença não discrimine "entre consumidores da mesma categoria, ou categorias de consumidores ou estabeleça condições que sejam indevidamente onerosas". No entanto, o regulamento permite a **diferenciação de tarifas** com base em diferenças relacionadas com o fator de carga, o fator de potência, o nível e o momento do pico de procura, a localização, a tensão e outros fatores relevantes.

Os regulamentos estabelecem um quadro abrangente de proteção do consumidor, incluindo disposições relativas à qualidade do serviço, responsabilidade, saúde e segurança e proteção ambiental.

Chegada à grelha

Os titulares de licenças básicas são obrigados a desmantelar e remover os seus ativos sem qualquer compensação, enquanto os titulares de licenças plenas devem converter-se numa mini-rede interligada ou transferir os ativos para a empresa de serviços públicos em troca de uma compensação financeira.

Os regulamentos abordam o risco de chegada à rede através de disposições claras relativas a mecanismos de compensação. A extensão da proteção difere consoante a licença seja básica ou completa. No primeiro caso, não é necessária qualquer compensação se uma empresa de serviços de rede principal ou um titular de uma licença de mini-rede completa

¹⁸⁰ Código de Produção e Código de Distribuição, ou normas CEI, ou normas britânicas aplicáveis no momento da candidatura.

estender a sua rede de distribuição a uma área servida pelo titular da licença básica. Em contrapartida, o titular de uma licença plena tem o direito de escolher uma das seguintes opções:

- **Converter para uma mini-rede interligada** com base num contrato de interligação de mini-rede entre o titular da licença de mini-rede completa e a empresa de eletricidade da rede principal.
- **Transferir todos os ativos que o serviço de rede principal deseja manter no respetivo local em troca de uma compensação financeira** do serviço de rede principal antes da chegada da rede de distribuição. A metodologia de cálculo do valor dos ativos oferece três opções, segundo as quais a compensação deve ser equivalente ao seguinte:
 - **O valor residual dos ativos com financiamento privado após amortização** (calculado de acordo com a metodologia de fixação de tarifas analisada mais adiante), incluindo ativos com financiamento privado transferidos para a empresa de serviços públicos e ativos com financiamento privado desativados, removidos e eliminados pela empresa de serviços públicos do local da mini-rede.
 - **O valor residual do custo de desenvolvimento do projeto financiado pelo setor privado, ativado e amortizado**, para o local da mini-rede (calculado de acordo com a metodologia de fixação de tarifas analisada mais adiante).
 - **As receitas auditadas do titular da licença de mini-rede completa** geradas a partir da mini-rede nos 12 meses anteriores à chegada à rede.

Tarifas

Aprovação de tarifas

O processo de aprovação da tarifa varia consoante a licença seja básica ou completa. Para licenças básicas, o titular da licença pode acordar livremente uma tarifa com os consumidores, sujeito a informar a autoridade comunitária apropriada. Assim, os regulamentos seguem uma abordagem ligeira para regular as mini-redes de menor capacidade, sem a necessidade de aprovação regulamentar. No entanto, tal como acontece em muitas jurisdições que introduziram isenções de aprovação regulamentar para mini-redes mais pequenas, a Comissão mantém o direito de rever as tarifas se receber uma petição assinada por 60 por cento dos consumidores de uma comunidade servida pelo titular da licença. Para licenças completas, a Comissão estabelece as tarifas aplicando a **metodologia padrão de determinação de tarifas** ou uma metodologia que foi solicitada pelo titular da licença e aprovada pela Comissão.

A metodologia tarifária estandardizada segue uma abordagem de custo acrescido que permite aos operadores recuperar os seus custos de serviço e um retorno do investimento proporcional ao risco de investimento.

A metodologia normalizada de determinação de tarifas implica um cálculo ascendente dos custos do serviço, acrescentando um rendimento razoável sobre a base de ativos reguladores financiados a título privado que reflita adequadamente os riscos enfrentados pelo operador da mini-rede. Em particular, a metodologia tem em conta os custos relacionados com o financiamento privado dos serviços regulados (actividades de produção, distribuição e venda de eletricidade), os custos de operação, as amortizações, as reservas específicas para reparação, substituição e extensão, e os impostos. Em resumo, é utilizada a seguinte fórmula para o cálculo das receitas obrigatórias:

- $RR = O\&M + D + T + (r * RAB) + (PRPM * E)$
- em que RR são as receitas necessárias, O&M são as operações e manutenção, D são as amortizações, T são os impostos, r é a taxa de rendimento, RAB é a base de ativos reguladora, PRPM é a margem de lucro relacionada com o desempenho (SLE/kWh) que reflecte o financiamento das subvenções e E é a eletricidade vendida (kWh).
- A **ferramenta Multi-Year Tariff Order (MYTO)** está atualmente a ser utilizada na Serra Leoa. As reações dos responsáveis pelo desenvolvimento indicaram que a ferramenta não permite ajustamentos para a depreciação da moeda e a inflação durante o período de cinco anos. Além disso, a ferramenta é difícil de utilizar para efeitos de revisão dos pedidos e de verificação dos inputs e outputs do modelo.¹⁸¹
- A estrutura de financiamento (financiamento privado, financiamento por subvenções, etc.) é considerada como parte da metodologia de fixação de tarifas. **Apenas as licenças de mini-redes completas com mais de 50% de subvenções ou doações para investimento de capital são elegíveis para a margem de lucro relacionada com o desempenho**, e quanto maior for a contribuição da subvenção, maior será a margem de lucro relacionada com o desempenho por unidade de eletricidade vendida.
- **Reconhecendo a necessidade de os licenciados alcançarem a viabilidade comercial**, a Comissão pode aprovar:
 - **tarifas de retalho para categorias específicas de consumidores** que tenham em conta a **capacidade de pagamento**
 - uma **estrutura tarifária de retalho baseada na quantidade de eletricidade vendida ou na potência fornecida/consumida ou no número de ligações** (ou seja, SLE/kWh, ou SLE/kW, ou SLE/ligação), excluindo as perdas técnicas, ou
 - **as despesas de ligação** podem ser pagas em fracções ou integralmente à cabeça.

¹⁸¹ SEforALL. 2023. [Understanding mini-grid tariffs in Sierra Leone: A Quantitative and Comparative Analysis of Price Drivers](#).

Ajustes tarifários

No caso das licenças de mini-redes completas, podem ser feitos ajustamentos aos parâmetros de entrada para refletir os valores reais, quando houver um desvio em relação aos valores do cálculo da tarifa.

A1.3.2 Atos financeiros

O Governo da Serra Leoa tem feito esforços consideráveis para promover as mini-redes através de incentivos fiscais. Em particular, as principais isenções que foram implementadas incluem uma isenção de direitos de importação e uma isenção do imposto sobre bens e serviços (GIBS) para sistemas e equipamentos fotovoltaicos, uma isenção do IBS para o consumo, fornecimento ou utilização de energia renovável a partir de mini-redes solares e um desagravamento fiscal para as empresas fornecedoras de energia através de mini-redes.

Mais especificamente, a **Lei das Finanças de 2016** introduziu uma **isenção dos direitos de importação** (25%) para "equipamento de sistemas fotovoltaicos e aparelhos de baixo consumo energético ou energeticamente eficientes que satisfaçam as normas globais pertinentes da Comissão Eletrotécnica Internacional (CEI) para revenda ou utilização por terceiros", enquanto a **Lei das Finanças de 2017** introduziu a sua **isenção do imposto sobre o valor acrescentado** (15%).

Além disso, a **Lei das Finanças de 2021** introduziu uma **isenção de GST** para o consumo, fornecimento ou utilização de energia renovável a partir de mini-redes solares, bem como um **desagravamento fiscal** de cinco anos para os fornecedores de energia através de mini-redes solares na Serra Leoa.

A introdução da **Lei das Finanças de 2023** marca uma inversão parcial deste tratamento fiscal favorável, uma vez que o GST de 15% foi reintroduzido em todos os produtos solares certificados pela IEC. A isenção de direitos de importação, no entanto, continua em vigor.

A1.3.3 Lei das parcerias público-privadas

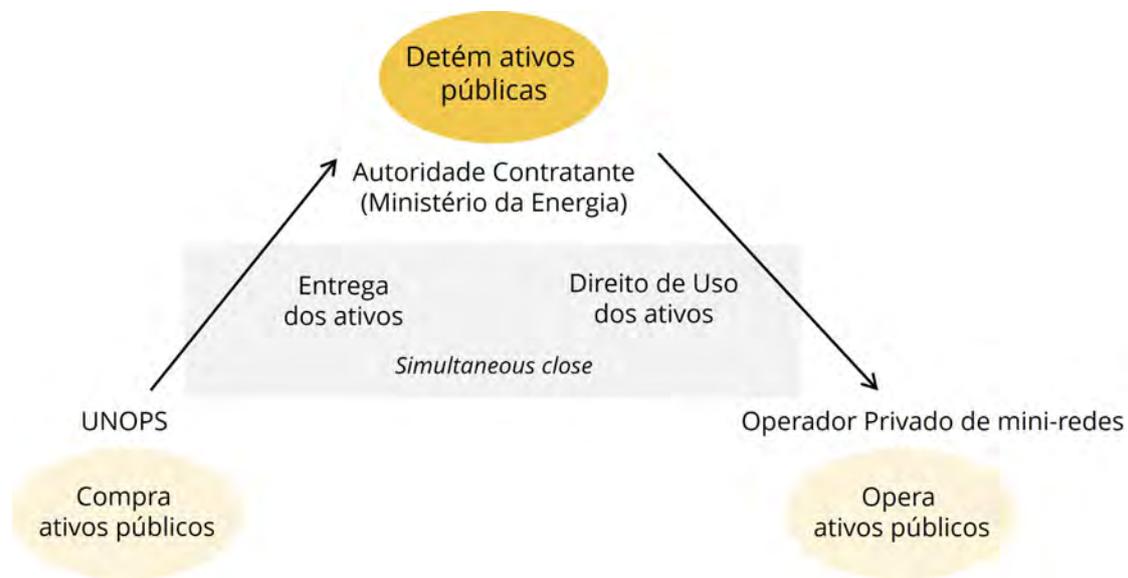
A **Lei das Parcerias Público-Privadas de 2014** foi introduzida para promover, facilitar e agilizar a implementação de acordos de parcerias público-privadas (PPP) e criou a Unidade de Parcerias Público-Privadas, que presta apoio transaccional ao Ministério da Energia. É apoiada pela Autoridade Nacional de Contratação Pública, responsável pela regulação dos processos de concurso público, incluindo os concursos para mini-redes.

A1.4 Economia

A1.4.1 Modelos de negócio, tarifas e acessibilidade

O **modelo de fornecimento de mini-redes com ativos fracionados** (apresentado na Figura 6.3) foi introduzido no âmbito do PT2 do RREP para atrair financiamento privado, em que os ativos de distribuição (incluindo ligações domésticas) são financiados e detidos pelo Ministério da Energia, enquanto os ativos de produção são financiados e detidos pelo setor privado.¹⁸²

Figura 6.3 Modelo de ativos fracionados do RREP (PT2)



Fonte: IRENA. 2018. [Políticas e regulamentos para mini-redes de energias renováveis](#).

Na prática, **o modelo de ativos fracionados equivale a conceder subsídios em espécie** através do UNOPS com financiamento do FCDO, sob a forma de ativos de distribuição, que são excluídos da base de ativos reguladores no modelo tarifário. Esta exclusão reduz os encargos de amortização e a rentabilidade dos investimentos, o que, por sua vez, conduz a tarifas mais baixas para o utilizador final. O impacto quantificável nas tarifas depende do valor dos ativos de distribuição e do número de ligações que beneficiam da rede de distribuição.¹⁸³

A Tabela 6.1 mostra as tarifas de mini-rede cobradas pelos três principais operadores dos sistemas instalados através do RREP, nomeadamente Winch Energy, Off-Grid Power (PowerGen) e Power Leone (Enercity). A tarifa média (USD/kWh) em 2020-2021 situou-se entre **0,74 e 0,82 USD**.¹⁸⁴ A tarifa do utilizador final cobria inicialmente não só os ativos de produção

¹⁸² GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

¹⁸³ SEforALL. 2023. [Understanding mini-grid tariffs in Sierra Leone: A Quantitative and Comparative Analysis of Price Drivers](#)

¹⁸⁴ SEforALL. 2023. [Understanding mini-grid tariffs in Sierra Leone: A Quantitative and Comparative Analysis of Price Drivers](#)

e os custos operacionais, mas também a contribuição dos operadores privados para uma conta de reserva para a substituição e manutenção dos ativos financiados pelo Estado.¹⁸⁵

Tabela 6.1 Tarifas das mini-redes para os três operadores

WINCH ENERGY	POWERGEN	ENERGICITY
WP1		
<ul style="list-style-type: none"> Tarifa fixa SLL 11,238/kWh 	<ul style="list-style-type: none"> Residencial SLL 7,960/< 3 kWh Residencial SLL 6,000/> 3 kWh 	<ul style="list-style-type: none"> Residencial SLL 6,128/kWh
WP2		
<ul style="list-style-type: none"> Tarifa fixa SLL 7,329 /kWh 	<ul style="list-style-type: none"> Residencial SLL 6,699/kWh Utilizador produtivo SLL 3,500/kWh 	<ul style="list-style-type: none"> Residencial SLL 6,715/kWh Grandes empresas SLL 7,482/kWh

Fonte: SLEWRC. n.d. [Electricity mini-grids tariffs](#).

Os três operadores adotaram tarifas baseadas nas unidades de energia consumidas (por kWh), na sequência de queixas dos clientes relativamente à falta de transparência e flexibilidade financeira sobre o seu consumo ao abrigo de esquemas alternativos, tais como tarifas vinculadas ao tempo e à energia (permitidas pelos regulamentos das mini-redes de 2019).¹⁸⁶ No entanto, a avaliação de impacto¹⁸⁷ realizada após as duas primeiras fases do RREP revelou que as pessoas consideram a estrutura tarifária pouco clara.¹⁸⁸ Assim, é necessária uma sensibilização nas comunidades para familiarizar os membros da comunidade com a estrutura tarifária e as taxas de ligação.

A acessibilidade dos preços tem sido uma questão central no RREP,¹⁸⁹ com o baixo rendimento per capita da população rural na Serra Leoa, resultando numa baixa aceitação da eletricidade, mesmo para os utilizadores produtivos, que têm dependido largamente de fontes alternativas de eletricidade, como os geradores a diesel, para cobrir as suas necessidades de eletricidade.¹⁹⁰ A tarifa média é substancialmente mais elevada em comparação com a tarifa da rede principal, que se situa em 0,21 USD/kWh para a faixa normal de clientes residenciais (consumo entre 25 kWh e 200 kWh).¹⁹¹ O Governo da Serra Leoa reconheceu a questão e tomou medidas para melhorar a acessibilidade dos preços, incluindo o financiamento da conta de reserva para a substituição e manutenção de ativos públicos durante quatro anos de funcionamento (2020-2023) através de fundos de doadores.¹⁹²

¹⁸⁵ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#)

¹⁸⁶ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#).

¹⁸⁷ Com base nos dados recolhidos durante os inquéritos de base (2019) e final (2021), utilizando uma amostra representativa de agregados familiares em comunidades onde foram instaladas mini-redes versus uma amostra representativa de agregados familiares em comunidades estatisticamente semelhantes onde não foram instaladas mini-redes. No total, foram entrevistados 6.010 agregados familiares em 14 dos 16 distritos da Serra Leoa.

¹⁸⁸ UNOPS. 2022. [Policy brief: Improving access to renewable energy in rural Sierra Leone](#)

¹⁸⁹ UNOPS. 2021. [Project dashboard](#)

¹⁹⁰ GIZ. 2020. [Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework](#)

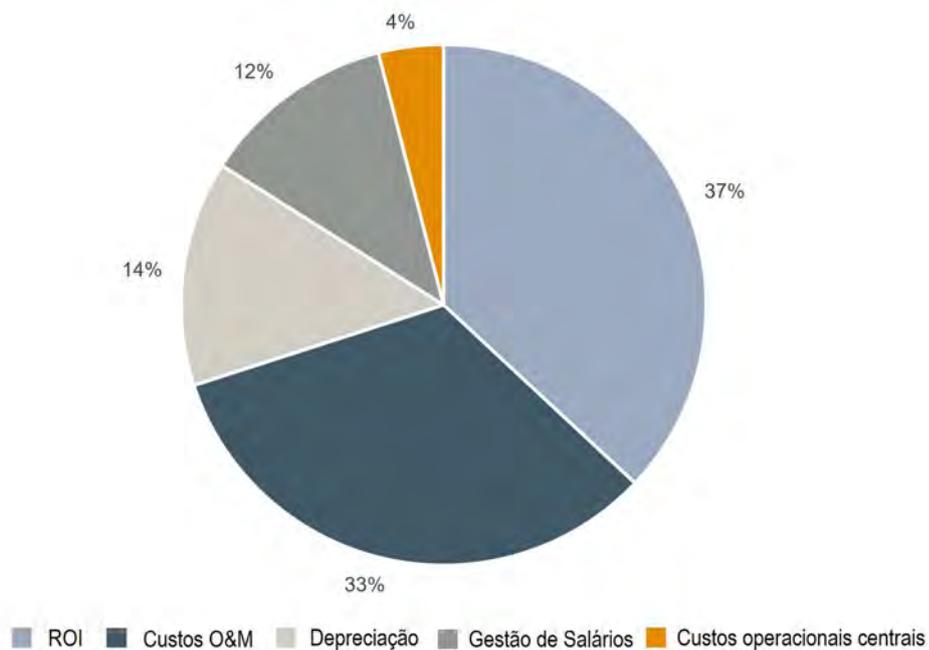
¹⁹¹ UNOPS. 2022. [Policy brief: Improving access to renewable energy in rural Sierra Leone](#)

¹⁹² GIZ. 2020. [Serra Leoa Um quadro tarifário de mini-redes que reflecte os custos](#).

Com base na avaliação de impacto acima referida, as taxas de ligação foram elevadas na primeira fase do RREP, com 65% dos inquiridos ligados. Uma taxa de ligação típica era de aproximadamente 13,64 USD, enquanto os agregados familiares pagavam, em média, cerca de 0,30 USD por dia de consumo de eletricidade.¹⁹³

Os recentes desafios macroeconómicos, incluindo a elevada inflação e a depreciação da moeda local, agravaram ainda mais a acessibilidade das tarifas. A figura 6.4 apresenta os principais componentes de custo das tarifas como uma média para os três operadores (Winch Energy, PowerGen e Enercity). Os principais fatores de custo são o retorno do investimento e os custos de O&M da central. Dadas as questões de acessibilidade, o apoio financeiro para reduzir as tarifas deve ser direcionado para estas componentes de custo. A desvalorização da moeda local deve ser tida em conta na seleção de um instrumento de financiamento adequado, porque tarifas mais baixas em dólares americanos não se traduziriam em quaisquer ganhos para os utilizadores finais em termos reais se estes não estiverem protegidos contra perdas cambiais.

Figura 6.4 Acumulação de custos tarifários com base nos custos médios dos três operadores



Nota: ROI significa retorno do investimento.

Fonte: SEforALL. 2023. [Compreender as tarifas das mini-redes na Serra Leoa: Uma análise quantitativa e comparativa dos factores de preço.](#)

¹⁹³ UNOPS. 2022. [Policy brief: Improving access to renewable energy in rural Sierra Leone](#)

Em comparação, a sustentabilidade económica, mais do que a acessibilidade, tem sido a principal questão para a operação das mini-redes desenvolvidas no âmbito do projeto PRESS-D. A tarifa PRESS-D variou entre regiões de acordo com a acessibilidade estimada das respetivas comunidades e a presença de clientes comerciais. Em Segbwema, por exemplo, as tarifas incluem uma taxa de ligação fixa e uma taxa adicional entre SLL 2.500 e SLL 3.500/kWh (USD 0,3 a USD 0,42/kWh), dependendo da categoria do cliente. A maioria dos clientes¹⁹⁴ tem um limite máximo de utilização por dia. As receitas são cobradas através de contadores pré-pagos e pós-pagos para clientes residenciais e industriais/comerciais, respetivamente. Os contadores pré-pagos são configurados como sistemas PAYG de 5 kWh, 28 kWh ou 56 kWh, sendo os cartões de 5 kWh os mais populares. No entanto, diz-se que as tarifas são demasiado baixas para serem autossustentáveis e atraírem o interesse do setor privado, o que fez com que as mini-redes PRESS-D estivessem altamente dependentes dos fundos dos doadores para a sua manutenção.¹⁹⁵

A1.4.2 UPE

Para melhorar a economia das mini-redes e impulsionar a procura de eletricidade nas comunidades rurais de mini-redes, o RREP centrou-se na UPE sob o modelo fornecedor-comprador. O UNOPS encomendou um estudo de viabilidade para identificar pontos críticos de utilização produtiva na Serra Leoa (sistemas de 30 kW e superiores), tais como a transformação de alimentos, aplicações de armazenamento a frio e pescas, que poderiam ser cargas de ancoragem para as mini-redes RREP e apoiar a sustentabilidade a longo prazo das operações.¹⁹⁶ A ênfase foi colocada no modelo fornecedor-comprador, em que o fornecedor de serviços energéticos preenche o défice de procura estabelecendo e operando uma atividade comercial ou industrial, servindo como fornecedor primário para o abastecimento de eletricidade da mini-rede.¹⁹⁷ De acordo com este modelo (explicado na secção 2.3), os operadores adquirem matérias-primas da comunidade local, processam-nas para produzir bens finais utilizando a eletricidade das suas mini-redes, e vendem-nas a um determinado mercado, tipicamente em áreas urbanas onde a procura é elevada.¹⁹⁸ Este modelo de negócio UPE cria um cenário vantajoso tanto para o operador como para a comunidade, uma vez que integra o fornecimento de energia da mini-rede na economia local, assegurando o consumo de energia da mini-rede e melhorando as receitas dos operadores e da comunidade.

O estudo de viabilidade identificou as seguintes aplicações de UPE na Serra Leoa: moagem e processamento de arroz, produção de óleo de palma, processamento de mandioca, refrigeração para armazenamento de peixe frio e bombagem solar de água e irrigação. No âmbito do RREP, o PT1 não forneceu quaisquer subsídios para a UPE, enquanto o PT2 deu maior ênfase à UPE para o desenvolvimento de sítios. Isto refletiu-se em consultas comunitárias com potenciais clientes de utilização produtiva; no âmbito do WP1, as principais preocupações eram

¹⁹⁴ Exceto para o trifásico industrial.

¹⁹⁵ AfDB. 2019. *Mini-Grid Market Opportunity Assessment: Sierra Leone*.

¹⁹⁶ SEforALL. 2021. *Increasing energy access in Sierra Leone: Mini-grid survey analysis on tariffs, subsidies and productive use*.

¹⁹⁷ EPP Africa and Nordic Development Fund. 2019. *Powering Productivity: Lessons in Green Growth from the EEP Africa Portfolio*.

¹⁹⁸ GIZ. 2020. *Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework*

as tarifas elevadas, bem como a grande distância entre o ponto de ligação da mini-rede e o local das suas atividades agrícolas. No PT2, a barreira chave parecia ser a necessidade de formação e financiamento de equipamento.¹⁹⁹ Para promover aplicações de UPE, o governo da Serra Leoa ofereceu subsídios a potenciais utilizadores produtivos de eletricidade para adquirirem equipamento que será utilizado com a eletricidade da mini-rede.²⁰⁰ Um modelo de aluguer para propriedade poderia também ser utilizado para facilitar a aquisição de equipamento de UDE quando o custo inicial desse equipamento é proibitivo.

Os promotores de mini-redes na Serra Leoa também têm estado a promover a UPE. Por exemplo, a Energicity tem desempenhado um papel fundamental no Projeto Solar Harnessed Entrepreneurs (SHE), que é apoiado pela Fundação Rockefeller e pelo GEAPP. Em particular, a Energicity tem facilitado o aluguer de congeladores a mulheres empresárias em sete comunidades da Serra Leoa, criando vias para que estas possam obter mais rendimentos.²⁰¹

¹⁹⁹ SEforALL. 2021. Increasing energy access in Sierra Leone: Mini-grid survey analysis on tariffs, subsidies and productive use.

²⁰⁰ GIZ. 2020. Sierra Leone A Cost-Reflective Mini-Grid Tariff Framework

²⁰¹ Energicidade. 2022. [A equipa UPE da Power Leone instala congeladores em Moyamba Junction.](#)

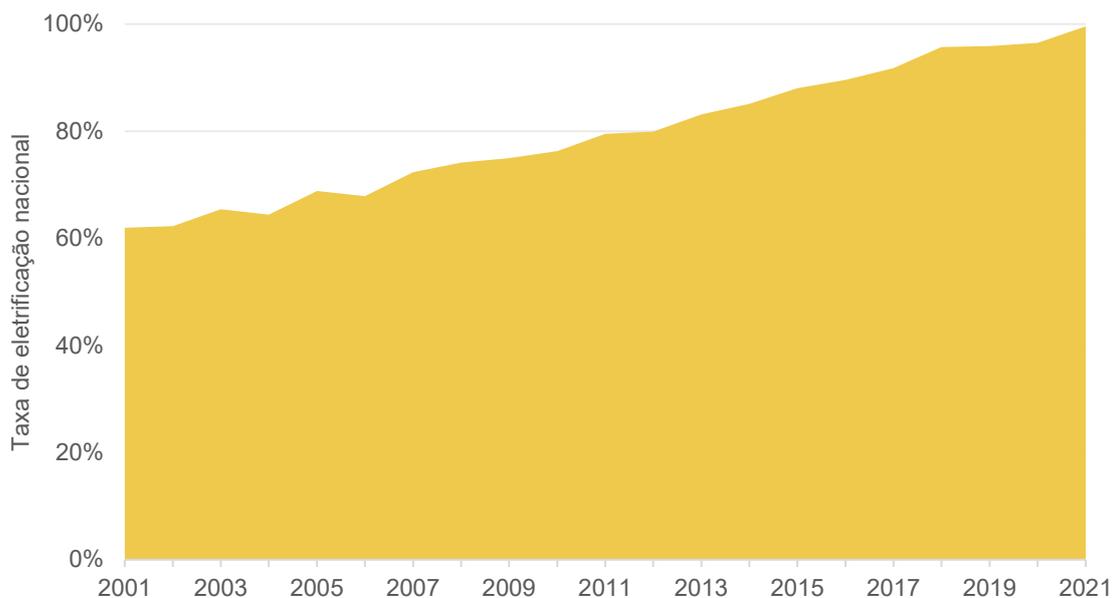
A2 Índia

A2.1 Contexto nacional

A2.1.1 Taxas de eletrificação

O progresso da eletrificação da Índia tem sido notável. As estatísticas oficiais indicam que apenas 0,01% das pessoas que residem no país ainda não foram eletrificadas. Nas últimas duas décadas, a percentagem da população com acesso à eletricidade aumentou significativamente, passando de pouco menos de 65% para um acesso quase universal.²⁰² Esta conquista deve-se, em grande parte, aos ambiciosos programas de eletrificação rural do governo, que conseguiram ligar à rede até as aldeias mais remotas.

Figura 6.5 Taxa de eletrificação nacional, Índia , 2001-2021



Fonte: The World Bank. 2024. [Access to electricity \(percent of population\) – India](#).

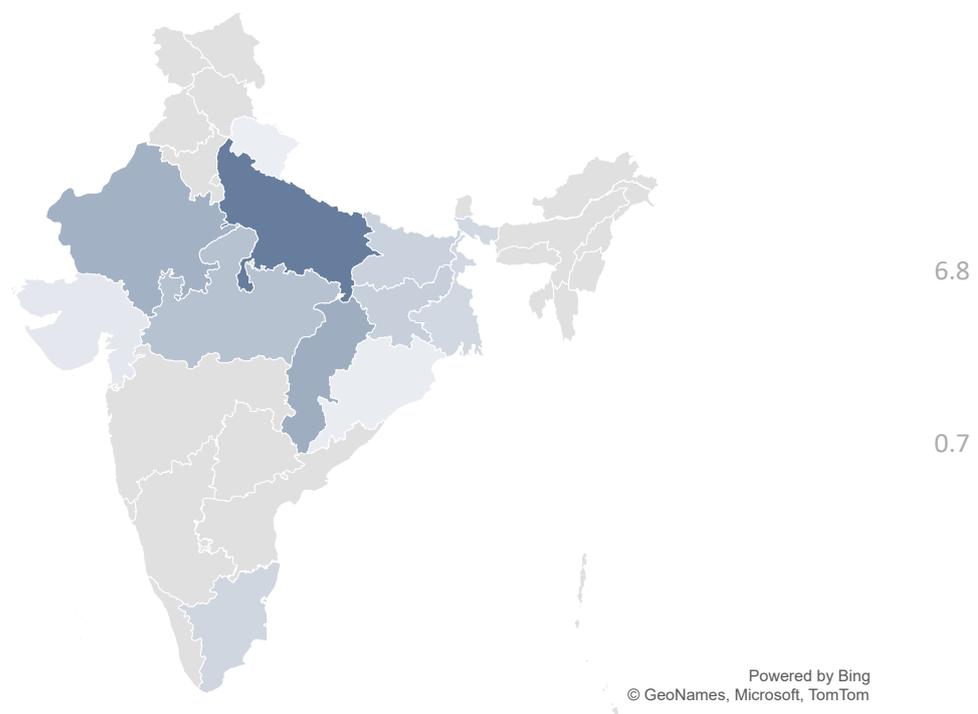
O Deen Dayal Upadhyaya Gram Jyoti Yojana (DDUGJY), iniciado pelo governo da Índia em dezembro de 2014, tem sido um regime fundamental para a eletrificação rural em todo o país. Em fevereiro de 2023, foi comunicado que um total de 18 374 aldeias foram eletrificadas ao abrigo deste regime. Para as aldeias onde a conectividade à rede foi considerada inviável ou não rentável, a eletrificação foi prosseguida principalmente através de mini-redes.²⁰³ No final da iniciativa DDUGJY, foi lançado o regime Pradhan Mantri Sahaj Bijli Har Ghar Yojana

²⁰² The World Bank. 2024. [Access to electricity \(percent of population\) – India](#).

²⁰³ Ministry of Power. 2023. [Status of DDUGJY](#).

(Saubhagya) (em setembro de 2017) com o objetivo de fornecer ligações elétricas a todos os agregados familiares ainda não eletrificados nas zonas rurais e a todos os agregados familiares pobres nas zonas urbanas. Em março de 2019, o painel de Saubhagya indicava que todos os agregados familiares "dispostos" na Índia tinham sido eletrificados.²⁰⁴ No entanto, estimativas alternativas para o acesso à eletricidade mostram uma discrepância notável em relação aos números oficiais. **A maioria das casas não conectadas está localizada nos estados do centro-norte do país.** Como se pode ver na Figura 6.6 alguns estados apresentam níveis de eletrificação relativamente baixos - em contraste com as afirmações oficiais de eletrificação universal.

Figura 6.6 Percentagem de agregados familiares sem acesso à eletricidade, Índia por estado



Fonte: CEEW. 2020. [State of Electricity Access in India](#).

A2.1.2 Confiabilidade do abastecimento

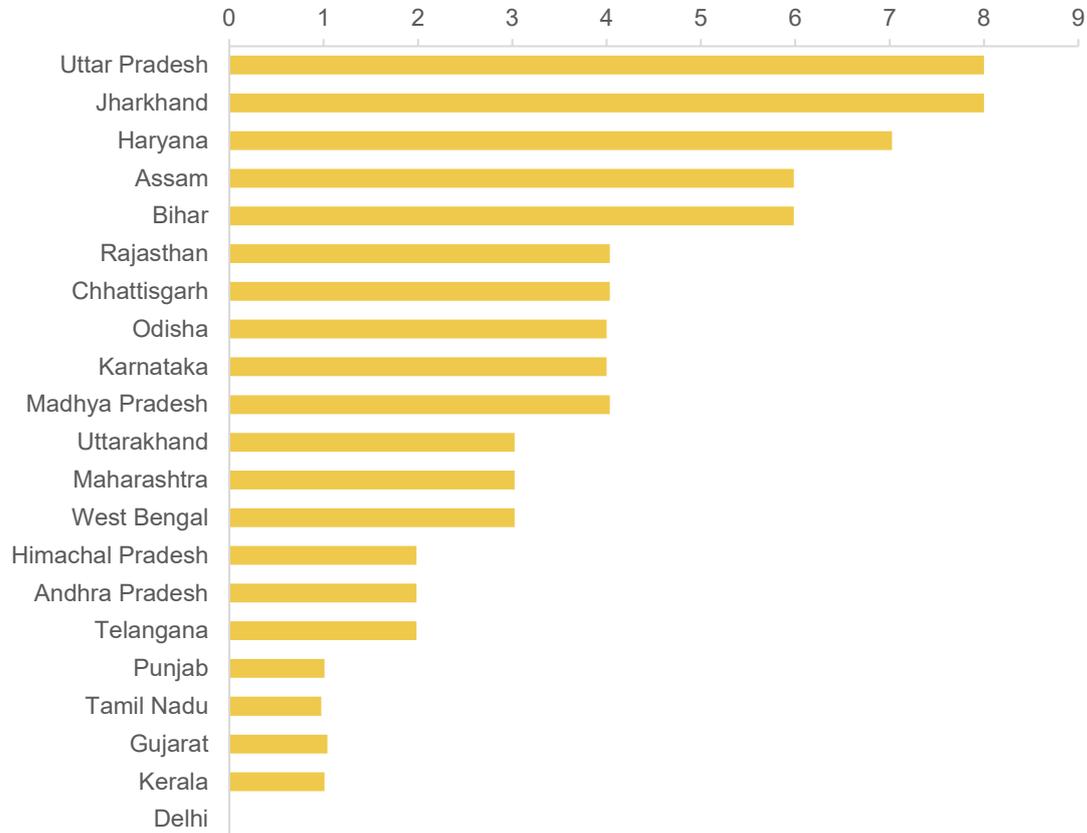
Apesar das elevadas taxas de eletrificação, muitos agregados familiares, em especial nas zonas rurais, continuam sujeitas um fornecimento de energia pouco confiável e intermitente. As mini-redes foram identificadas como uma solução fundamental para resolver o problema da fiabilidade energética. A fiabilidade do abastecimento de eletricidade na Índia registou melhorias significativas, mas continua a variar consoante as regiões. Em estados como Bihar, por exemplo, apesar de se ter conseguido uma eletrificação doméstica quase universal, a questão do fornecimento intermitente de energia continua a ser um desafio persistente.²⁰⁵

²⁰⁴ CEEW. 2020. [State of Electricity Access in India](#).

²⁰⁵ RMI. 2024. [Ensuring Grid Reliability in India](#).

Historicamente, os consumidores têm sofrido cortes de energia frequentes e prolongados, sendo comuns os cortes de carga diários ou semanais.

Figura 6.7 Corte diário de eletricidade, em horas, zonas rurais



Fonte: CEEW (2020) [State of Electricity Access in India](#).

Esta situação tem vindo a melhorar ao longo dos anos, tendo o défice do pico da procura descido para 0,8% nos últimos anos, face a 16,6% em 2007, em grande parte devido ao investimento do setor privado em infraestruturas de produção de energia. Apesar de a Índia ter sido declarada uma nação com excesso de energia, a confiabilidade da rede elétrica, em especial nas zonas periurbanas e rurais, continua a ser um desafio devido à existência de infraestruturas de distribuição inadequadas. O Ministério da Energia introduziu o Quadro de Planeamento da Adequação dos Recursos em junho de 2023, centrado em assegurar que o sistema de energia minimiza o risco de apagões ou cortes de energia. O quadro estabelece critérios para vários fatores, incluindo a frequência e a magnitude das interrupções, através de métricas como a probabilidade de perda de carga (LOLP) e a energia normalizada não servida (NENS), com o objetivo de melhorar a confiabilidade. Especifica que devem ser associados valores de penalização aos requisitos de reserva operacional.²⁰⁶

²⁰⁶ Ministry of Power. 2021. [Guidelines for Resource Adequacy Planning Framework for India](#)

A2.1.3 Principais operadores e projetos de mini-redes

Existem vários operadores de mini-redes atualmente no mercado indiano. Estes variam entre grandes promotores à escala de megawatts e empresas mais pequenas e personalizadas. Alguns dos grandes operadores (que se estima controlarem um megawatt ou mais em capacidade produtiva) incluem:

- **OMC Power**, que tem por objetivo fornecer e explorar 5 000 mini-redes baseadas em energias renováveis, com uma capacidade de produção de 250 MW, para fornecer eletricidade a 50 milhões de pessoas nas zonas rurais do Uttar Pradesh.²⁰⁷
- **Hamara Grid**, uma empresa relativamente jovem no setor das mini-redes, foi criada em julho de 2020 e já possui e opera 40 mini-redes de energia solar, com uma capacidade de 1 MW.²⁰⁸
- **Husk Power**, que opera mais de 150 mini-redes na Índia, principalmente nos estados de Uttar Pradesh e Bihar, e tem mais de 10 000 clientes, a maioria dos quais são entidades comerciais. A Husk tem como objetivo a exploração de mais de 1.000 mini-redes nos próximos anos.²⁰⁹
- **Mlinda**, uma organização sediada em Paris e com sede nacional em Calcutá, que se centra principalmente na instalação de mini-redes de base solar. Em março de 2020, a Mlinda tinha instalado 39 mini-redes em várias aldeias, com o objetivo de alargar o seu impacto, atingindo 49 redes em 50 aldeias até março de 2021.²¹⁰

Nalguns casos, os maiores operadores de mini-redes na Índia são dirigidos por organizações financiadas por doadores. A Fundação Rockefeller, por exemplo, criou a Smart Power India, uma subsidiária que tem sido responsável pela eletrificação de pouco menos de 500 aldeias no país, facilitando a maior carteira de mini-redes do mundo.²¹¹ Atualmente, serve cerca de 50.000 clientes, 26.000 dos quais são principalmente entidades comerciais.²¹² O trabalho da organização tem-se centrado principalmente nos esforços de eletrificação em estados como Bihar, Uttar Pradesh e Jharkhand, áreas com elevadas taxas de pobreza energética. A Fundação Rockefeller também trabalhou em conjunto com a Tata Power, ajudando a formar a Tata Power Renewable Microgrid Ltd (TPRMG), cujo objetivo é tornar-se o maior promotor e operador de mini-redes do mundo, com uma meta de 10 000 micro-redes até 2026. Se for atingido, estas mini-redes fornecerão energia a potencialmente milhões de pessoas em toda a Índia e poderão ter um impacto direto na vida de 25 milhões de pessoas durante a próxima década.²¹³ O TPRMG registou progressos significativos, com 200 micro-redes

²⁰⁷ OMC Power. 2021. [OMC raises USD 12M funding and Impact Contribution to Renewable Energy based Access to Promote Reliable Energy in Rural India.](#)

²⁰⁸ Hamara Grid. 2024. [About Us](#)

²⁰⁹ Gupta, U. 2023. [Minigrid operator Husk Power achieves profitability with India leading the way](#)

²¹⁰ Mlinda. 2024. [Renewable Energy for Rural Communities.](#)

²¹¹ The India Times. 2021. [Smart Power India facilitates world's largest portfolio of mini grids.](#)

²¹² The Rockefeller Foundation. 2024. [Smart Power India.](#)

²¹³ Tata Power. 2019. [Tata Power and The Rockefeller Foundation Announce Breakthrough Enterprise to Empower Million of Indians with Renewable Microgrid Electricity.](#)

operacionais até 31 de março de 2023, três anos após a sua criação. O TPRMG planeia instalar micro-redes noutros estados, como Assam, Jharkhand, Madhya Pradesh e Odisha.²¹⁴

Para além disso, várias entidades governamentais estatais financiaram a criação e operação de mini-redes. No entanto, dos vários milhares de mini-redes criadas pelo governo, estima-se que apenas 5 a 10 por cento ainda estejam a funcionar.²¹⁵

A2.2 Quadro político

O Ministério das Energias Novas e Renováveis (MENR) da Índia desempenha um papel fundamental na promoção da adoção de fontes de energia renováveis, com uma ênfase significativa no desenvolvimento e implantação de mini-redes em zonas rurais. Estas mini-redes são essenciais para fornecer eletricidade confiável e sustentável a comunidades não servidas pela rede nacional. Ao estabelecer orientações e oferecer incentivos financeiros, a MENR pretende encorajar o investimento privado em projetos de mini-redes. Este esforço faz parte da estratégia mais ampla da Índia para alcançar a eletrificação universal e reduzir a pegada de carbono do país, destacando o compromisso do governo em alavancar as energias renováveis para o desenvolvimento sustentável. A MNRE tem apoiado ativamente vários projetos e regimes destinados a acelerar a implantação de mini-redes em toda a Índia.

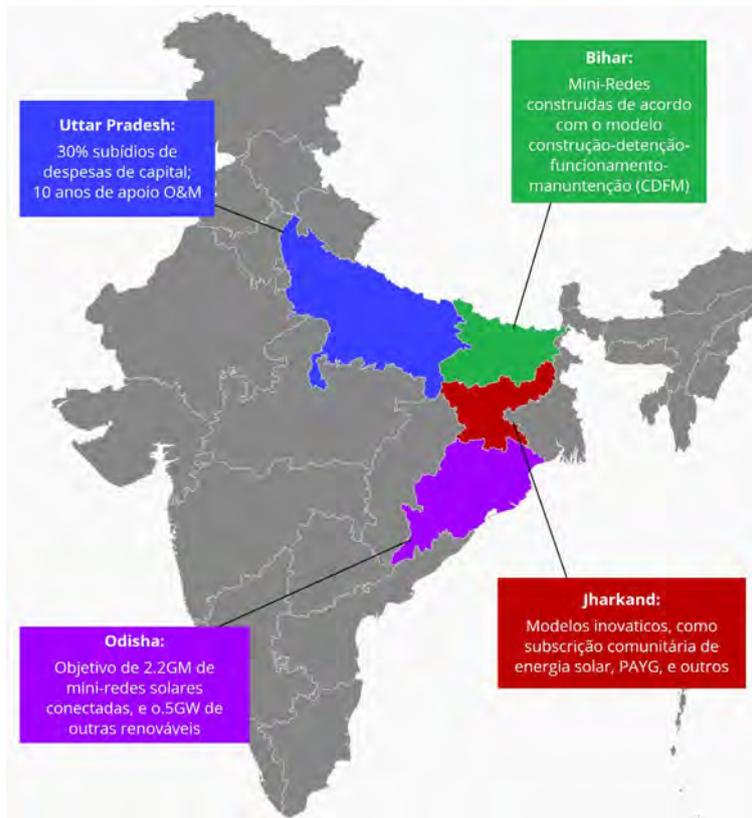
O quadro político é favorável aos investimentos em mini-redes. A Política Nacional de Eletricidade e a Política de Eletrificação Rural apoiam a opção de produção distribuída descentralizada com redes de distribuição locais quando a extensão da rede não é viável,²¹⁶ proporcionando uma maior confiança ao setor. A política de mini-redes na Índia é, no entanto, frequentemente descentralizada, sendo os estados deixados a conceber as suas próprias políticas individuais, tanto no que diz respeito a objetivos, subsídios e modelos de negócio apoiados. A Figura 6.8 abaixo destaca alguns dos principais aspetos das políticas, tal como referido pelo Centro para a Ciência e o Ambiente na Índia.²¹⁷

²¹⁴ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

²¹⁵ Washington Post. 2023. [Most of India's rural solar systems no longer work due to poor maintenance.](#)

²¹⁶ Bhattacharyya et al. 2019. [Solar PV mini-grids versus large-scale embedded PV generation: A case study of Uttar Pradesh \(India\)](#)

²¹⁷ Centre for Science and Environment. 2022. [Mini-Grids a Just and Clean Energy Transition](#)

Figura 6.8 Política de mini-redes na Índia, entre estados

A2.3 Quadro regulamentar

Em termos do quadro regulamentar nacional, a Lei da Eletricidade de 2003 permite que as mini-redes rurais sejam construídas e operadas sem obterem uma licença regulamentar. Além disso, se as mini-redes rurais não estiverem licenciadas, a entidade reguladora estatal não está autorizada a regular as suas tarifas. Por conseguinte, as tarifas de retalho cobradas pelas mini-redes estão efetivamente desregulamentadas na Índia. Além disso, a Política de Eletrificação Rural permitiu que as mini-redes privadas e operadas por privados cobrassem tarifas numa base mutuamente acordada entre o fornecedor e os consumidores.²¹⁸ A nova política tarifária (2016) também permitiu a compra de energia pela rede à medida que a rede chega à aldeia.²¹⁹

Para além do enquadramento nacional, vários governos estatais também estabeleceram regulamentos para orientar o desenvolvimento de mini-redes nos seus estados. Por exemplo, em 2016, o governo de Uttar Pradesh publicou a sua política de mini-redes e a Comissão Reguladora da Eletricidade de Uttar Pradesh emitiu os Regulamentos de Produção e Fornecimento de Energias Renováveis em Mini-Redes. A política e os regulamentos incluem

²¹⁸ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. *Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India*.

²¹⁹ Bhattacharyya et al. 2019. *Solar PV mini-grids versus large-scale embedded PV generation: A case study of Uttar Pradesh (India)*.

disposições para um subsídio governamental para apoiar o desenvolvimento de mini-redes, fornecem opções de saída para mitigar o risco de chegada à rede e especificam requisitos tarifários e de qualidade de fornecimento.²²⁰ Esta iniciativa política levou à instalação de aproximadamente 206 sistemas de mini-redes no ano seguinte à sua implementação. Desde então, o Estado tem demonstrado um progresso significativo na eletrificação rural, ostentando cerca de 1.850 mini-redes solares e de biomassa operacionais. Estas instalações contribuem coletivamente com uma capacidade de cerca de 3 MW, realçando o empenho do Estado em expandir o acesso à energia.²²¹

A2.4 Economia

A2.4.1 Modelos de negócio, tarifas e acessibilidade

No setor privado, os modelos de construção-detenção-funcionamento-manutenção (CDFM), ou variações dos mesmos, são o principal veículo para o estabelecimento de mini-redes do setor privado na Índia. Formas alternativas deste modelo incluem a construção-detenção-manutenção (CDM) e a construção-manutenção (CM). Em termos conceptuais, estes modelos permitem que os promotores adotem uma abordagem mais controlada em relação ao sistema e à sua eventual proposta comercial. Em contrapartida, os modelos de construção-funcionamento-transferência tendem a ser os menos comuns, pela mesma razão.²²²

As mini-redes que são apoiadas ou operadas pelo setor público utilizam modelos baseados na comunidade, que geralmente incluem Comitês de Energia de Aldeia ou Cooperativas de Eletricidade Rural. Por exemplo, a Agência de Desenvolvimento de Energias Renováveis de Bengala Ocidental (WBREDA)²²³ impulsionou uma série de projetos de mini-redes na região. Os promotores privados são responsáveis pela instalação e supervisão destes sistemas, enquanto a responsabilidade pela fixação de tarifas recai sobre a comunidade, em consulta com a WBREDA. Estas tarifas são cobradas pela comunidade e depois transferidas para a WBREDA. Os custos iniciais de investimento destes sistemas são suportados conjuntamente pela WBREDA e pelo MNRE, cada um com uma parte igual das despesas. Os custos operacionais e de manutenção, por outro lado, são financiados pelas tarifas cobradas aos consumidores.²²⁴

Outros modelos baseados na comunidade envolvem um papel mais proactivo da agência governamental. Por exemplo, a Agência de Desenvolvimento de Energias Renováveis de Chhattisgarh (CREDA) supervisiona a operação e a gestão das mini-redes, mas também

²²⁰ Bhattacharyya et al. 2019. [Solar PV mini-grids versus large-scale embedded PV generation: A case study of Uttar Pradesh \(India\)](#)

²²¹ Zebra, E. I. C., et. al. 2021. [A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries](#)

²²² Power for All. 2018. [Mini-Grids in India: Mini-Grid Finance and Business Models](#).

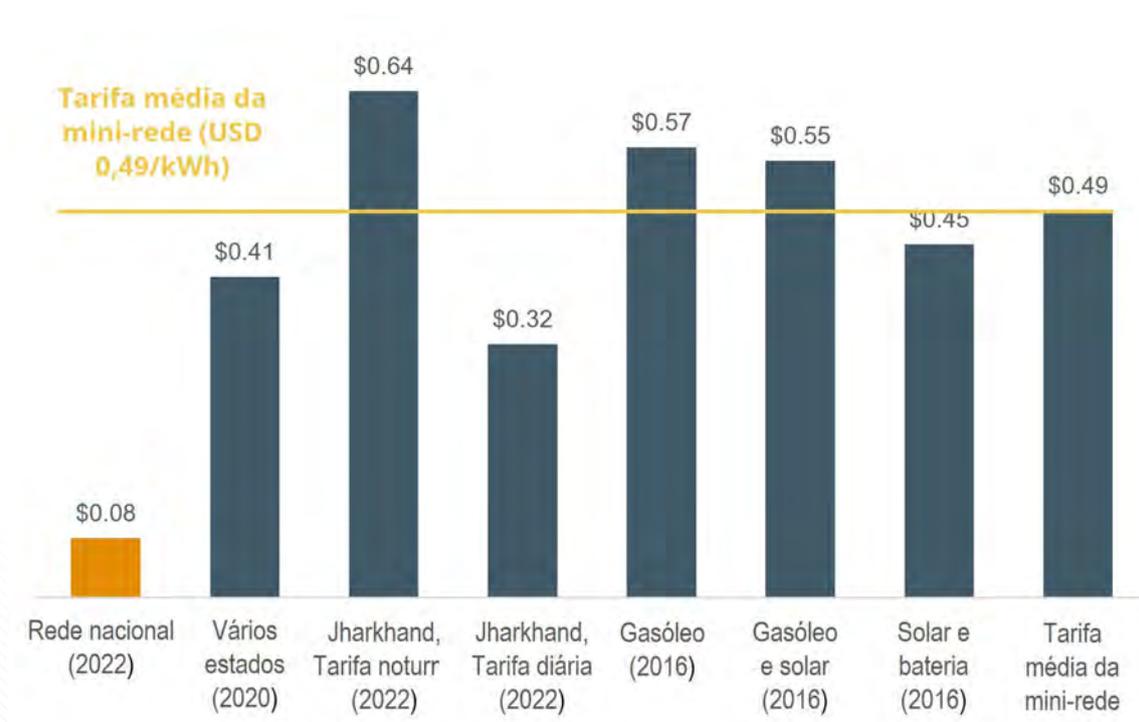
²²³ USAID. 2020. [Island Mini-Grids in West Bengal](#)

²²⁴ Zebra, E. I. C., et. al. 2021. [A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries](#)

seleciona um operador local da aldeia para as tarefas de manutenção contínua. Estas incluem a limpeza mensal, o funcionamento dos sistemas em alturas designadas e a comunicação de quaisquer problemas técnicos às autoridades. O operador da aldeia é compensado com um salário mensal fixo pelos seus serviços. A supervisão e a manutenção das instalações de mini-redes são ainda apoiadas por um funcionário responsável pela substituição de equipamento danificado. O modelo financeiro subjacente às operações da CREDA permite a cobertura dos custos de capital e de manutenção operacional pelo Estado e pelo MNRE, resultando em taxas mínimas para os utilizadores finais.

Os preços das tarifas das mini-redes são significativamente mais elevados do que os da rede elétrica principal, mas oferecem frequentemente uma maior confiabilidade, para além de servirem áreas de difícil acesso. Tal como já foi referido no estudo de caso, tanto a rede nacional de eletricidade como as redes de distribuição locais são frequentemente pouco confiáveis e sofrem perturbações frequentes. As tarifas das mini-redes para os consumidores são o resultado da combinação do ambiente político, dos subsídios e dos custos regulamentares, juntamente com os custos fundamentais de construção e funcionamento de uma mini-rede. Em última análise, estes, combinados com as economias de escala comparativas a que uma rede nacional tem acesso, criam uma enorme disparidade entre as tarifas das mini-redes e o preço cobrado pela rede (Figura 6.9).

Figura 6.9 Análise das tarifas das mini-redes na Índia, a partir de várias fontes



Fontes: National grid, and "Various states": Sharma, K. R. et. al. 2020. *Mini grids and enterprise development: A study of aspirational change and business outcomes among rural enterprise owners in India*. Jharkhand day and night tariffs: McNamara, M. et. al. 2022. *Can Time-of-Use Tariffs Increase the Financial Viability of Mini-Grids?*. Diesel, Diesel and Solar, and Solar and Battery: Comello, S. D. et. al. 2015. *Enabling Mini-grid Development in Rural India*.

Foram feitos esforços para resolver a questão da acessibilidade das tarifas através de subsídios. Por exemplo, o governo do Uttar Pradesh, através da introdução da política estatal

de mini-redes em 2016 (ver também a secção A2.2 acima), visou incentivar o desenvolvimento de um setor de mini-redes financeiramente viável, oferecendo um subsídio estatal de 30 por cento aos promotores de mini-redes, para além do subsídio do governo central de 30 por cento. Por sua vez, a política impõe limites às tarifas domésticas, que só são aplicáveis a projetos que utilizem este financiamento do governo estatal. Para todos os outros projetos, as tarifas podem ser fixadas a uma taxa mutuamente acordada entre os promotores e os consumidores. A política não tem tido êxito, uma vez que os promotores consideram que o subsídio é insuficiente para viabilizar a tarifa obrigatória.²²⁵

A2.4.2 UPE

Existe uma crescente quantidade de provas que apontam para a relação positiva entre as iniciativas orientadas para a UPE e a viabilidade das mini-redes - também presente no contexto indiano. As empresas, em particular, podem beneficiar das ligações elétricas, abrindo caminho a um aumento da produtividade e do consumo, e a melhores resultados comerciais. Estudos indicam que, em algumas partes da Índia, os sistemas de irrigação solar, combinados com bombas elétricas, aumentaram o rendimento das colheitas em quase 70%.²²⁶ A investigação mostra também que o tempo ganho com a automatização das tarefas agrícolas, que são frequentemente executadas por mulheres e raparigas, pode ter resultados positivos num espetro mais vasto de indicadores socioeconómicos.²²⁷

Os promotores privados de mini-redes na Índia estão a promover ativamente a UPE através de programas dedicados nas comunidades que servem. Por exemplo, a Husk financia a compra de maquinaria energeticamente eficiente para utilizações produtivas, como a refrigeração, a produção de gelados e a moagem de arroz e milho. Além disso, a TPRMG lançou recentemente um programa para encorajar os agricultores a mudar de bombas de irrigação a gasóleo para bombas elétricas, o que pode levar a poupanças de até 30-35% em comparação com os seus custos de irrigação catuais. A TPRMG também oferece tubagens flexíveis móveis, que permitem aos agricultores revender a água bombeada a agricultores vizinhos e obter rendimentos adicionais.²²⁸

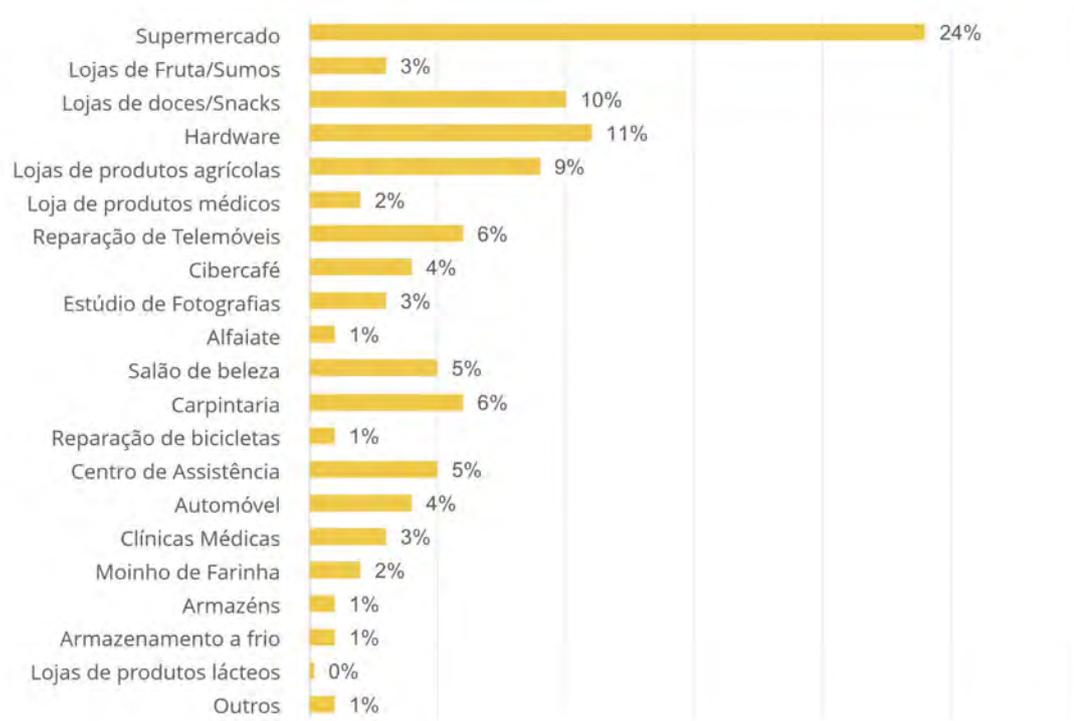
²²⁵ Centre for Science and Environment. 2018. [Mini-grids in Uttar Pradesh: Policy Lessons](#)

²²⁶ ESMAP. 2023. [Accelerating the Productive use of electricity.](#)

²²⁷ Power for All. 2020. [Mini-grids productive use of energy \(PUE\) in agriculture.](#)

²²⁸ Tenenbaum, Bernard, Chris Greacen and Ashish Shrestha. 2024. [Mini Grid Solutions for Underserved Customers: New Insights from Nigeria and India.](#)

Figura 6.10 Distribuição das empresas rurais na Índia



Fonte: Rockefeller Foundation. 2019. [Rural Electrification in India, Customer Behaviour and Demand](#).

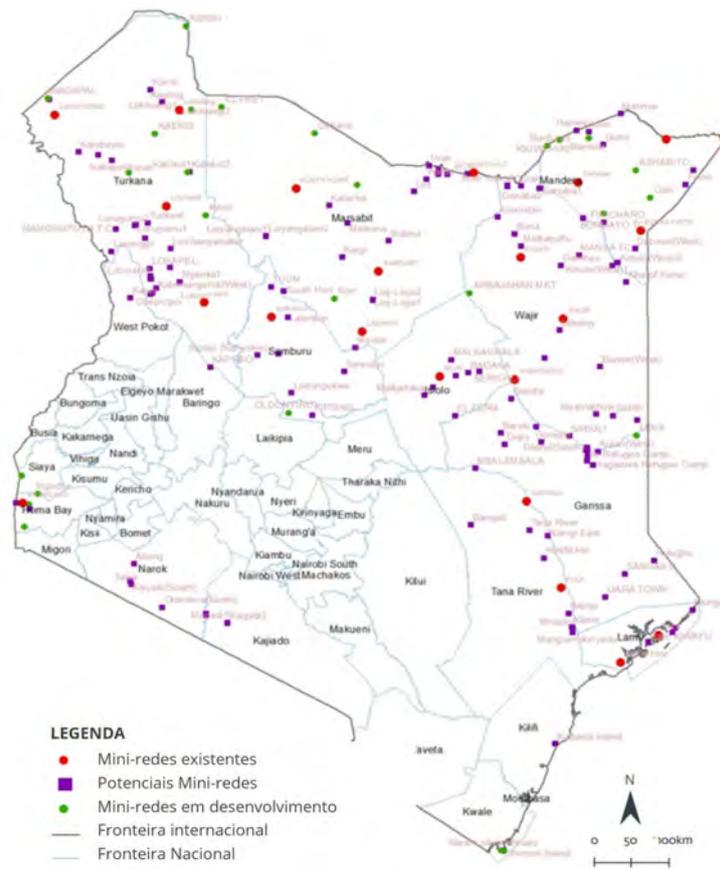
A3 Quênia

A3.1 Contexto nacional

A3.1.1 Eletrificação

A jornada do Quênia rumo à eletrificação registou um progresso notável, passando de um acesso de apenas 25% em 2010 para mais de 70% em 2019, dividido entre soluções de rede (51%) e fora da rede. Este salto foi facilitado pelos esforços concertados do governo do Quênia, dos parceiros de desenvolvimento e do setor privado através de uma série de iniciativas de eletrificação rural. Olhando para o futuro, o Quênia planeia desenvolver mais de 400 mini-redes para alcançar o acesso universal,²²⁹ para além das existentes, como se mostra na Figura 6.11.

Figura 6.11 Mini-redes existentes e potenciais



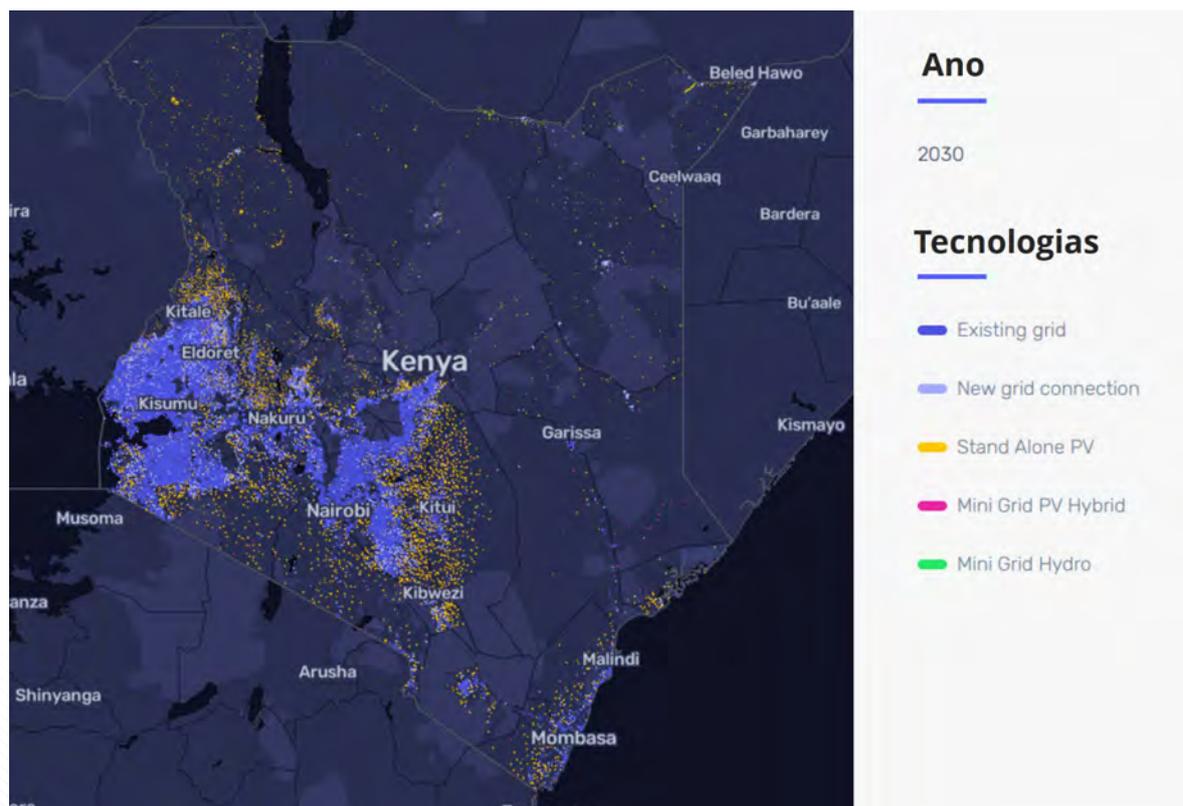
Fonte: World Bank. 2018. *Kenya National Electrification Strategy*.

²²⁹ ESMAP. 2023. *Expanding Mini Grids for Economic Growth*.

Entre as iniciativas de eletrificação mais importantes, encontramos o projeto Last Mile Connectivity, financiado pelo Banco Africano de Desenvolvimento. A sua terceira fase foi aprovada em 2023 e baseia-se na implementação bem-sucedida das duas primeiras fases, que forneceram eletricidade de rede a mais de 1,05 milhões e quase 1,6 milhões de pessoas, respetivamente.²³⁰ O programa é liderado pelo Ministério da Energia e do Petróleo e implementado pela Kenya Power e pela Rural Electrification and Renewable Energy Corporation (RREC).

A figura 6.12 apresenta a estratégia para a eletrificação total do país até 2030, tal como apresentada na Plataforma Global de Eletrificação. Para atingir o acesso universal até 2030 numa base de menor custo, as mini-redes híbridas fotovoltaicas precisam de eletrificar 1,3 milhões de pessoas, com mais 13.000 pessoas ligadas através de mini-redes hídras. Em termos de mini-redes híbridas fotovoltaicas e hídras, são necessários 125 MW e 2 MW de capacidade adicional, respetivamente, até 2030 (de um total de 1.711 MW de capacidade adicional). O investimento correspondente necessário até 2030 é de 281 milhões de USD para as redes híbridas fotovoltaicas e de 7 milhões de USD para as mini-redes hidroelétricas.

Figura 6.12 Plano de eletrificação de menor custo no Quênia



Fonte: [Global Electrification Platform](#).

²³⁰ AfDB. 2023. [Kenya: African Development Bank commits more than €101 million to boost access to electricity](#).

A3.1.2 Principais operadores e projetos de mini-redes

O Quênia é um dos poucos países do mundo onde as mini-redes servem mais de 2 milhões de pessoas.²³¹ As primeiras mini-redes no Quênia foram desenvolvidas na década de 1980 para abastecer os centros administrativos do governo que se encontravam longe da rede principal.²³² Atualmente, o Quênia tem cerca de 500 mini-redes em funcionamento ou em construção (das quais 324 são fotovoltaicas), servindo principalmente zonas rurais. Em termos de tecnologia, estas mini-redes combinam tipicamente a produção de energia solar fotovoltaica com o armazenamento de energia em baterias, bem como um gerador a gásóleo para fornecimento de energia de reserva.²³³

O setor das mini-redes no Quênia registou um crescimento significativo ao longo da última década, com uma mistura de iniciativas públicas, privadas e lideradas pela comunidade. Existe um número limitado de mini-redes de grande escala do setor público no Quênia. A maioria delas é propriedade da REREC e gerida pela Kenya Power, enquanto algumas são propriedade e geridas pela Kenya Electricity Generating Company (KenGen).²³⁴ A maioria das mini-redes públicas é alimentada a gásóleo, embora algumas tenham sido adaptadas com uma componente de energias renováveis. As mini-redes operadas pela KenGen foram ligadas à rede nacional.²³⁵

Além disso, o Quênia assistiu ao aparecimento de numerosos projetos de mini-redes do setor privado, geralmente a uma escala inferior à dos sistemas públicos, com mais de 50 mini-redes privadas operacionais e 150 em desenvolvimento.²³⁶ Os atores mais proeminentes no mercado são a PowerGen e a Powerhive, o primeiro promotor de mini-redes a obter uma licença em 2016. Até à data, a empresa instalou 24 redes operacionais com uma capacidade de produção total de 0,9 MW, o que permitiu que mais de 24 800 pessoas tivessem acesso à eletricidade pela primeira vez.²³⁷

O emblemático **programa KOSAP** do Banco Mundial, tem sido o principal programa de mini-redes no país, visando 14 dos 47 condados do Quênia, que foram identificados como zonas remotas e mal servidas. A primeira componente do projeto (relativa às mini-redes) visava mobilizar investimentos num total de 120 localizações de mini-redes identificadas geograficamente, tendo cada local 100-700 potenciais utilizadores e uma procura de 20 kW a 300 kW.²³⁸ Dependendo do número de utilizadores e do nível de serviço definido para cada tipo de utilizador (famílias, empresas, instalações comunitárias), o sistema de produção das mini-redes combinará energia solar fotovoltaica, armazenamento em baterias e geradores a

²³¹ ESMAP. 2022. *Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers*.

²³² EPRA. 2021. *Minigrid Regulations Regulatory Impact Statement*.

²³³ Energies. 2023. *Modelling and Validation of Typical PV Mini-Grids in Kenya: Experience from RESILIENT Project*

²³⁴ New Climate. 2019 *The role of renewable energy mini-grids in Kenya's electricity sector*.

²³⁵ New Climate. 2019 *The role of renewable energy mini-grids in Kenya's electricity sector*.

²³⁶ ESMAP. 2023. *Expanding Mini Grids for Economic Growth*

²³⁷ REPP. n.d. *Powerhive*.

²³⁸ OECD. 2023. *The World Bank Off-Grid Solar Access Project*.

gasóleo.²³⁹ O programa foi reestruturado ao longo dos anos, visando agora 150 novas mini-redes em zonas com baixas taxas de acesso à eletricidade.²⁴⁰

O projeto proposto foi concebido em torno de três princípios fundamentais: diversificação, participação do setor privado e flexibilidade. O primeiro refere-se à natureza diversificada dos beneficiários, incluindo as famílias, as instituições públicas e os serviços municipais. O segundo princípio centra-se no incentivo à participação e ao investimento do setor privado, a fim de atingir um maior número de beneficiários, maximizar o impacto do projeto e promover a sustentabilidade a longo prazo. Por último, o terceiro princípio reconhece a dinâmica de mercado em rápida evolução do setor das mini-redes, incorporando flexibilidade nas abordagens preferidas. Assim, o projeto visa alavancar as vantagens comparativas dos setores público e privado, de modo a maximizar a probabilidade de sucesso.²⁴¹

A3.2 Quadro político

O papel crítico das mini-redes na concretização dos objetivos nacionais de eletrificação e energias renováveis é destacado pela **Estratégia Nacional de Eletrificação do Quênia de 2018**, que propõe uma combinação de 70 por cento de soluções de rede e 30 por cento fora da rede, incluindo mini-redes e sistemas solares autónomos, para alcançar o acesso universal até 2030. Em particular, a estratégia estabeleceu um objetivo de 35.000 ligações a serem alcançadas através de 121 novas mini-redes que serviriam aglomerados habitacionais demasiado distantes da rede ou demasiado pequenos para serem ligados à rede nacional.²⁴²

A Lei da Energia do Quênia de 2019 estabeleceu uma base sólida para o desenvolvimento de mini-redes, introduzindo regulamentos e orientações claros. A lei prevê o estabelecimento, licenciamento e operação de mini-redes, juntamente com tarifas e mecanismos de subsídio para garantir a acessibilidade e incentivar o investimento do setor privado.

De um modo geral, o Governo queniano reconheceu claramente o papel vital das mini-redes para atingir o seu objetivo de eletrificação universal e realizou esforços para criar o ambiente propício necessário para atrair fluxos de investimento privado para o setor. Através do REREC, o governo também implementou várias iniciativas para apoiar o desenvolvimento de mini-redes.

²³⁹ World Bank. 2017. [Project Appraisal Document: Off-Grid Solar Access Project for Underserved Counties.](#)

²⁴⁰ World Bank. 2023. [Solar Mini Grids Could Sustainably Power 380 million People in Africa by 2030 – if Action is Taken Now.](#)

²⁴¹ World Bank. 2017. [Project Appraisal Document: Off-Grid Solar Access Project for Underserved Counties.](#)

²⁴² World Bank. 2018. [Kenya National Electrification Strategy](#)

A3.3 Quadro regulamentar

O Quênia estabeleceu regulamentos atualizados sobre mini-redes em 2021,²⁴³ que incluem disposições abrangentes que cobrem todos os principais aspetos do desenvolvimento de mini-redes. Os regulamentos foram o resultado de uma extensa consulta pública, bem como do feedback da Plataforma de Desempenho das Energias Renováveis sobre a melhoria da capacidade de os projetos de regulamentos gerarem rendimentos. O objetivo dos regulamentos era o de harmonizar os requisitos de aprovação de mini-redes do governo nacional, dos governos dos condados e das entidades reguladoras relevantes; fornecer um processo claro e competitivo para a reserva de locais de mini-redes, licenciamento e interligação à rede principal; delinear os princípios e o processo de aprovação de tarifas de mini-redes; e fornecer os requisitos técnicos e de informação para o seu funcionamento seguro e eficiente.²⁴⁴ No entanto, os regulamentos ainda não foram publicados, o que cria uma incerteza significativa para o setor privado.²⁴⁵

Rapidez dos processos regulamentares

A primeira característica fundamental da nova regulamentação é a rapidez e a eficiência dos processos regulamentares, tendo em conta a necessidade de minimizar os custos dos projetos e, por sua vez, as tarifas, tal como referido na secção 2.2. Os regulamentos especificam prazos curtos para uma série de processos, incluindo:

- Aprovação da manifestação de interesse e concessão da reserva e atribuição exclusiva do local - no prazo de 15 dias a contar da apresentação das informações completas.
- Aprovação da tarifa - no prazo de 60 dias após a receção do pedido de tarifa (e outros documentos necessários).
- Aprovação do pedido de certificado - no prazo de 60 dias a contar da data do pedido.

No entanto, têm-se verificado complicações relativamente à aquisição de terrenos, porque muitos dos potenciais locais de mini-redes se situam em zonas que não foram formalmente registadas pelo Ministério do Território, Obras Públicas, Habitação e Desenvolvimento Urbano.²⁴⁶

²⁴³ EPRA. 2021. [Mini-grid regulations 2021](#).

²⁴⁴ EPRA. 2021. [Minigrid Regulations Regulatory Impact Statement](#).

²⁴⁵ Entrevista do consultor ao Banco Mundial.

²⁴⁶ Entrevista do consultor ao Banco Mundial.

Distinção entre mini-redes privadas e públicas no que respeita à fixação de tarifas

A Lei da Energia de 2019 determina que a Autoridade Reguladora da Energia e do Petróleo deve assegurar que as tarifas sejam justas e razoáveis, tendo em conta os interesses dos investidores e dos consumidores. Assim, é necessário um exercício de equilíbrio para alinhar as tarifas com a capacidade e a vontade de pagar dos consumidores e a sustentabilidade das empresas, bem como considerações políticas mais amplas.

Os regulamentos fazem uma distinção entre mini-redes públicas e privadas, sendo que as mini-redes públicas, ex.: as que estão a ser desenvolvidas utilizando fundos públicos ou em parceria com um parceiro de desenvolvimento, estão sujeitas à tarifa nacional uniforme.²⁴⁷ Este modelo requer subsídios, explorados na secção A3.4.1. Em contraste, as mini-redes privadas estão autorizadas a estabelecer tarifas de recuperação de custos de acordo com um modelo tarifário normalizado, seguindo uma abordagem por blocos de construção.²⁴⁸ O período de controlo tarifário é de três anos a partir da data de aprovação.

Maior atenção à proteção dos consumidores

Os regulamentos reforçaram as disposições de proteção dos consumidores através de uma Carta de Serviços ao Consumidor abrangente, que cobre aspetos como

- Processo de pedido de ligação do fornecimento de eletricidade ao consumidor
- Prazos para a ligação à eletricidade após a candidatura
- Parâmetros previstos de qualidade do aprovisionamento e de qualidade do serviço
- Determinação e pagamento da eletricidade fornecida
- Obrigações e direitos dos consumidores
- Atendimento ao consumidor em centros de serviços ou através de agentes de serviços ao consumidor baseados na comunidade.

Acordos de interconexão

A clareza é fundamental quando se estabelecem disposições para compensação em caso de chegada à rede, para garantir que os investimentos sejam reembolsados. Os regulamentos concedem uma flexibilidade considerável na seleção dos modelos empresariais de interligação; o promotor da mini-rede pode optar por operar como:

²⁴⁷ EPRA. 2021. *Mini-grid regulations 2021*.

²⁴⁸ EPRA. n.d. *Standard Tariff Application Model for Minigrids*

- Um produtor de eletricidade que venda ao titular da licença de distribuição
- Um distribuidor de energia que compra energia a granel ao titular da licença de distribuição e revende essa eletricidade aos consumidores ao abrigo de um acordo de fornecimento de energia
- Tanto um produtor como um distribuidor de eletricidade - o operador da mini-rede continua a ser o distribuidor de eletricidade para a zona e compra eletricidade à entidade licenciada de distribuição, para além da sua produção existente, e vende eletricidade aos consumidores
- Qualquer outro modelo de funcionamento aprovado pela autoridade

Em alternativa, o operador da mini-rede pode remover os ativos de distribuição ou vendê-los esses ativos à entidade licenciada de distribuição

Em termos de compensação, o operador de mini-rede isolado deverá negociar uma compensação antes da entrega dos ativos da mini-rede, tal como aprovado pela autoridade, com base no valor depreciado remanescente dos ativos (incluindo os custos de construção e desenvolvimento), acrescido de quaisquer receitas que o operador da mini-rede deva aos consumidores, mas ainda não tenha recebido até à data da transferência dos ativos.

Na prática, não é claro se estes acordos de interconexão foram totalmente implementados, dado que os regulamentos ainda não foram publicados, tal como mencionado anteriormente. Por exemplo, um promotor não conseguiu receber uma compensação na sequência de uma invasão da rede, o que criou incerteza entre os intervenientes do setor privado.²⁴⁹

A3.4 Economia

A3.4.1 Modelos de negócio, tarifas e acessibilidade

O Governo do Quênia implementou em grande medida um modelo de negócio liderado pelo setor público para as mini-redes, segundo o qual o setor privado é responsável pela engenharia, aquisição e construção (EAC), enquanto a detenção dos ativos, bem como a operação e manutenção, cabe ao setor público.²⁵⁰

No entanto, o governo também promoveu um ambiente propício à participação do setor privado para além das EAC, com mais de 50 mini-redes privadas em funcionamento e 150 em desenvolvimento.²⁵¹

Por último, foram também testados modelos híbridos. Por exemplo, no âmbito de um projeto-piloto financiado pelo GIZ, foi construída uma mini-rede solar-diesel em Talek, no condado de

²⁴⁹ Entrevista do consultor ao Banco Mundial.

²⁵⁰ ESMAP. 2023. [Expanding Mini Grids for Economic Growth](#)

²⁵¹ ESMAP. 2023. [Expanding Mini Grids for Economic Growth](#)

Narok, que foi entregue ao governo do condado de Narok após a sua conclusão. O governo nacional contratou então um operador privado, a PowerGen, para a manter e operar.²⁵² Este modelo de propriedade pública e operação privada abriu caminho para a abordagem PPP no âmbito do projeto KOSAP do Banco Mundial.²⁵³

O KOSAP previa uma transição das mini-redes puramente públicas ou privadas para uma **abordagem de PPP**. De acordo com esta abordagem, os ativos de produção seriam cofinanciados através de investimento privado e fundos públicos, enquanto os ativos de distribuição seriam construídos utilizando financiamento público. A construção (e o financiamento parcial) do sistema de produção e a construção da rede de distribuição seriam da responsabilidade de um prestador de serviços privado, ao abrigo de dois contratos a longo prazo com a Kenya Power:

- Um contrato de aquisição de energia de sete a dez anos para a O&M do sistema de produção e a recuperação da parte do investimento financiada pelo setor privado
- Um contrato de serviço de sete a dez anos para a O&M da rede de distribuição.

Uma vez recuperado o investimento privado nos ativos de produção, a propriedade de todos os ativos (tanto de produção como de distribuição) é transferida para o Governo do Quênia.

Os locais selecionados, captando aproximadamente 27.000 consumidores no total, foram divididos em lotes/territórios de serviço, que compreendem 20 ou mais mini-redes propostas localizadas em áreas geograficamente contíguas, com 2.000 ou mais clientes potenciais. **Para aumentar a viabilidade comercial, cada lote incluía uma mistura de sítios mais densamente povoados e menos densamente povoados.**²⁵⁴

No entanto, a abordagem PPP não foi bem recebida pelo governo e o KOSAP foi reestruturada em conformidade. Tem havido muita hesitação entre os funcionários do governo em relação à ideia de alavancar o financiamento privado para a eletrificação rural, que consideram ser um serviço público. Embora o governo esteja preocupado com as questões de equidade decorrentes das tarifas mais elevadas que as populações menos abastadas têm de pagar, resultando em comparações entre as tarifas da Kenya Power e das mini-redes, a ideia de subsídios para o setor privado ou de alavancar o financiamento privado através de fundos do Banco Mundial não tem sido popular, o que tem impedido a implementação da abordagem PPP inicialmente prevista no âmbito do KOSAP. No programa reestruturado, os ativos são totalmente financiados pelo setor público, propriedade da RREC e da Kenya Power (e, em última análise, transferidos para a Kenya Power). Assim, prevê-se que as mini-redes funcionem como redes isoladas e, em última análise, interligadas com a rede.²⁵⁵

²⁵² Chatham House. 2019. [Beyond Construction: The Challenges of Deploying Mini-Grids in Kenya](#)

²⁵³ New Climate. 2019. [The role of renewable energy mini-grids in Kenya's electricity sector.](#)

²⁵⁴ World Bank. 2017. [Project Appraisal Document: Off-Grid Solar Access Project for Underserved Counties.](#)

²⁵⁵ Entrevista do consultor ao Banco Mundial.

Em março de 2024, não tinham sido construídas mini-redes no âmbito do KOSAP. Em agosto de 2023, o REREC publicou um anúncio de concurso para a conceção e instalação de mini-redes nos condados de Turkana, Marsabit, Samburu e Isiolo, combinadas com sete anos de serviços de O&M.²⁵⁶ Como parte do concurso, as 137 mini-redes foram divididas em lotes e a seleção dos contratantes deverá ter lugar em 2024.²⁵⁷

O Ministério da Energia é a favor de uma tarifa nacional uniforme. No âmbito do KOSAP, todos os consumidores de eletricidade das mini-redes serão clientes da Kenya Power, pagando a mesma tarifa que os clientes ligados à rede nacional, seguindo assim uma abordagem de tarifa uniforme nacional.²⁵⁸ A extensão da tarifa da Kenya Power às mini-redes requer um mecanismo de subsídio, como uma taxa.²⁵⁹ A taxa do Programa de Eletrificação Rural tem sido utilizada para subsidiar parcialmente os custos de serviço mais elevados das mini-redes por outros clientes da rede nacional.²⁶⁰ Para atingir o objetivo de 35.000 agregados familiares com mini-redes, a Estratégia Nacional de Eletrificação do Quênia estimou que seria necessário um subsídio anual de ~USD 16.050.000 para as mini-redes.

A3.4.2 UPE

Como discutido na secção 2.3, a UPE é crucial para aumentar a carga dos clientes. Isto é salientado pela Vulcan Impact Investing, que possui cerca de 10 mini-redes nas zonas rurais do Quênia; a receita média por utilizador gerada pelos 10% dos seus clientes que são utilizadores produtivos (como pequenas empresas) foi cinco vezes superior à receita gerada pelos outros 90%.²⁶¹ Outro exemplo de promoção da UPE para aumentar a procura de eletricidade nas mini-redes é a PowerGen no Quênia, que fornece frigoríficos e congeladores a clientes comerciais, permitindo-lhes fornecer bebidas frias ou conservar os produtos durante mais tempo, contribuindo assim também para a geração de rendimentos mais elevados dos clientes.²⁶²

Devido ao custo inicial proibitivo do equipamento UPE, o financiamento fornecido pelos promotores é fundamental para ultrapassar esta barreira. Por exemplo, a Powerhive introduziu um programa de microfinanciamento de aves de capoeira para os seus clientes, que financiou sete criadeiras de frangos e construiu 25 casas de criação no condado de Kisii, no Quênia, proporcionando oportunidades de subsistência a mais de 130 pessoas, gerando um fluxo de rendimento de 150-250 USD por pessoa, todos os meses. Além disso, os proprietários das criadeiras recebem formação contínua. A empresa também financiou painéis elétricos de pressão para incentivar a cozinha limpa e facilitou a instalação de moinhos elétricos, motociclos e tuk-tuks, bem como incubadoras nas suas instalações, melhorando assim os meios de subsistência e aumentando a resiliência da comunidade.²⁶³

²⁵⁶ World Bank. 2023. [Kenya: Off-grid Solar Access Project for Underserved Counties](#).

²⁵⁷ Entrevista do consultor ao Banco Mundial.

²⁵⁸ World Bank. 2017. [Project Appraisal Document: Off-Grid Solar Access Project for Underserved Counties](#).

²⁵⁹ World Bank. 2018. [Kenya National Electrification Strategy](#).

²⁶⁰ New Climate. 2019. [The role of renewable energy mini-grids in Kenya's electricity sector](#).

²⁶¹ ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

²⁶² ESMAP. 2022. [Mini-Grids for Half a Billion People: Market Outlook and Handbook for Decision Makers](#).

²⁶³ REPP. n.d. [Powerhive](#).

O FBR dos doadores também pode ser crucial para aumentar a escala das aplicações UPE. Por exemplo, a CEI África lançou um mecanismo de financiamento baseado em resultados em dezembro de 2023, que concederá subsídios para a implementação de estratégias de UUE ligadas a mini-redes de energias renováveis em vários países-alvo, incluindo o Quênia. O desembolso das subvenções está condicionado a dois aspetos: em primeiro lugar, a obtenção de determinados resultados pré-acordados, tais como a redução das despesas das famílias/PME, o aumento dos rendimentos das comunidades locais e o apoio às mulheres empresárias; e, em segundo lugar, a entrega/instalação de equipamento verificado.²⁶⁴

²⁶⁴ CEI África. 2023. [CEI Africa Launches the Smart Outcomes Component Focused on Promoting Productive Use of Energy](#)

A4 Recolha de dados

O relatório segue -se uma abordagem *bottom-up*, baseando-se em duas bases de dados distintas:

- A **base de dados Mini-Grid Funders (MGF)**, que contém informação sobre programas de mini-redes. Abrange aspetos como a duração do programa, o tipo de instrumentos de financiamento utilizados, o total de ligações planeadas e o total de financiamento autorizado e desembolsado, incluídos nas secções 2.4 e 3.3 do relatório. A base de dados do MGF foi complementada com uma base de dados sobre transações de investimento fornecida pelo Banco Mundial.
- A **base de dados Mini-Grid Asset (MGA)**, que contém informações sobre 1.097 projetos de mini-redes em 16 países. Abrange aspetos como tecnologia, repartição de clientes e custos, incluídos nas secções 2.1, 2.3, 2.5 e 2.6 do relatório.

A recolha de dados para a **base de dados do MGF** foi liderada pelo Carbon Trust. Inicialmente esta recolha estava agendada para acontecer entre dezembro de 2023 a janeiro de 2024, contudo o calendário foi alargado até abril de 2024 para acomodar respostas adicionais. O modelo de dados foi distribuído a todos os membros do grupo do MGF e um total de 14 organismos de financiamento contribuíram com dados. O modelo de dados Excel incluía as seguintes métricas:

- | | |
|---|--|
| • Nome da organização | • Qual a fase do desenvolvimento das mini-redes é que o financiamento apoia principalmente |
| • País, região | • Qual é a fase adicional de desenvolvimento de mini-redes que o financiamento apoia |
| • Nome do programa | • É prestada assistência técnica no âmbito do programa? |
| • Beneficiário ou destinatário | • N.º de ligações previstas |
| • Aprovação e data final | • N.º de ligações efetuadas até à data |
| • Orçamento do financiador | • Subsídio médio por ligação |
| • Percentagem do orçamento utilizado até à data | • Tarifa média por ligação |
| • Financiamento efetuado na moeda local (sim/não) | |
| • Instrumentos de financiamento primário, secundário e terciário e respetivas quotas-partes | |

A recolha de dados para a base de dados da MGA foi conduzida pela Economic Consulting Associates (ECA) de novembro de 2023 a janeiro de 2024. Foi desenvolvido um modelo de dados em Excel para capturar as seguintes métricas:

- Nome do projeto
- País, cidade
- Programador
- Estatuto de propriedade
- Potência (kW) e capacidade (kWh) da bateria
- Eletricidade fornecida (kWh/ano)
- Número de clientes por tipo (ex.: empresas, agregados familiares, público)
- Percentagem do consumo por tipo de cliente
- Custos com despesas de capital e custos operacionais
- Média de interrupções/mês e duração média da interrupção
- Coordenadas
- Ano da comissão
- Tecnologia
- Capacidade instalada para cada tipo de tecnologia (ex.: solar, eólica, biomassa, gásóleo, outra) em kW

A equipa contactou 165 partes interessadas no setor das mini-redes, incluindo promotores, doadores e investidores privados, para distribuir o modelo de pedido de dados. Apesar deste contacto alargado, a taxa de resposta inicial foi muito baixa. Os consultores contactaram então todos os intervenientes que não responderam. Para aqueles que ainda não tinham respondido, foram enviados modelos personalizados com informação pré-preenchida sobre os seus ativos de mini-redes, na sua maioria provenientes de recursos publicamente disponíveis. Adicionalmente, os consultores colaboraram com a AMDA para encorajar os promotores a partilhar os seus dados. Por fim, 20 partes interessadas responderam ao pedido de inquérito.