



Sistemas Isolados Fotovoltaicos e a Eletrificação Rural na África Subsaariana

Modelos de Entrega do Setor Privado e os Desafios dos Mercados de
Base da Pirâmide

Matheus Pires Forain Rocha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão da Energia

Orientador: Prof. José Manuel Costa Dias de Figueiredo

Júri

Presidente: Prof. Duarte de Mesquita e Sousa

Orientador: Prof. José Manuel Costa Dias de Figueiredo

Vogal: Prof. António Manuel da Nave Quintino

Outubro 2018

ABSTRACT

Concerning the efforts for the universal access to electricity, more attention should be given to rural areas, where the vast majority of people without access to this basic service is located. Within this context, more support should be given to Sub-Saharan Africa, the region of the world with the largest concentration of individuals without access, and that has a huge potential for generating electricity through photovoltaic systems. Under these circumstances, stand-alone systems can be seen as a good choice, as they have capacities that fit well to the potential low level of consumption of this population, lower costs when compared to other alternatives and can be implemented in an independent way by the private sector, without the need to involve other stakeholders.

It is not simple to do business in these areas, because they comprehend Base of the Pyramid markets, what implies in a series of challenges for the entrepreneurs. They try to adopt different strategies in order to overcome these challenges and establish profitable businesses in these adverse environments. The present study try to understand the challenges found in these markets and the successful strategies, in terms of delivery models, adopted in the region by these entrepreneurs. It is realized a reflection concerning the importance of the delivery model choice in the expansion of the photovoltaic stand-alone systems success, as well as it is presented a case study about the delivery model that seems to be the most promising.

Key words: rural electrification, solar pv, stand-alone systems, delivery models, Base of the Pyramid market, Sub-Saharan Africa

RESUMO

No que diz respeito aos esforços pela universalização do acesso à energia elétrica, maior atenção deve ser dada às áreas rurais, onde se concentra a grande maioria dos indivíduos que não tem acesso a este serviço básico. Neste sentido, maior suporte deve ser dado à África Subsaariana, região do globo onde há a maior concentração de pessoas sem acesso, e que apresenta excelente potencial para a geração elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos. Desta forma, os sistemas isolados fotovoltaicos se apresentam como boa alternativa, pois têm capacidades adequadas aos baixos consumos potencias destes indivíduos, custos menos elevados que outras opções e podem ser implantados pelo setor privado de forma independente, sem a necessidade do envolvimento de muitos *stakeholders*.

A atuação nestas áreas não é simples, uma vez que se tratam de mercados de Base da Pirâmide, o que impõe uma série de desafios aos empreendedores, que buscam estratégias para superá-las e conseguirem estabelecer negócios lucrativos nestes ambientes adversos. O presente estudo busca compreender os desafios encontrados nestes mercados e as estratégias, em termos de modelos de entrega, adotadas por estes empreendedores com sucesso na região. É feita uma reflexão sobre a importância da escolha do modelo de entrega no sucesso da expansão dos sistemas isolados fotovoltaicos, bem como é apresentado um estudo de caso sobre o modelo que se mostra mais promissor.

Palavras-chave: eletrificação rural, energia solar fotovoltaica, sistemas isolados, modelos de entrega, mercado de base da pirâmide, África Subsaariana

AGRADECIMENTOS

Gostaria de prestar alguns agradecimentos a elementos que foram importantes na realização deste trabalho, e durante o percurso acadêmico que desaguou na sua realização:

Ao Professor José de Figueiredo, por toda a disponibilidade e o auxílio prestado no desenvolvimento desta dissertação.

Ao Instituto Superior Técnico e todos os professores com os quais tive contato ao longo do curso, por todo o conhecimento que adquiri ao longo do curso.

E aos meus pais, pois a realização deste curso só foi possível graças a eles.

Muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
SIGLAS E ABREVIACÕES	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Background.....	1
1.2. Escopo do trabalho.....	2
Motivação.....	2
Questões de investigação.....	2
Estrutura da dissertação.....	2
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1. Acesso à eletricidade nos países em desenvolvimento	4
2.2. Eletrificação Rural.....	9
2.3. Abordagens tecnológicas para eletrificação	10
2.4. Sistemas isolados fotovoltaicos.....	15
Sistemas pico fotovoltaicos (PPVS)	23
Sistemas solares residenciais (SHS).....	26
Cenário atual	28
2.5. Mercado de Base da Pirâmide (BoP).....	29
Consumidores BoP	31
Ambiente de negócios BoP.....	33
2.6. Modelos de entrega para sistemas isolados fotovoltaicos	33
Modelo de varejo ou em dinheiro (<i>Retail/Cash Model</i>)	34
Modelo Pay As You Go (PAYG)	34
Modelo de financiamento do consumidor (via instituições financeiras).....	35
Modelo Fee-For-Service	35
Canais de distribuição	36
3. REFLEXÃO ACERCA DOS MODELOS	37
Metodologia	37
Modelo de varejo ou em dinheiro (<i>Retail/Cash Model</i>)	37
Modelo Pay As You Go (PAYG)	39
Modelo de financiamento do consumidor (via instituições financeiras).....	42
Modelo Fee-For-Service	43
Comentários	45
4. ESTUDO DE CASO: MODELO PAYG	49

5. CONCLUSÃO	54
Resultados	54
Limitações e estudos futuros	54
REFERÊNCIAS	56
ANEXO	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dimensões do acesso à energia; Fonte: [8].....	6
Figura 2: População servida por soluções off-grid; Fonte: [18]	16
Figura 3: Capacidade instalada globalmente das soluções renováveis <i>off-grid</i> ; Fonte: [18].....	16
Figura 4: População (em milhões) servida por soluções <i>off-grid</i> renováveis na África; Fonte: [18].....	17
Figura 5: Capacidade instalada cumulativa das soluções <i>off-grid</i> renováveis na África; Fonte: [18] ...	18
Figura 6: Evolução dos preços dos módulos fotovoltaicos (2010 – 2015); Fonte: [19]	19
Figura 7: Mapa da radiação global horizontal; Fonte: [20]	20
Figura 8: Mapa da radiação global horizontal e do potencial fotovoltaico na África Subsaariana Fonte: [20]	20
Figura 9: Custo da eletricidade por características do local; Fonte: [8]	22
Figura 10: Configuração de PPVS; Fonte: [24].....	24
Figura 11: Configuração de SHS em CC; Fonte: [24]	27
Figura 12: Configuração de SHS em CA; Fonte: [24]	27
Figura 13: M-KOPA 5 Solar Home System; Fonte: [63]	49
Figura 14: M-KOPA 500; Fonte: [63]	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Taxas de eletrificação e população sem acesso (milhões) por região; Fonte: [3]	7
Tabela 2: Abordagens tecnológicas para eletrificação; Dados da ARE	11
Tabela 3: <i>Multi Tier Framework</i> ; Fonte: [8].....	14
Tabela 4: Segmentação dos sistemas isolados fotovoltaicos da GOGLA; Fonte: [17]	23
Tabela 5: Segmentos de consumo do <i>World Bank</i> ; Fonte: [35]	30
Tabela 6: Quadro comparativo dos diferentes modelos de entrega; Fonte: o autor	47

SIGLAS E ABREVIACÕES

ARE	Alliance for Rural Electrification
BoP	Base da Pirâmide
CA	Corrente-Alternada
CC	Corrente-Contínua
CEMG	Clean Energy Microgrid
EEP	Energy and Environment Partnership
ESMAP	Energy Sector Management Program
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IEA	International Energy Agency
IoT	Internet of Things
IRENA	International Renewable Energy Agency
GHI	Radiação Global Horizontal
GOGLA	Global Off-Grid Lighting Association
GSM	Sistema Global para Comunicações Móveis
LED	Light Emitting Diode
MTF	Multi-Tier Framework
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PAYG	Pay-As-You-Go
PPVS	Sistema pico fotovoltaico
SHS	Sistema solar residencial
TV	Televisão
USD	Dólar americano
Wp	Watt-pico

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório é apresentado, de forma sucinta, o *Background* do estudo desenvolvido, seguido pela definição do seu escopo e, por fim, é apresentada a estrutura em que esta dissertação se encontra organizada.

1.1. Background

O acesso à energia elétrica é um aspecto fundamental nos esforços pela redução da pobreza ao redor do mundo, uma vez que é capaz de contribuir tanto para o desenvolvimento econômico, como para a melhoria da qualidade de vida daqueles que habitam as áreas mais pobres do planeta [1, 2]. Não por acaso, a África Subsaariana, região mais pobre do globo, é também onde se concentra o maior número de indivíduos sem acesso a este serviço básico, são 588 milhões dos cerca de 1 bilhão sem eletricidade, em sua grande maioria habitantes de áreas rurais [3].

A resolução problema da falta de acesso passa, portanto, pela eletrificação rural, que costuma ser mais complexa e cara que a das áreas urbanas, devido a aspectos de diversas naturezas [3]. Há aspectos geográficos, como a distância dos centros urbanos, demográficos, como populações habitualmente dispersas, e aspectos econômicos, sociais e culturais dos habitantes destas áreas como, por exemplo, o fato de terem recursos limitados, sendo integrantes do chamado mercado de base da pirâmide (*Base of the Pyramid – BoP*, seção 2.5). Este cenário torna mais difícil que a eletrificação rural se dê pela adoção da abordagem mais tradicional e utilizada nas áreas urbanas, a eletrificação *on-grid* por meio da extensão das redes elétricas principais. Desta forma, surge espaço para a adoção tecnologias e modelos mais modernos, inovadores e limpos.

Em se tratando das áreas rurais da África Subsaariana, os sistemas isolados fotovoltaicos surgem como uma opção de destaque [4]. Há elevado potencial para geração fotovoltaica na região, a capacidade destes sistemas se adequa bem aos reduzidos padrões de consumo dos habitantes destas áreas e, seus custos mais baixos em relação a outras tecnologias permitem ao setor privado o fornecimento destas soluções por meio de modelos de entrega que não necessitem do aporte financeiros de outros setores para que essas soluções sejam acessíveis aos consumidores.

A literatura existente apresenta diversos modelos de entrega aplicados pela iniciativa privada na região, que obtiveram sucesso no oferecimento de sistemas isolados fotovoltaicos. Também existe literatura extensa a respeito dos principais desafios encontrados por empreendedores que atuam ou pretendem atuar no mercado BoP. Porém, são escassos os estudos que abordem estes dois aspectos de forma integrada e realizem uma reflexão acerca destes modelos de entrega tendo em consideração os desafios impostos pelo mercado BoP, a qual se busca realizar no presente estudo.

1.2. Escopo do trabalho

Motivação

A ideia inicial deste estudo foi a de abordar a questão do acesso à energia elétrica, tão importante no contexto atual, com todos os esforços pelo desenvolvimento sustentável, e da contribuição que a energia solar fotovoltaica pode exercer na busca na sua universalização. Entretanto, este é um assunto bastante abrangente, tendo sido necessária.

Para tal, as atenções são voltadas para uma região e uma tecnologia, definidos como objetos deste estudo. A região é a África Subsaariana, uma vez que é onde se concentra mais da metade da população sem acesso a este serviço básico, e onde é mais difícil de fornecê-lo, por questões de diversas naturezas, que são referidas ao longo do estudo. A tecnologia escolhida, por sua vez, foram os sistemas isolados fotovoltaicos, pois a região em questão apresenta características que justificam a utilização deste tipo de solução na promoção do acesso à energia elétrica, o que também é discutido no texto.

Em geral, esta população subsaariana sem acesso é encontrada em áreas rurais, e está inserida nos chamados mercados BoP. Os sistemas isolados fotovoltaicos, por sua vez, são habitualmente fornecidos pelo setor privado, que para tal adota variados modelos de entrega para servir esta população. A partir disso, foi definido o objetivo do estudo, de estudar estes diferentes modelos de entrega à luz das características encontradas nos mercados BoP rurais da região em questão.

Questões de investigação

A comercialização de sistemas isolados fotovoltaicos nos mercados BoP, no âmbito da eletrificação rural da África Subsaariana, pode se dar através de diferentes estratégias. São diversos os modelos de entrega, adotados pela iniciativa privada, encontrados na literatura e que obtiveram resultados positivos. Então surge a primeira questão de investigação: **“A escolha do modelo de entrega determina o sucesso de um empreendimento que pretende oferecer sistemas isolados fotovoltaicos em áreas rurais da África Subsaariana?”**.

Em busca da resposta, foram analisados diferentes modelos de entrega utilizados nas áreas rurais da África Subsaariana, de onde surgiu a segunda questão de investigação: **“Qual destes modelos de entrega se mostra mais promissor?”**.

Estrutura da dissertação

Esta dissertação se encontra dividida em cinco capítulos. O Capítulo 1 “Introdução” apresenta o *background* do estudo, bem como o escopo do mesmo.

O Capítulo 2 “Revisão da Literatura” se inicia com a questão do acesso à eletricidade nos países em desenvolvimento e suas diferentes dimensões, bem como a sua importância para o desenvolvimento econômico e melhoria da qualidade de vida dos indivíduos sem acesso à energia elétrica e o atual cenário em todo o mundo, de modo a justificar o direcionamento do estudo para a região da África Subsaariana. Em seguida as atenções são voltadas para a questão da eletrificação rural, e como esta é fundamental no âmbito dos esforços pelo acesso universal à eletricidade. Posteriormente são apresentadas as diferentes abordagens tecnológicas para a eletrificação, sendo brevemente descritas as diferentes soluções inseridas em cada uma destas abordagens, bem como os níveis de serviço associados e o envolvimento dos setores públicos e privado em cada uma.

No prosseguimento deste capítulo, são apresentadas as vantagens dos sistemas isolados fotovoltaicos, frente às demais soluções de eletrificação no contexto do fornecimento de acesso nas áreas rurais da África Subsaariana, para justificar a sua escolha como elemento central do estudo, e as diferentes tecnologias e categorias destes sistemas são apresentadas de forma mais detalhada. Em seguida é apresentado o conceito de mercado BoP, os aspectos importantes dos consumidores deste mercado, e o ambiente de negócios encontrado pelas empresas que pretendem atuar nele. Este capítulo é finalizado com a apresentação dos diferentes modelos de entrega para sistemas isolados fotovoltaicos que foram utilizados nas áreas rurais subsaarianas com algum sucesso.

No Capítulo 3 “Reflexão”, como o próprio nome diz, é feita uma reflexão acerca dos modelos de entrega apresentados em relação aos segmentos de sistemas aos quais melhor se adequam e de que maneira estes enfrentam os desafios do mercado BoP subsaariano. Por fim, é realizada uma comparação entre os diferentes modelos levando em consideração suas forças e fraquezas, para posterior resposta das duas questões de investigação: “A escolha do modelo de entrega determina o sucesso de um empreendimento que pretende oferecer sistemas isolados fotovoltaicos em áreas rurais da África Subsaariana?” e “Qual destes modelos de entrega se mostra mais promissor?”.

No Capítulo 4 “Estudo de Caso”, é apresentado um caso de sucesso da aplicação do modelo de entrega definido como mais promissor no capítulo anterior. O caso é apresentado à luz do que foi discutido a respeito deste modelo anteriormente.

O Capítulo 5 “Conclusão” consiste no fechamento do estudo, onde são sumarizados os resultados obtidos com o desenvolvimento do mesmo, são apresentadas as limitações do estudo, e possibilidades para estudos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Acesso à eletricidade nos países em desenvolvimento

No ano de 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), uma série de objetivos a serem atingidos até 2030, os quais têm como intuito a redução da pobreza, a proteção do planeta e que todas as pessoas usufruam de paz e prosperidade. Entre estes objetivos está o ODS 7, que consiste em assegurar a todos os habitantes do planeta até 2030 o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia.

De acordo com a definição da *International Energy Agency* (IEA), o acesso à energia consiste em “um lar que tenha acesso confiável e a um valor acessível a equipamentos de cozinha que façam uso de energia limpa e à eletricidade, a qual, inicialmente, deve ser suficiente para alimentar um pacote básico de serviços energéticos. Com o passar do tempo deve haver um aumento no nível de serviço da eletricidade de modo que seja atingido o nível da média regional”. Este “pacote básico de serviços energéticos” consiste em, no mínimo, algumas lâmpadas, uma lanterna recarregável, carregamento de telefones móveis e alimentação de um rádio [3].

A falta de acesso à energia elétrica é um dos maiores obstáculos aos esforços globais pelo desenvolvimento sustentável, o que é explicado pela importância que o acesso à energia exerce no contexto da sustentabilidade, conectando suas três dimensões: prosperidade econômica, desenvolvimento social e a vida dentro dos limites da natureza [5]. O acesso à energia é importante não só para atingir o ODS 7, do acesso universal, até 2030, mas também para o alcance de outros ODS, como os que tratam da igualdade de gêneros, redução da pobreza e melhorias das condições de saúde [3].

O acesso à energia limpa e o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) apresentam uma correlação positiva entre si, sendo o primeiro tido como condição necessária para o aumento do segundo [1, 5]. Por este motivo, diversos estudos têm analisado o papel de importância que o acesso à energia elétrica desempenha no desenvolvimento econômico, na melhoria da educação e da saúde em comunidades pobres [1, 2], promovendo o estabelecimento de um ciclo virtuoso que envolve educação, saúde, aumento de produtividade, maior igualdade de gêneros e desenvolvimento econômico [1, 2].

A contribuição da eletrificação para a melhoria da educação está relacionada à possibilidade da utilização de equipamentos elétricos e eletrônicos nas escolas, como projetores e computadores, que ampliam as possibilidades de ensino, geram maior interesse nos alunos e acabam por atrair mais

profissionais do ensino. Porém, também está relacionada à eletrificação das habitações, pois o acesso à iluminação elétrica possibilita a extensão das horas de estudo até o horário noturno e o acesso a novos meios de comunicação como, por exemplo, telefones móveis, rádio e televisão, permitem a aquisição de novos conhecimentos úteis. [2]. Para ilustrar a diferença que os meios de comunicação podem exercer em termos da aquisição de novos conhecimentos, uma pesquisa realizada pela empresa queniana M-KOPA, especializada em soluções fotovoltaicas *off-grid*, descobriu que 47 % dos seus clientes que adquiriram uma TV, o fizeram para terem acesso a notícias ou conteúdo educacional e 70 % destes afirmou se sentir mais informado e com maior consciência política após o uso do aparelho [6].

O acesso à energia elétrica contribui também para um aumento na qualidade dos serviços de saúde oferecidos, devido à possibilidade da utilização de equipamentos elétricos e eletrônicos para exames e tratamentos, conservação de medicamentos e gestão dos prontuários [3]. Além do aumento da qualidade dos serviços de saúde, a presença da eletricidade nos seus lares também contribui para a melhoria da saúde dos indivíduos em questão. Com a troca da tradicional iluminação a querosene pela luz elétrica, a poluição do ar dentro das moradias é reduzida, assim como os riscos de problemas (principalmente respiratórios) associados. A eletrificação torna possível o acesso aos meios de comunicação, como televisão e rádio, que contribuem como fontes de novos conhecimentos e informações sobre questões de saúde, bem como sobre hábitos alimentares. Por fim, a possibilidade do armazenamento refrigerado de alimentos, contribui para uma melhor qualidade da alimentação destes indivíduos, e conseqüentemente da sua saúde [7].

O impacto positivo do acesso à eletricidade sobre a produtividade está atrelado ao surgimento de novas oportunidades de negócios, à possibilidade de extensão do horário produtivo, através do uso da iluminação elétrica [7] e de equipamentos e técnicas que proporcionam o incremento da produtividade na agricultura e na indústria [3]. Estes benefícios proporcionados pelo acesso à eletricidade, referidos acima, o comprovam como elemento essencial na luta pela redução da pobreza ao redor do globo, que consiste no ODS 1.

O *Energy Sector Management Program* (ESMAP), programa de gestão do setor energético da organização *Sustainable Energy for All* (SEforALL), define um Índice Geral de Acesso à Energia que está atrelado três outros índices, que tratam de diferentes dimensões de acesso, o Índice de Acesso à Energia para Habitações, o Índice de Acesso à Energia para Usos Produtivos e o Índice de Acesso para Instalações Comunitárias (Figura 1).

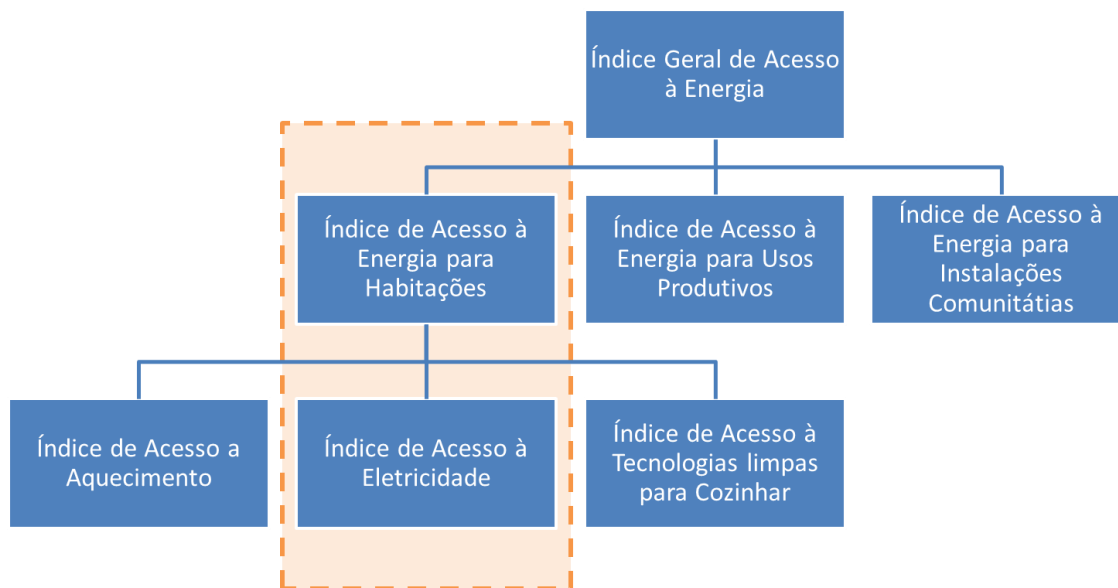


Figura 1: Dimensões do acesso à energia; Fonte: [8].

Este estudo tem como objetivo abordar a questão do acesso nas habitações, que por sua vez, está atrelado a três diferentes dimensões, também definidas em índices, o Índice de Acesso à Tecnologias Limpas para Cozinhar, o Índice de Acesso à Eletricidade e o Índice de Acesso a Aquecimento. Conforme destacado na [Figura 1](#), dentro do acesso para habitações, o estudo tem suas atenções voltadas para o acesso à energia elétrica.

Desde o ano 2000, aproximadamente 1,2 bilhão de pessoas ganharam acesso à energia elétrica [3], e o número de pessoas que ganham acesso anualmente tem acelerado desde 2010, são cerca de 118 milhões por ano. Apesar deste avanço, cerca de 1 bilhão de pessoas, 13 % da população mundial, ainda permanece sem acesso [9]. Estima-se que para atingir o ODS 7, seria necessário um investimento anual na ordem de 52 bilhões de dólares, o que representa mais do que o dobro do capital atualmente mobilizado, de acordo com as políticas em vigor e as que estão planejadas [3]. Caso estas políticas não sofram alterações e o crescimento populacional mantenha sua tendência, projeções da IEA estimam que em 2030 ainda existirão 674 milhões de indivíduos sem acesso à eletricidade [9]. Embora este número represente uma evolução, quando comparado ao número de 1 bilhão de pessoas sem acesso atualmente e de 1,7 bilhão no ano 2000, ainda estará distante da meta do acesso universal [3]. Estes valores demonstram que ainda existe um longo caminho a ser percorrido para que seja possível a conquista do referido objetivo e é importante ressaltar que esta evolução do acesso à energia elétrica foi concentrada em apenas algumas regiões e países [5].

Praticamente todos os indivíduos que vivem sem acesso à eletricidade se encontram em países em desenvolvimento. Mais precisamente, 99,92 % das pessoas sem acesso à eletricidade se encontram nestes países, principalmente na região da África Subsaariana, onde são 588 milhões de indivíduos sem acesso e nos países asiáticos em desenvolvimento, onde esse número é de 439 milhões [1, 3, 5]. Neste contexto, os mais afetados são aqueles que vivem em zonas rurais, principalmente as mais afastadas dos centros urbanos, e que têm menor poder aquisitivo. Desta forma, o desafio do acesso universal à energia elétrica não pode ser tratado como uma questão simplesmente tecnológica, e não

pode ser isolado do desafio que é atuar em mercados onde os consumidores possuem poder de compra limitado, além de características e comportamentos muito distintos dos consumidores dos mercados mais afluentes. Este mercado é denominado mercado de Base da Pirâmide (*Base of the Pyramid - BoP*), e será caracterizado mais adiante.

Ao se analisar as taxas de eletrificação, bem como suas evoluções, nos países em desenvolvimento, regionalmente, se observam resultados bastante distintos, conforme apresentado na [Tabela 1](#), onde também é possível ver a diferença entre as taxas de eletrificação entre as áreas urbanas e rurais, com as últimas apresentando taxas de eletrificação inferiores.

Os países asiáticos em desenvolvimento apresentaram progressos significativos, com o aumento da taxa de eletrificação na região de 67 % no ano 2000 para 89 % em 2016, correspondendo a três quartos da população global que ganhou acesso desde o ano 2000. Entre estes países, destaque para a China, que atingiu 100 % de eletrificação em 2015, e para Índia, Indonésia e Bangladesh onde, entre 2000 e 2016, 500 milhões, 100 milhões e 90 milhões de pessoas obtiveram acesso à eletricidade, respectivamente [3]. Apesar desta evolução, e dos 89 % de taxa de eletrificação em 2016, no mesmo ano o número de pessoas que permaneciam sem acesso na região ainda era de 439 milhões, o que se explica por ser uma região muito populosa. No Oriente Médio e na América Latina, o número de pessoas sem acesso em 2016 era de 17 milhões em ambas as regiões, sendo as taxas de eletrificação de 93 % e 97 % respectivamente.

Tabela 1: Taxas de eletrificação e população sem acesso (milhões) por região; Fonte: [3].

	Taxa de eletrificação						População sem acesso (milhões)
	Nacional				Urbana	Rural	
	2000	2005	2010	2016	2016	2016	
Norte da África	90%	96%	99%	100%	100%	99%	< 1
África Subsaariana	23%	27%	32%	43%	71%	23%	588
Países Asiáticos em Desenvolvimento	67%	74%	83%	89%	97%	81%	439
Oriente Médio	91%	80%	91%	93%	98%	79%	17
América Latina	87%	91%	94%	97%	98%	86%	17
Países em Desenvolvimento	64%	69%	76%	86%	94%	70%	1060
Mundo	73%	76%	82%	86%	96%	73%	1060

Enquanto o Norte da África apresentou em 2016 aproximadamente 100 % de eletrificação, com menos de 1 milhão de pessoas sem acesso à energia elétrica, a África Subsaariana, por sua vez, é a região em situação mais crítica, com uma taxa de eletrificação de apenas 43 % em 2016. Além disso, é também a região com maior número de pessoas sem acesso, somam 588 milhões, dos quais mais de 80 % vivem em áreas rurais [3]. A população sem acesso na região corresponde a pouco mais da metade da população mundial sem energia elétrica. Ao analisar em separado as áreas rurais desta

região, o cenário é ainda pior, apenas 23 % da população rural possuía acesso na África Subsaariana em 2016.

Há mais pessoas sem eletricidade na região atualmente, um total de 588 milhões, do que havia no ano 2000, quando eram 518 milhões. Este crescimento é relacionado a dois fatores, ao fato do crescimento populacional ter sido superior ao número de pessoas contempladas pelas iniciativas de eletrificação, e ao fato de que muitos dos indivíduos que obtiveram acesso desde 2010 não têm um fornecimento de energia elétrica confiável, sendo contabilizados como população sem acesso [6]. No entanto, o número de pessoas sem acesso à eletricidade parou de crescer em 2013 e, desde então, vem diminuindo, principalmente pelos esforços realizados em alguns países, como Costa do Marfim, Etiópia, Gana, Quênia, Sudão e Tanzânia [3]. Apesar de alguns países subsaarianos caminharem para a meta do acesso universal em 2030, do total de 674 milhões de indivíduos no mundo que a IEA estima que não terão acesso neste horizonte, cerca de 600 milhões estarão situados nesta região [3].

Desde 2012, são em média 26 milhões de pessoas que ganham acesso por ano na região, quase o triplo da média entre 2000 e 2012, que era de 9 milhões [3]. Entretanto, esta evolução se deu de forma desequilibrada entre os países. Enquanto em 2016, oito países apresentavam taxas de acesso superiores a 80 % (África do Sul, Cabo Verde, Gabão, Gana, Maurícia, Reunião, Seicheles e Suazilândia), a maior parte apresentava taxas abaixo dos 50 % e alguns até abaixo dos 25 % [3].

Este desequilíbrio também fica evidente quando se analisa a evolução da eletrificação nas diferentes sub-regiões da África Subsaariana. Para exemplificar, tanto a África Central como a África Oriental apresentavam taxas de eletrificação de 10 % no ano 2000, as menores do continente, que evoluíram de maneira semelhante até 2012. Entre 2012 e 2016, entretanto, seis vezes mais indivíduos obtiveram acesso à eletricidade na África Oriental do que na Central, o que foi resultado de um ambiente mais estável para investimento, bem como de melhor infraestrutura em termos de linhas de transmissão regionais [3].

Os dados apresentados acima contribuíram na decisão de direcionar este estudo à região da África Subsaariana, mais especificamente às suas áreas rurais. Conforme explicitado, trata-se da região onde se encontra a maior parcela da população mundial sem acesso à eletricidade, em sua grande maioria, habitantes de áreas rurais e inseridos no chamado mercado BoP. Outra opção possível para este estudo seria se debruçar sobre os países asiáticos em desenvolvimento, segunda região com maior concentração de indivíduos sem acesso. No entanto, o cenário observado é mais promissor, sendo observados grandes avanços em diversos países, conforme referido, tanto que, de acordo com estimativa da IEA, a região deve representar apenas cerca de 54 milhões das 674 milhões de pessoas que não devem ter acesso à eletricidade em 2030 [3].

2.2. Eletrificação Rural

Apesar do progresso atingido, com o aumento das taxas de eletrificação em todas as regiões que compreendem os países em desenvolvimento, 13 % da população mundial permanecem sem acesso à eletricidade, dos quais 84 % habitam áreas rurais. Dos 674 milhões que não terão acesso em 2030, segundo as estimativas da IEA, 90 % estarão nestas áreas [3]. Entre 2012 e 2014, por exemplo, foram cerca de 87 milhões de indivíduos que ganharam acesso à eletricidade globalmente, no entanto, cerca de 81 milhões destes viviam em áreas urbanas, enquanto apenas 6 milhões em áreas rurais [5]. Um resultado paradoxal, quando se tem em vista o dado supracitado de que 84 % dos indivíduos sem acesso vivem em áreas rurais [3], porém, compreensível tendo em vista que os governos costumam dar mais atenção às áreas urbanas, onde as atividades econômicas são mais intensas e relevantes, e as infraestruturas mais disponíveis [10].

Portanto, o desafio do acesso universal à energia elétrica até 2030 está intimamente relacionado à eletrificação das áreas rurais dos países em desenvolvimento, onde se encontra a grande maioria dos indivíduos que não possuem acesso, principalmente dos países da África Subsaariana, que compreendem 80 % dos 588 milhões de indivíduos sem eletricidade na região, e onde as perspectivas são menos animadoras, de acordo com as projeções da IEA.

Para atender às necessidades desta população sem acesso existem duas abordagens tecnológicas possíveis. A eletrificação *on-grid*, que consiste no fornecimento de energia elétrica por meio da conexão dos consumidores às redes elétricas centrais, e a eletrificação *off-grid*, que consiste no fornecimento de eletricidade por meio unidades de geração isoladas da rede elétrica central. De acordo com [3], 40 % da eletricidade necessária para promover o acesso universal pode vir por meio da primeira opção de forma economicamente viável, enquanto os outros 60 % devem provir da segunda abordagem.

A evolução observada no quadro do acesso à energia elétrica nos últimos anos teve como principal motor a extensão das redes elétricas centrais, que representaram 97 % das novas conexões desde o ano 2000, e o uso de soluções baseadas nos combustíveis fósseis [3], as quais não são adequadas do ponto de vista do desenvolvimento sustentável. Entretanto, é possível observar que nos últimos anos houve alguma evolução na participação das fontes renováveis entre as novas conexões, passando de 28 % entre 2000 e 2012 para 34 % a partir de então [3].

Esta maior atenção dada às áreas urbanas e a opção pela extensão das redes elétricas principais pode ser explicada por diversos aspectos. Além das áreas urbanas concentrarem um maior número de atividades econômicas, sendo vistas com mais importância pelos governantes, também é mais simples e barato estender ou adensar as linhas de distribuição nestas áreas, onde há maior densidade populacional, o que resulta em maior consumo, as distâncias são menores, e já existe infraestrutura neste sentido [10]. As áreas rurais, principalmente as mais isoladas, apresentam contextos mais complexos, apresentando desafios geográficos, demográficos, econômicos e socioculturais.

Neste contexto, os governos dos países em desenvolvimento criaram e têm criado organizações para promover a eletrificação rural especificamente, as chamadas Agências de Eletrificação Rural [10]. Como foi brevemente referido, existem duas abordagens possíveis para a promoção da eletrificação rural, a eletrificação *on-grid*, baseada na extensão da rede elétrica principal até estas áreas, e a eletrificação *off-grid*, baseada em soluções de geração elétrica desconectadas das redes centrais, em escala residencial ou comunitária [11]. A criação destas organizações passa pelo entendimento de que a primeira abordagem não é uma opção economicamente viável para a maior parte das áreas rurais sem eletricidade nos países em desenvolvimento [12].

As áreas rurais, principalmente as mais isoladas, apresentam uma série de desafios que dificultam a chegada da eletricidade pela via tradicional aos seus habitantes. Para citar alguns, costumam se situar a muitos quilômetros de distância dos centros urbanos, há ausência de infraestruturas viárias que facilitem o acesso a estas áreas, habitualmente apresentam baixa densidade demográfica e uma população com baixo poder de compra [5], o que resulta em uma demanda potencial baixa que torna inviáveis os elevados investimentos atrelados à extensão da rede central até essas áreas [13]. Este é o caso de grande parte das áreas rurais sem acesso nos países da África Subsaariana, com o agravante de que em muitos destes países as redes elétricas centrais não possuem capacidade de geração suficiente para abastecer estas áreas ou infraestruturas suficientes para promover a expansão do acesso, fazendo com que em muitos casos a extensão da mesma não resolva o problema da falta de acesso dos habitantes destas áreas, pois resulta em um fornecimento pouco confiável [13].

Esta dificuldade em fornecer energia elétrica às áreas rurais remotas pode ser ilustrada pelas experiências dos países que atingiram 100 % de eletrificação, que demonstram que os últimos 10-15 % da população sem acesso são os mais difíceis de serem atendidos. Normalmente levam mais tempo e apresentam maiores custos, por se tratarem exatamente de áreas rurais remotas. Na China e na Tailândia, por exemplo, demorou 20 anos o aumento da taxa de eletrificação de 30-40 % para 85-90 %, enquanto também levou outros 20 anos para os últimos 10-15 % que restavam para 100 % de acesso [3].

2.3. Abordagens tecnológicas para eletrificação

Conforme referido, as diferentes abordagens tecnológicas para eletrificação podem ser divididas em duas categorias principais, eletrificação *on-grid* e eletrificação *off-grid*, conectada à rede e isolada da rede elétrica central, respectivamente (Tabela 2). No entanto, além desta classificação de acordo com a ligação ou não à rede central, podem também ser classificadas em relação a outros fatores como o tipo de fonte utilizada, a capacidade dos sistemas, o nível de serviço, o modelo de operação e os custos [14].

Tabela 2: Abordagens tecnológicas para eletrificação; Dados da ARE.

Eletrificação on-grid		Eletrificação off-grid			
Cobertura da rede elétrica central		Cobertura de rede elétrica descentralizada	Sistemas isolados		
Extensão da rede	Adensamento da rede	Micro-redes	Sistemas pico	Sistemas residenciais	Sistemas produtivos

A eletrificação *on-grid* é assim definida quando o acesso é proporcionado pela conexão à rede de distribuição local, que por sua vez está conectada à rede de transmissão, ambas constituindo a rede elétrica central. Ela pode ocorrer de duas maneiras, por meio da sua extensão, quando a linha de transmissão é ampliada até áreas que antes a rede não abrangia, ou por adensamento, quando são feitas novas conexões em baixa-tensão a uma rede já existente [4]. A eletricidade fornecida habitualmente provém de unidades de geração centralizada de grande porte e, cada vez mais, também de unidades de geração distribuída [3]. O investimento neste modelo de eletrificação, com o desenvolvimento das redes de transmissão e distribuição, geralmente, só é viável em áreas onde há elevada densidade de demanda por energia elétrica, habitualmente, áreas urbanas ou zonas industriais. Nos locais onde existe a possibilidade de conexão à rede, sem necessidade da sua extensão, esta abordagem se mostra como a melhor em termos de custos [3]. Além disso, em geral, fornece um elevado nível de serviço aos consumidores, permitindo o uso de qualquer aparelho eletrodoméstico, bem como a operação de maquinaria industrial [14].

No caso da sua aplicação para a eletrificação rural, o adensamento não costuma ser uma opção, por se tratarem de áreas geralmente afastadas dos centros de maior consumo, e que conseqüentemente a rede elétrica não está presente. Por sua vez, a extensão de muitos quilômetros das linhas de transmissão elétrica, até áreas com baixa densidade demográfica, infraestruturas de apoio escassas e onde ainda podem existir barreiras institucionais e regulatórias, envolve perdas de transmissão e investimentos elevados, que muitos governos e companhias elétricas só teriam condições de arcar com o auxílio do financiamento através de doadores internacionais e empréstimos [1, 3]. Mesmo que tivessem o capital necessário disponível, a recuperação destes investimentos poderia levar décadas, uma vez que as companhias elétricas, nos países em desenvolvimento, costumam ter que praticar com os novos consumidores rurais uma tarifa unificada que, por vezes, não é suficientemente alta sequer para a recuperação dos custos operacionais, ou seja, a receita por unidade de eletricidade é baixa [11, 14]. Por outro lado, caso pudessem praticar tarifas mais elevadas nestas áreas, esbarrariam na questão de se tratarem de consumidores com limitada capacidade de pagamento e com baixa demanda por eletricidade [5].

A eletrificação *off-grid*, ou seja, aquela que se dá de maneira isolada da rede elétrica central, faz uso de sistemas de geração que podem ter desde menos de 1 Wp até os 10 MWp de capacidade. Em muitos casos estes sistemas utilizam como insumo uma fonte renovável disponível no local, sendo a mais utilizada a solar, porém, os sistemas a diesel são os mais disseminados atualmente [4]. A

eletrificação *off-grid* é a opção de menor custo quando se tratam de consumidores sem acesso à rede nos países menos desenvolvidos, que estejam a mais de 5km de distância de uma rede principal [4]. Estas soluções podem ser classificadas em duas categorias de acordo com a existência ou não de uma rede elétrica (Tabela 2). As micro-redes descentralizadas, que são redes elétricas autônomas com seus sistemas próprios de geração, desconectadas das redes centrais, e os sistemas isolados, sistemas de menor porte sem ligação com nenhum tipo de rede elétrica e que alimentam, em geral, apenas uma unidade consumidora.

As micro-redes descentralizadas são sistemas de geração independentes, não conectados às redes elétricas centrais, com potência nominal de 10 kWp a 10 MWp, que atendem um número limitado de consumidores por meio de redes de distribuição isoladas das redes de transmissão nacionais e, habitualmente, sem infraestrutura para fornecer energia para além da sua área de cobertura [3, 15]. Trata-se de uma opção adequada para áreas não abrangidas pelas redes elétricas centrais e que apresentem um nível de consumo potencial que justifique e torne viável o investimento necessário. Desta forma, a presença de unidades de maior consumo como unidades industriais, comerciais e serviços públicos pode facilitar e justificar sua aplicação [3]. As micro-redes podem ser ampliadas caso haja aumento na demanda por eletricidade na sua área de abrangência e serem projetadas de forma a permitir a integração com a rede central, caso esta, em algum momento futuro, seja estendida até a área em questão. Caso isto não seja considerado no projeto, normalmente por representar maiores investimentos iniciais, a micro-rede fica sujeita ao risco de se tornar obsoleta na ocasião da chegada da rede principal [3].

Em sua maioria, utilizam o diesel como fonte de energia, o que torna mais elevados os custos operacionais devido ao custo do combustível, geralmente fornecendo eletricidade a um custo mais elevado que o da rede central [3]. No entanto, existem opções mais adequadas ao desenvolvimento sustentável como os sistemas híbridos, conhecidos como *Clean Energy Mini-grids* (CEMG). Estes sistemas fazem uso de uma ou mais fontes renováveis (solar, eólica, hidroelétrica e biomassa), complementadas por um sistema de armazenamento composto por baterias, ou por um sistema auxiliar de geração a diesel. O sistema de armazenamento, ou o gerador a diesel tem a função de balancear a procura e a oferta elétrica no sistema e neutralizar as flutuações de carga nas micro-redes [15].

A outra opção *off-grid* diz respeito aos chamados sistemas isolados. Estes são sistemas elétricos de pequena dimensão, desconectados da rede principal, que não requerem nenhum sistema de distribuição e que fornecem eletricidade para aparelhos individuais, habitações ou pequenos usos produtivos [15]. Portanto, atendem às necessidades básicas de consumidores individuais, tais como iluminação, carregamento de aparelhos de telefonia móvel e alimentação de outros aparelhos elétricos e eletrônicos, fazendo uso de fontes de geração renováveis disponíveis na localidade [3, 14, 15]. Uma vantagem associada a estes sistemas é o fato de serem dimensionados de acordo com os consumos da unidade que devem alimentar, e podem, em muitos casos, ter suas capacidades aumentadas de acordo com o crescimento de demanda da unidade [3]. Podem servir como soluções em curto prazo, para fornecimento de eletricidade até a ocasião da chegada da rede elétrica.

Apesar de apresentarem um investimento inicial elevado em relação à capacidade dos sistemas, o que resulta em um elevado custo por unidade de eletricidade, enquanto que geralmente oferecem um nível de serviço baixo. Em geral, consistem na opção mais viável do ponto de vista econômico para áreas rurais isoladas e pouco populosas [3, 14], apresentando o melhor custo-benefício para estas comunidades com baixa demanda por eletricidade e que fazem uso de velas e querosene para iluminação. Neste sentido, a presença de modelos de financiamento é um fator importante para sua disseminação [3].

A maioria dos sistemas deste tipo faz uso do recurso solar, e no intuito de se aumentar o tempo de utilização dos mesmos, sistemas de armazenamento têm se tornado cada vez mais populares. A eletricidade armazenada e fornecida diretamente pela bateria apresenta normalmente uma tensão muito baixa em corrente-contínua (CC), utilizada para iluminação e alimentação de aparelhos em CC. Um inversor é utilizado para o fornecimento de uma baixa tensão em corrente-alternada (CA) para os demais aparelhos, nos sistemas de maior porte [15]. A acentuada queda nos custos associados à tecnologia fotovoltaica, bem como nos custos das baterias e o surgimento de novos modelos de financiamento têm tornado estes sistemas cada vez mais atrativos [3].

De acordo com a *Alliance for Rural Electrification* (ARE) os sistemas isolados podem ser divididos em três categorias. Os chamados sistemas pico, que fazem uso da fonte solar quase que em sua totalidade, sendo conhecidos como sistemas pico fotovoltaicos (*Pico Photovoltaic Systems – PPVS*), e têm uma capacidade bastante reduzida, inferior a 11 Wp. São utilizados para abastecer aparelhos individualmente, habitualmente lanternas, ou sistemas simples de iluminação, que podem também permitir o carregamento de telefones móveis ou a utilização de pequenos aparelhos como rádio ou reproduzidor de músicas [6, 15]. Há também os chamados sistemas residenciais, estes têm maior capacidade que os sistemas pico, superior a 11 Wp, consistindo em instalações fixas que fornecem energia elétrica para uma moradia, habitualmente utilizam a fonte solar, os chamados sistemas solares residenciais (*Solar Home Systems – SHS*), e além de abastecerem algumas lâmpadas e permitirem o carregamento de telefones móveis, também permitem a utilização de alguns aparelhos elétricos e eletrônicos, podendo alimentar até televisores ou refrigeradores, dependendo da capacidade do sistema e da eficiência dos equipamentos [6, 15].

Existe ainda a terceira categoria de sistemas isolados, de acordo com a classificação da ARE, que são os sistemas para usos produtivos. São definidos como sistemas utilizados para suprir as necessidades elétricas de pequenos negócios ou serviços situados em áreas remotas, tais como clínicas ou postos de saúde, hospedagens e pequenas fabricas [15]. No entanto, são sistemas semelhantes aos residenciais, diferindo em capacidade. Esta categoria não será considerada no presente estudo, pois o mesmo, conforme já referido, tem como foco o acesso à eletricidade nas habitações.

Em relação ao nível de serviço, o ESMAP, com o auxílio de parceiros, desenvolveu a *Multi-Tier Framework* (MTF), estrutura para monitorar e medir o acesso à eletricidade por meio de um modelo multidimensional, diferente do modelo binário anteriormente utilizado, em que havia apenas duas

possibilidades, acesso à eletricidade ou falta de acesso à eletricidade [16]. Na [Tabela 3](#) estão ilustrados os diferentes níveis de serviço definidos através deste modelo.

Tabela 3: Multi Tier Framework; Fonte: [8].

		<i>Tier 0</i>	<i>Tier 1</i>	<i>Tier 2</i>	<i>Tier 3</i>	<i>Tier 4</i>	<i>Tier 5</i>
1. Capacidade	Potência		Muito baixa, no mínimo 3Wp	Baixa, no mínimo 50Wp	Média, no mínimo 200Wp	Elevada, no mínimo 800Wp	Muito elevada, no mínimo 2kWp
	Capacidade diária de		Mínimo de 12Wh	Mínimo de 200Wh	Mínimo de 1kWh	Mínimo de 3,4kWh	Mínimo de 8,2kWh
	ou Serviços fornecidos		Iluminação de 1lmhrs por dia e carregamento de telefone móvel	Luz elétrica, ventilação, TV e carregamento de telefone móvel			
2. Duração	Horas por dia		Mínimo de 4h	Mínimo de 4h	Mínimo de 8h	Mínimo de 16h	Mínimo de 23h
	Horas por noite		Mínimo de 1h	Mínimo de 2h	Mínimo de 3h	Mínimo de 4h	Mínimo de 4h
3. Confiabilidade						No máximo 14 interrupções por semana	No máximo 3 interrupções por semana com durações inferiores a 2h
4. Qualidade						Problemas de tensão não afetam o uso desejado dos eletrodomésticos	
5. Acessibilidade						Custo de um pacote padrão de consumo de 365kWh por ano é inferior a 5% das receitas do agregado familiar	
6. Legalidade						A conta é paga à concessionária de energia, a um vendedor de cartões prépagos ou a um representante autorizado	
7. Saúde e Segurança						Ausência de acidentes no passado e percepção de riscos elevados no futuro	

Esta classificação, conforme apresentado na [Tabela 3](#), leva em consideração sete aspectos, capacidade, duração, confiabilidade, qualidade, acessibilidade, legalidade e saúde e segurança. A escala vai desde a *Tier 0*, que representa a falta de acesso, até a *Tier 5*, que representa o maior nível de acesso à eletricidade, no qual a unidade em questão não tem qualquer restrição em relação a utilização de aparelhos elétricos e eletrônicos e em termos de horário em que a energia se encontra disponível [8].

Os sistemas pico representam o estágio inicial em termos do nível de serviço do acesso à eletricidade, habitualmente situado entre a *Tier 0* e a *Tier 1* da MTF, enquanto os sistemas residenciais apresentam um nível de serviço de *Tier 1* completo ou até *Tier 2* completo, de acordo com a capacidade do sistema, podendo atender, inclusive, a pequenos usos produtivos, os referidos sistemas produtivos. As micro-redes, por sua vez, podem apresentar um nível de serviço tão alto como as soluções *on-grid*, contemplando até a *Tier 5* [15, 17, 18].

Quanto ao envolvimento do setor público e do privado no âmbito da eletrificação, ele varia de acordo com o tipo de abordagem e de solução utilizada. A eletrificação por meio da rede elétrica central é de responsabilidade dos governos e suas instituições públicas voltadas para este objetivo. Apesar de a iniciativa privada poder participar dos projetos de extensão e adensamento das redes, sendo em muitos países as empresas responsáveis pelas linhas de transmissão e distribuição privadas, estes projetos são financiados com investimentos públicos [14].

No caso das micro-redes, pode haver participação tanto do setor público como do privado. Quando se tratam de projetos deste tipo em áreas rurais onde os consumidores têm reduzida capacidade de investimento, é comum a participação de ambos os setores. Os projetos da iniciativa pública costumam recorrer ao setor privado para fornecimento de conhecimento técnico, enquanto os projetos da iniciativa privada necessitam do suporte governamental para a viabilidade do projeto, habitualmente por meio de subsídios [5, 14]. Os sistemas isolados, por sua vez, envolvem investimentos mais reduzidos, tornando possível ao setor privado a elaboração de modelos de negócios rentáveis e que não necessitam da participação do setor público, mas que habitualmente são financiados por meio de instituições financeiras, comunidades ou das famílias [14].

2.4. Sistemas isolados fotovoltaicos

Conforme referido, de acordo com a IEA e o *World Bank*, para que seja garantido o acesso universal até 2030, 60 % dos novos recursos de geração devem vir a partir de soluções *off-grid* [3]. Ao se analisar separadamente as áreas rurais onde não há acesso, este percentual é ainda maior, ronda os 70 % [3]. Isto se deve ao fato de que a extensão das linhas de transmissão nos países em desenvolvimento não é economicamente viável para áreas rurais afastadas, visto seus elevados custos e a baixa demanda por energia elétrica nestas áreas, além das perdas de transmissão, conforme referido [1].

Isto comprova a importância do papel que os sistemas *off-grid* de eletrificação devem desempenhar no âmbito da expansão da eletrificação de forma sustentável nas áreas rurais e, neste contexto, a fonte solar fotovoltaica deve desempenhar um papel de importância. Ao longo dos últimos cinco anos, os sistemas isolados e as micro-redes têm vivenciado um grande progresso à medida que os custos das tecnologias despencaram, houve uma evolução nos modelos de financiamento e implantação e os *stakeholders* se tornaram mais engajados com o setor, incluindo empreendedores locais, o setor privado internacional e as instituições financeiras [18].

Entre os sistemas de geração *off-grid* que fazem uso de fontes renováveis, a fonte solar fotovoltaica se destaca perante as demais como a que mais cresceu ao longo dos últimos anos em termos do número de pessoas que serve. A [Figura 2](#) mostra a evolução do número de pessoas, em milhões, servidas por sistemas *off-grid* de energias renováveis.

De acordo com dados da *International Renewable Energy Agency* (IRENA), em 2016 o número de pessoas com acesso à eletricidade por meio de sistemas *off-grid* de energia renovável foi estimado em 133 milhões, dos quais cerca de 100 milhões por meio de PPVS, 24 milhões por meio de SHS e pelo menos 9 milhões por meio das micro-redes fotovoltaicas, hidroelétricas e de biogás ([Figura 2](#)) [18].

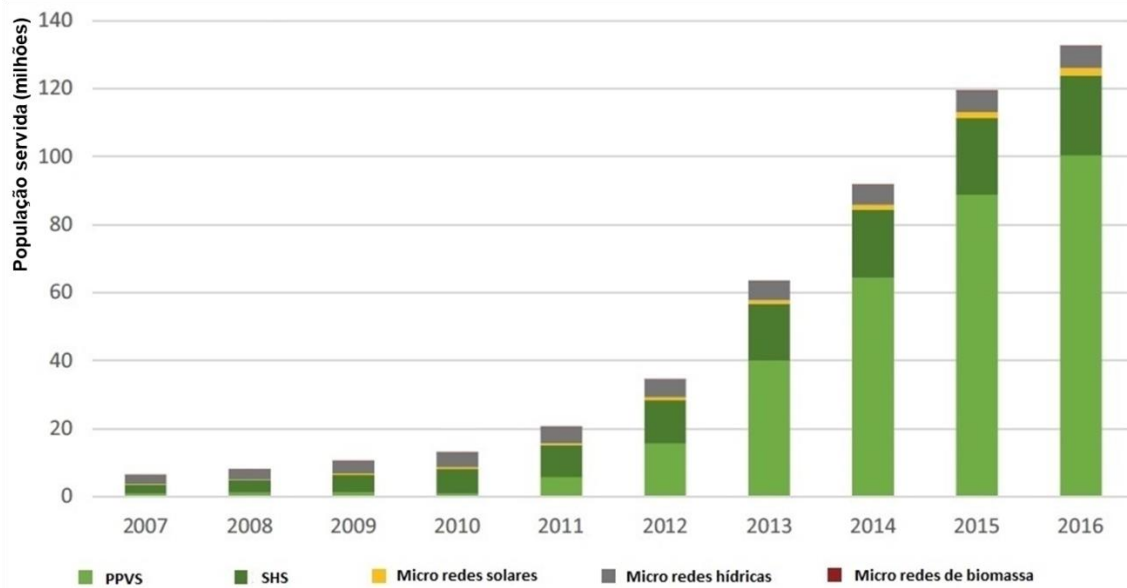


Figura 2: População servida por soluções off-grid; Fonte: [18].

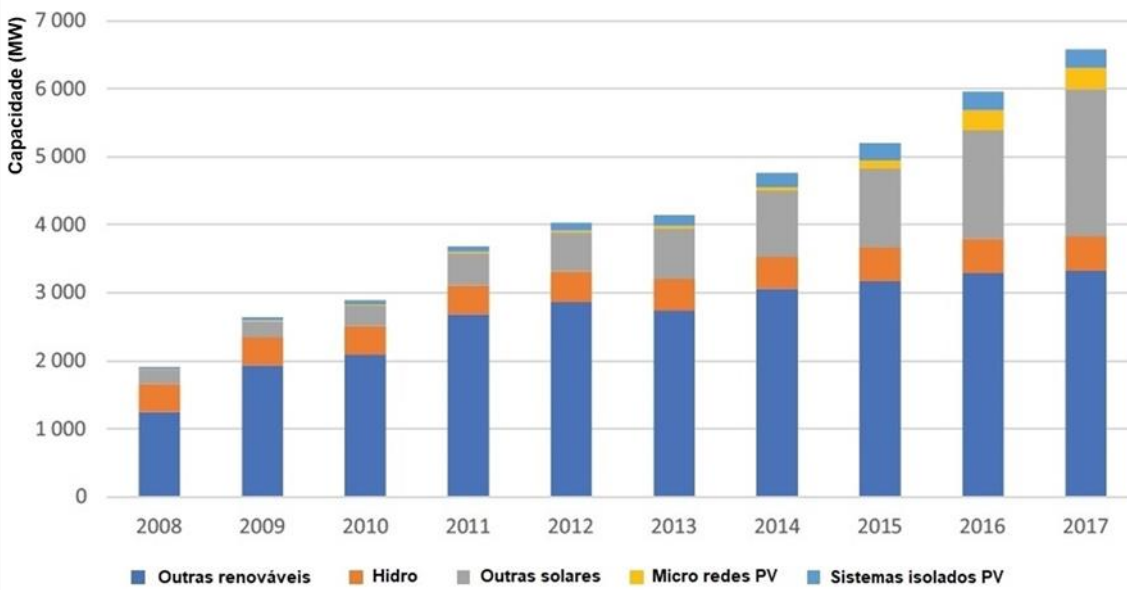


Figura 3: Capacidade instalada globalmente das soluções renováveis off-grid; Fonte: [18].

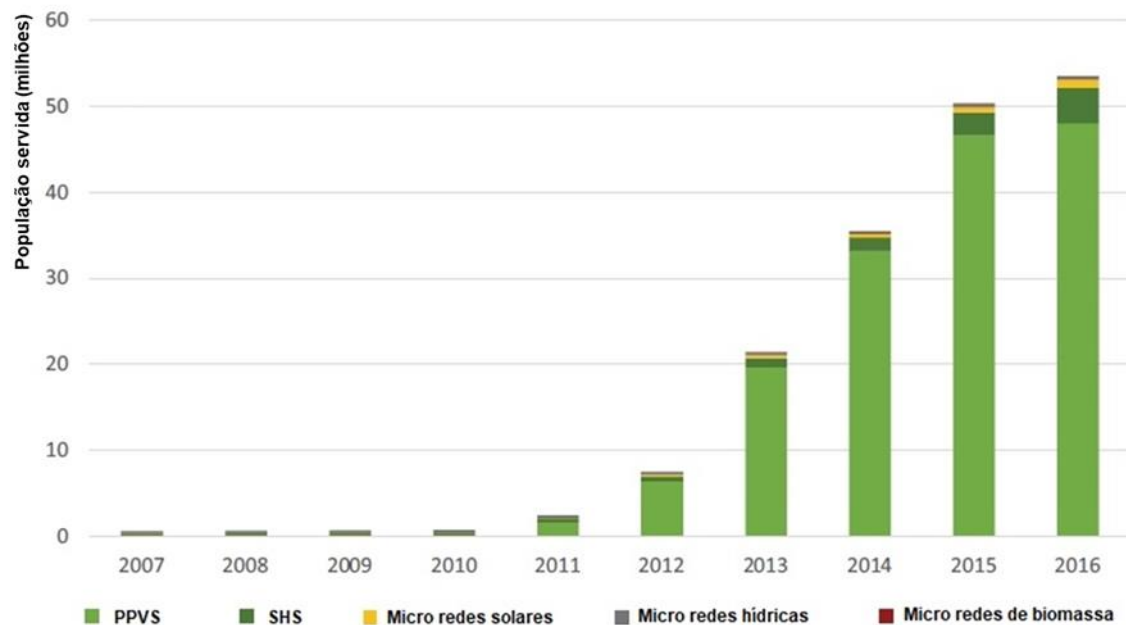


Figura 4: População (em milhões) servida por soluções *off-grid* renováveis na África; Fonte: [18].

Como pode ser visto, neste contexto, as soluções *off-grid* baseadas na energia solar fotovoltaica têm desempenhado papel de destaque, sendo responsáveis por abastecer mais de 90 % da população servida por sistemas *off-grid* de energia renovável (Figura 2). Apesar da evolução dos PPVS e dos SHS (representados no gráfico conjuntamente como sistemas isolados), em termos da população servida, representam apenas uma pequena parcela da capacidade total instalada dos sistemas *off-grid* de energia renovável, de 4 % (Figura 3) [18]. O que é justificado pelo fato de se tratarem de sistemas de menor capacidade, utilizados principalmente para atender a habitações, sendo vistos como um primeiro estágio em termos de eletrificação.

Na África, continente com maior déficit de acesso, as soluções *off-grid* baseadas nas energias renováveis apresentaram uma rápida evolução ao longo dos últimos anos. Em 2011, estes sistemas serviam pouco mais de 2 milhões de pessoas, enquanto que em 2016 superaram as 53 milhões (Figura 4). A maior parte por meio de PPVS, que apresentaram a maior taxa de crescimento neste período, como também o maior crescimento em números absolutos. Porém, de 2015 para 2016, os sistemas que apresentaram maior taxa de crescimento foram os SHS, que de acordo com a IRENA, tendo superado em 2017 as 4 milhões de pessoas servidas. Esta evolução é relacionada com inovações tecnológicas e nos modelos de financiamento [18].

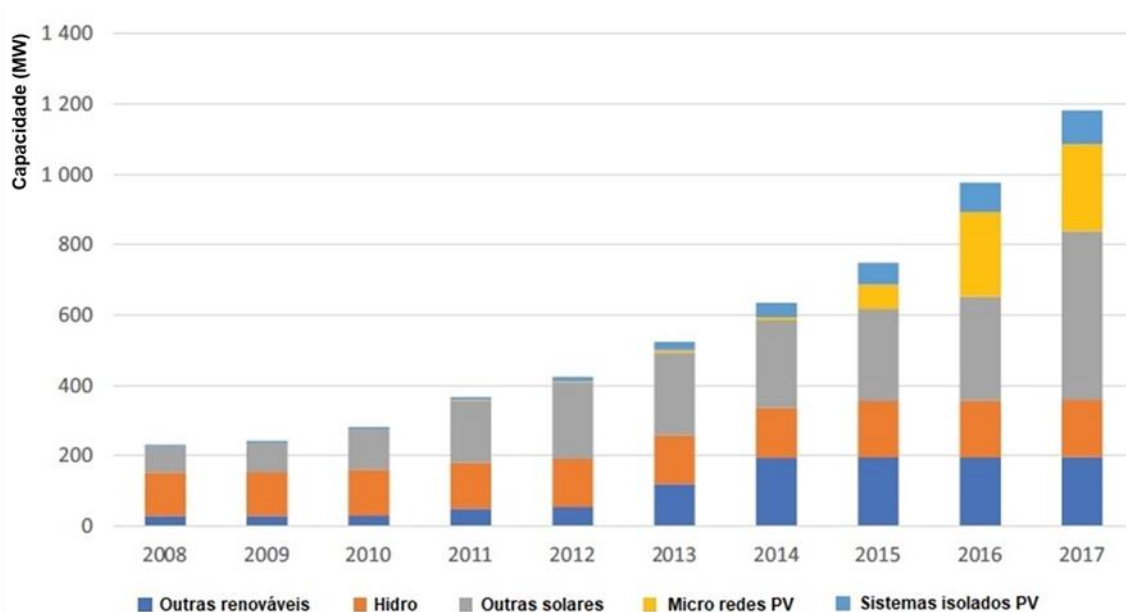


Figura 5: Capacidade instalada cumulativa das soluções *off-grid* renováveis na África; Fonte: [18].

Em relação à capacidade instalada cumulativa destas soluções, saltou de 231 MW em 2008 para aproximadamente 1,2 GW em 2017 (Figura 5). As tecnologias baseadas na energia solar foram as principais responsáveis por este crescimento, representando mais de 820 MW em 2017, divididos entre PPVS, SHS, micro-redes solares e sistemas para serviços públicos e comerciais, estes últimos designados por “outras solares” no gráfico. Ainda de acordo com a IRENA, os sistemas fotovoltaicos têm se tornado a opção padrão para o fornecimento de energia elétrica nas áreas do continente africano onde as redes elétricas centrais não se fazem presentes [18].

Esta evolução no número de sistemas fotovoltaicos na África, principalmente na África Subsaariana, uma vez que a região Norte do continente praticamente atingiu o acesso universal, está relacionada a diversos fatores. No caso dos PPVS houve uma rápida queda nos custos destes sistemas, bem como o estabelecimento de algumas cadeias de suprimento locais, que tornaram esta solução mais acessível. Em relação aos SHS, o crescimento decorre da adoção de modelos inovadores de entrega e de financiamento adaptáveis aos diferentes contextos [18].

Em relação à queda nos custos da tecnologia fotovoltaica, isto está atrelado à queda nos preços dos módulos, ocorreu em relação a todas as diferentes tecnologias existentes (Figura 6). Os preços para todas as tecnologias em 2015 foram entre 75 % e 80 % inferiores aos valores de 2010, o que representa uma redução bem significativa. [19]. Em paralelo a isso, houve também queda no custo dos sistemas de armazenamento complementares e dos utensílios domésticos eficientes em termos energéticos (principalmente das lâmpadas LED). Isto tem tornado as soluções fotovoltaicas *off-grid* cada vez mais viáveis, com destaque para os sistemas isolados frente às micro-redes, pois envolvem investimentos menos elevados e não necessitam de certo nível de consumo para que sejam viáveis, o que os faz ideais para aplicação em comunidades rurais dispersas sem acesso à rede central, ou que possuem acesso mas este não é confiável [3].

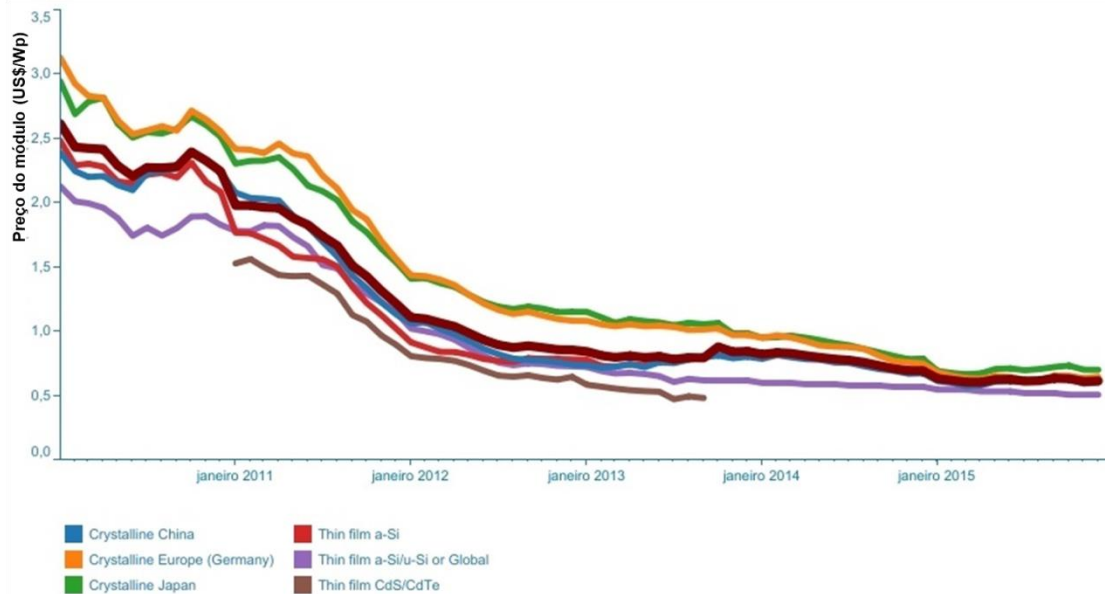


Figura 6: Evolução dos preços dos módulos fotovoltaicos (2010 – 2015); Fonte: [19].

Os sistemas fotovoltaicos apresentam algumas vantagens em relação aos demais sistemas *off-grid* de geração que fazem uso de fontes renováveis. Entre estas vantagens está o fato de apresentarem elevada escalabilidade, o que permite que sejam facilmente dimensionados de acordo com os consumos esperados nas unidades abastecidas, sendo ideais para sistemas de pequenas capacidades [3]. Além disso, a fonte solar é um recurso disponível, em diferentes níveis, em qualquer local do globo, enquanto que as demais fontes renováveis são dependentes de condições naturais específicas para que estejam disponíveis, o que faz dos sistemas *off-grid* fotovoltaicos os únicos que são uma opção possível para as áreas rurais independente da sua localização geográfica [4]. Por sua vez, os países em desenvolvimento, em geral, recebem elevados níveis de radiação solar, apresentando bom potencial para a aplicação de sistemas fotovoltaicos. Este é o caso da região Subsaariana do continente africano.

A disponibilidade do recurso solar nos países em desenvolvimento pode ser vista no mapa de radiação global horizontal (*Global Horizontal Irradiation – GHI*) onde são apresentadas as médias diárias e anuais ao redor do planeta (Figura 7). Os tons em cor de rosa, vermelho e laranja representam valores mais elevados de GHI, sendo possível perceber que os países em desenvolvimento, de forma geral, apresentam valores mais elevados de GHI, quando comparados aos países desenvolvidos, por se situarem, em sua maioria, mais próximos à Linha do Equador.

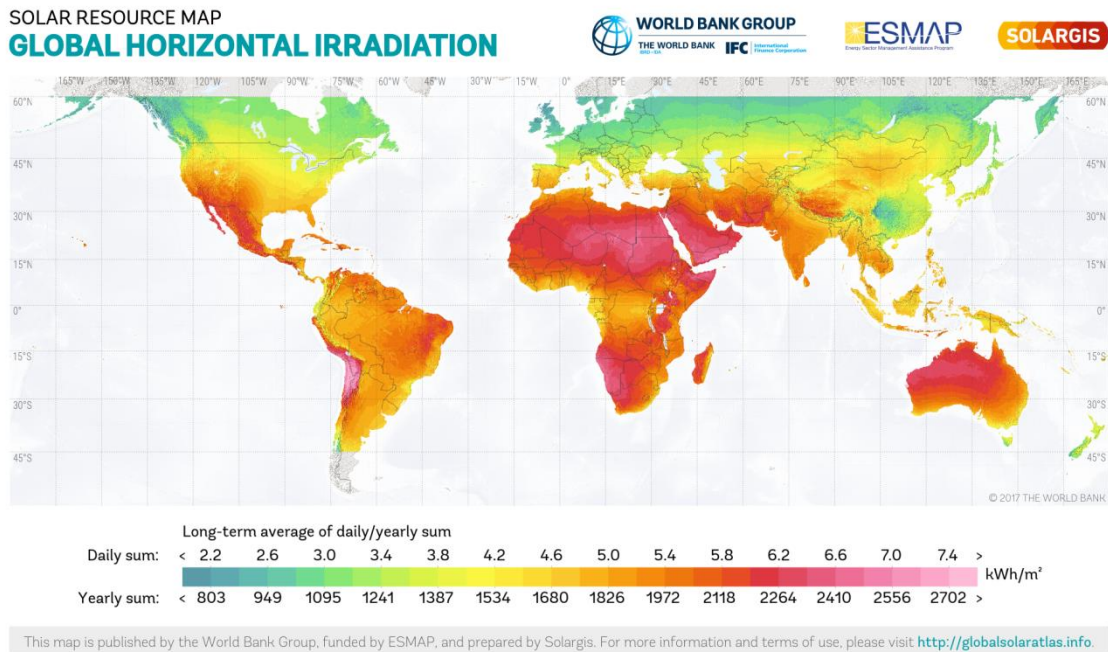


Figura 7: Mapa da radiação global horizontal; Fonte: [20].

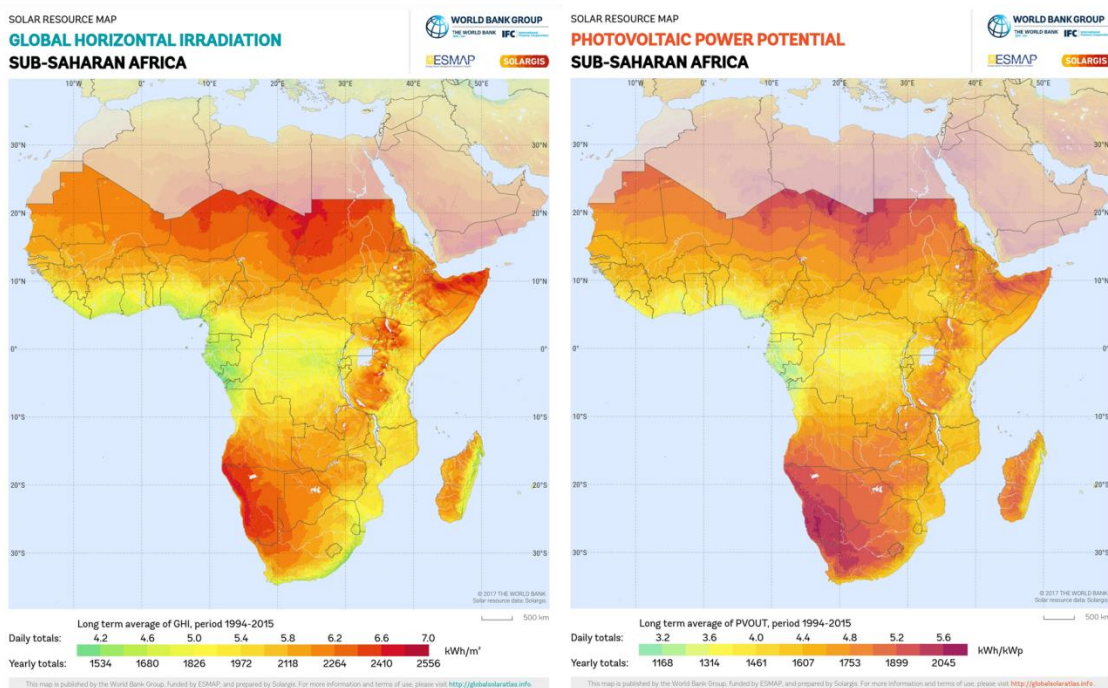


Figura 8: Mapa da radiação global horizontal e do potencial fotovoltaico na África Subsaariana Fonte: [20].

A África Subsaariana apresenta excelente potencial para a aplicação de sistemas fotovoltaicos, com médias anuais de GHI entre 1534 kWh/m² e 2556 kWh/m² (Figura 8). A título comparativo, na Alemanha, um dos países pioneiros na utilização da tecnologia fotovoltaica e onde estes sistemas apresentavam uma capacidade instalada de aproximadamente 43 GW no final de 2017, as médias anuais de GHI estão entre 1000 kWh/m² e 1200 kWh/m², ou seja, o valor do limite superior na Alemanha está abaixo do valor do limite inferior na África Subsaariana [20, 21]. Em relação ao potencial fotovoltaico, o cenário é semelhante, com as médias anuais na África Subsaariana entre

1168 kWh/KWp e 2045 kWh/kWp, enquanto que na Alemanha estes valores estão entre 900 kWh/kWp e 1150 kWh/kWp, novamente o valor máximo na Alemanha é inferior ao valor mínimo na África Subsaariana [20]. Esta comparação é interessante no sentido de comprovar o elevado potencial para geração fotovoltaica na região em questão.

Conforme referido anteriormente, para a promoção do acesso à energia elétrica a habitações situadas em áreas rurais, principalmente nas mais isoladas, a geração *off-grid* é a que se mostra mais adequada. No contexto da África Subsaariana, a opção pelas soluções que fazem uso do recurso solar faz total sentido, visto os dados apresentados acima que comprovam o excelente potencial para este tipo de geração na região. Para tal, são três as opções disponíveis, as micro-redes solares, os sistemas pico fotovoltaicos (PPVS) e os sistemas solares residenciais (SHS). As micro-redes solares são um tipo de CEMG, enquanto os outros dois são classificados como sistemas isolados, conforme apresentado anteriormente.

As micro-redes exigem investimentos mais elevados que os sistemas isolados, por vezes necessitam da ajuda de investidores internacionais e suporte governamental, requerem uma combinação de diversas unidades de geração locais com uma elevada complexidade tecnológica e se adequam bem aos contextos em que a dispersão da comunidade é baixa e que exista certo nível de consumo [22]. Não é o caso das áreas rurais sem acesso, onde os consumos das habitações, e mesmo os dos pequenos negócios, habitualmente, são reduzidos à iluminação no horário noturno e à alimentação de pequenos aparelhos eletrônicos, o que resulta em uma carga de base muito baixa para um sistema deste tipo, que contempla uma rede de distribuição.

O esquema apresentado na [Figura 9](#) apresenta os aspectos da área que se pretende eletrificar responsáveis por determinar a melhor solução em termos de custo. A extensão da rede principal é mais adequada para áreas urbanas, com populações consideráveis, elevada densidade demográfica, de onde a rede central não se encontra muito distante, apresentando um ambiente econômico mais consolidado, e um terreno menos complexo para se operar. As micro-redes, por sua vez, são adequadas para áreas rurais em que a distância à rede principal é elevada, a comunidade é grande e se encontra pouco dispersa, resultando em um nível de consumo que justifique os investimentos elevados atrelados a esta tecnologia.

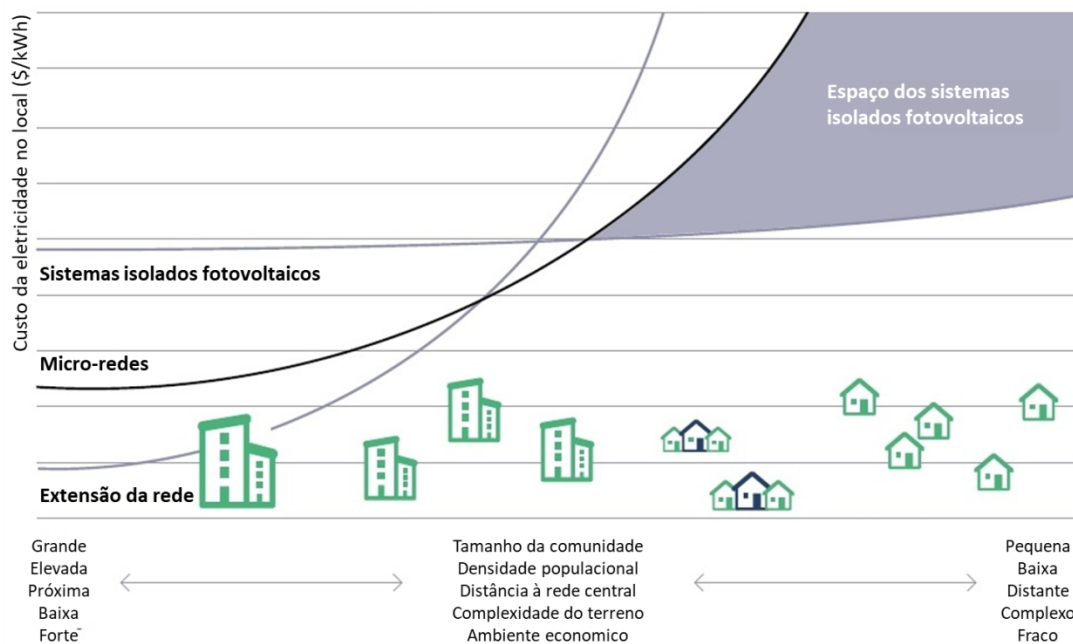


Figura 9: Custo da eletricidade por características do local; Fonte: [8].

No caso das áreas rurais da África Subsaariana, as comunidades costumam ser pequenas, é habitual uma baixa densidade populacional, as distâncias às redes principais costumam ser grandes, os terrenos complexos, o ambiente econômico subdesenvolvido, a demanda potencial por energia elétrica baixa e a capacidade de investimento bastante reduzida, o que faz os sistemas isolados levarem vantagem em relação às micro-redes, se mostrando mais adequados à região. Os PPVS e SHS, portanto, são as tecnologias consideradas no presente estudo. Estes sistemas são vistos como um primeiro passo em termos de eletrificação, oferecendo níveis de serviço baixos, porém adequados aos consumos das famílias rurais da região, que compõem o mercado BoP, as quais não possuem condições, sequer, de adquirir eletrodomésticos que justifiquem um nível de serviço mais elevado. Uma última vantagem dos sistemas isolados é a possibilidade da adoção de modelos de negócio menos complexos, envolvendo menos *stakeholders* e baseados apenas no setor privado.

Conforme definido na anteriormente, os sistemas isolados consistem em sistemas elétricos de pequena dimensão, que fazem uso de fontes renováveis (majoritariamente a solar), desconectados da rede principal, que não requerem nenhum sistema de distribuição e que fornecem eletricidade para aparelhos individuais, habitações ou pequenos usos produtivos [15]. Desta forma permitem o atendimento das necessidades básicas das habitações, como iluminação, carregamento de telefones móveis e alimentação de equipamentos domésticos elétricos e eletrônicos de consumos não muito elevados [3, 14, 15].

Os sistemas isolados geram eletricidade por meio da tecnologia fotovoltaica se dividem em produtos de dois tipos, os PPVS e os SHS. A principal diferença entre eles está relacionada às suas potências nominais, sendo os PPVS sistemas de menor capacidade (inferiores a 11 Wp) que os SHS (superiores a 11 Wp). No entanto, cada um destes produtos pode ser dividido em diferentes

segmentos, de acordo com a classificação proposta pela *Global Off-Grid Lighting Association* (GOGLA), apresentada na [Tabela 4](#).

Tabela 4: Segmentação dos sistemas isolados fotovoltaicos da GOGLA; Fonte: [17].

Categoria geral	Potência nominal Watt-pico (Wp)	Serviços fornecidos	Nível de serviço do MTF correspondente
PPVS < 11Wp	< 1,5Wp	Apenas uma lâmpada	Permite um nível de acesso de <i>Tier 1</i> parcial para uma pessoa/agregado familiar
	1,5 - 3Wp	Uma lâmpada e carregamento de telefone móvel	Permite um nível de acesso de <i>Tier 1</i> completo para pelo menos uma pessoa, e contribui o agregado familiar
	3 - 11Wp	Mais de uma lâmpada e carregamento de telefone móvel	Permite um nível de acesso de <i>Tier 1</i> completo para apenas uma pessoa até todo o agregado familiar
SHS ≥ 11Wp	11 - 21Wp	Nível de entrada dos SHS (3 a 4 lâmpadas, carregamento de telefones móveis, rádio, ventoinha, etc.)	Permite um nível de acesso de <i>Tier 1</i> completo para um agregado familiar
	21 - 50Wp	SHS de capacidade básica (como acima, acrescido de energia para TV, mais lâmpadas e eletrodomésticos)	Permite um nível de acesso de <i>Tier 2</i> completo para um agregado familiar, quando combinado com eletrodomésticos de elevada eficiência
	50 - 100 Wp	SHS de capacidade média (como acima, mas com maiores capacidades)	Permite um nível de acesso de <i>Tier 2</i> completo para um agregado familiar, mesmo com o uso de eletrodomésticos tradicionais
	≥ 100Wp	SHS de capacidade superior (como acima, mas com ainda maiores capacidades)	

A categorização dos PPVS é de acordo com os serviços que cada produto oferece, por isso o destaque em azul claro. As três categorias são: apenas uma lâmpada, uma lâmpada e carregamento de telefone móvel, e mais de uma lâmpada e carregamento de telefone móvel. Na [Tabela 4](#) também é possível ver a potência nominal habitualmente associada a cada uma destas categorias, bem como o nível de serviço do MTF relacionado. Em relação aos SHS a segmentação dos produtos é feita de acordo com seus níveis de potência, por isso destacados em azul mais claro na tabela. As categorias são quatro: 11-21 Wp, 21-50 Wp, 50-100 Wp, e superior a 100 Wp. Também sendo apresentados os serviços habitualmente oferecidos por cada categoria de produtos, e os níveis de serviço do MTF associados.

Sistemas pico fotovoltaicos (PPVS)

Os sistemas pico fotovoltaicos (PPVS) são sistemas, habitualmente, portáteis, para uso residencial, de capacidade bastante reduzida, inferior a 11 Wp, e utilizados principalmente para fornecer iluminação [3, 23, 24]. Os PPVS são equipados com um pequeno painel fotovoltaico (ocupa uma área inferior a 1m²) e uma bateria, podendo também apresentar um controlador de carga, de acordo com o tipo de bateria, importante para proteger a mesma dos danos causados por sobrecarga ou descarga excessiva [23, 24]. O painel pode ser separado ou fixo ao produto (como no caso das lanternas solares), enquanto que as baterias, por sua vez, podem estar integradas à lâmpada do sistema [24].

A eletricidade fornecida é em CC e podem alimentar desde uma única lâmpada LED (lanternas solares), nos sistemas de menor capacidade (a partir de 0,3 Wp), até um conjunto de várias lâmpadas, pequenos aparelhos como rádio, reproduzidor de músicas e carregar telefones móveis, nos

sistemas de maior capacidade [3, 23]. Atualmente existem produtos no mercado que permitem que o consumidor vá aumentando suas capacidades gradualmente [23].

A título ilustrativo, a [Figura 10](#) apresenta um exemplo de configuração deste tipo de sistema, com um módulo fotovoltaico, uma lâmpada, uma porta para carregamento de telefone móvel e uma para ligar um aparelho de baixo consumo, neste caso um rádio. Trata-se de um PPVS sem controlador de carga e no qual a bateria se encontra acoplada à lâmpada.

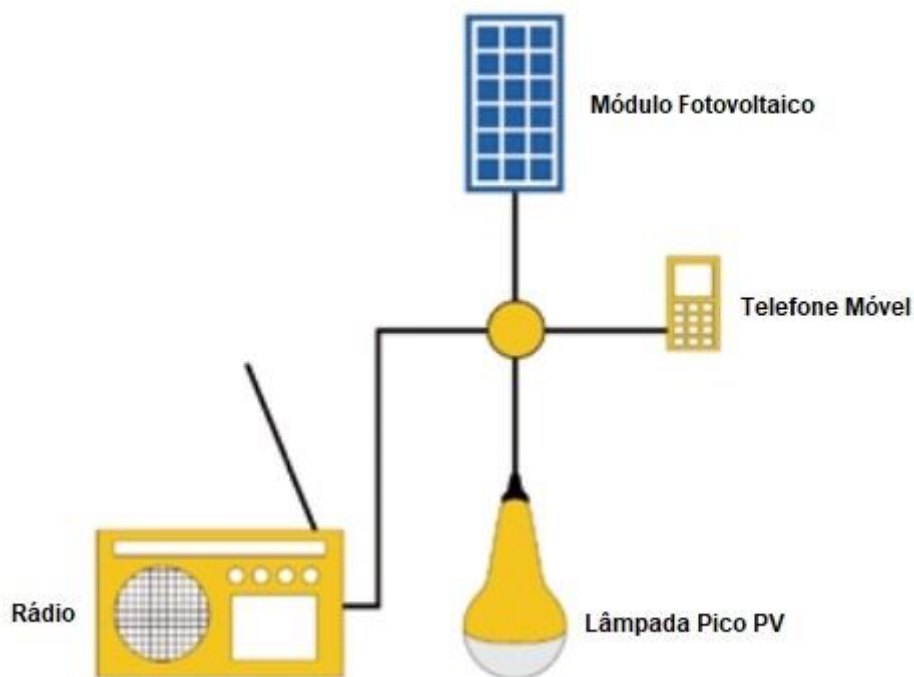


Figura 10: Configuração de PPVS; Fonte: [24].

O nível de serviço fornecido é baixo, conforme já mencionado, completando no máximo *Tier 1* do MTF [6, 17]. De acordo com a definição da IEA, por exemplo, o nível serviço fornecido pelos PPVS não é suficiente para que seja classificado como acesso, apesar de reconhecer os benefícios proporcionados àqueles que anteriormente não possuíam qualquer acesso à eletricidade [3].

Estes sistemas são uma alternativa de baixo custo para que as pessoas sem acesso à energia elétrica tenham uma melhoria imediata em termos de qualidade de vida, apresentando custos muito inferiores aos dos SHS [23]. Além do baixo custo do investimento, outras vantagens atreladas a este tipo de sistema são a facilidade de instalação, utilização amigável, necessidade de pouca manutenção, alto grau de expansividade e flexibilidade no uso [24].

Os PPVS mais simples, (que contemplam apenas uma lâmpada (até 1,5 Wp)), custam entre USD 7 e USD 11, os intermediários (uma lâmpada e carregamento de telefone móvel (entre 1,5 Wp e 3 Wp)), têm preços que vão dos USD 18 até USD 35, enquanto que os preços dos sistemas de maior capacidade, (múltiplas lâmpadas e carregamento de telefones móveis, podendo alimentar ainda

outros aparelhos (entre 3 Wp e 11 Wp)), variam entre USD 22 até USD 73 [6]. O pagamento feito no momento da aquisição do sistema substitui a compra recorrente de querosene, o que faz com que os gastos com iluminação caiam de aproximadamente 9 % para 2 % da renda familiar [3]. No entanto, o investimento inicial, apesar de baixo, ainda é uma barreira enfrentada pelas famílias mais pobres, que têm dificuldade em arcar com o mesmo [3].

Até 2016 foram comercializados mais de 90 milhões de sistemas deste tipo, sendo que apenas em 2016 foram mais de 26 milhões, representando 94 % de todos os produtos fotovoltaicos *off-grid* vendidos, com destaque para os mercados da África Subsaariana e do Sul da Ásia, que juntos representaram 81 % das vendas [6, 25]. Esta rápida evolução pode ser atribuída a algumas características destes sistemas como o investimento inicial mais baixo quando comparados aos outros tipos de sistemas que oferecem maior nível de serviço, a modularidade, que permite que seja ampliado à medida que o consumo de eletricidade evolua na habitação e a facilidade em termos de instalação e manutenção nas áreas rurais, quando comparados a outros sistemas mais complexos [3].

No entanto, recentemente os PPVS sofreram uma redução no número unidades vendidas anualmente, o que é visto como natural em um setor que superou em 2016, em termos cumulativos, 90 milhões de dispositivos vendidos. O que foi surpreendente foi o fato desta redução ter sido acentuada. De acordo com [6], isto pode ser atribuído a abalos em alguns dos principais mercados, bem como tendências estruturais do mercado *off-grid* fotovoltaico.

Dois importantes mercados para este produto na África, Quênia e Tanzânia, sofreram com uma seca intensa, que acabou por afetar as receitas dos consumidores, restringindo ainda mais suas capacidades de investimento. Na Nigéria, por sua vez, a crise econômica desvalorizou a moeda local, e conseqüentemente reduziu o poder de compra da população. Estes três países, em conjunto com a Índia, representaram dois terços dos PPVS comercializados em 2016 [6].

Em relação às tendências estruturais do mercado, houve uma exaustão do segmento mais fácil de ser acessado nos principais mercados para os sistemas isolados fotovoltaicos. Muitas empresas do setor, devido à dificuldade na distribuição de larga escala para mercados situados em áreas rurais isoladas, direcionaram suas atenções aos potenciais consumidores situados mais próximos aos centros urbanos, os quais, habitualmente, também possuem maiores consumos. A indústria, portanto, não está saturada, mas não é possível manter o mesmo nível de crescimento focando nos segmentos de mercado mais fáceis de atingir, sendo necessárias inovações e investimentos para que o crescimento seja mantido e os potenciais consumidores, que vivem em regiões mais remotas, atendidos [6].

Outro ponto foi o crescimento das vendas do outro tipo de sistema isolado fotovoltaico, o SHS, que é uma tendência, e contribui para a queda nas vendas de PPVS. O principal responsável por este crescimento nas vendas foi o surgimento de um novo modelo de financiamento, chamando *Pay As You Go* (PAYG), baseado em transações móveis, que será abordado mais adiante. Apesar do PAYG

também ser utilizados para os PPVS com maiores capacidades (3 Wp a 11 Wp), fez com que os SHS se tornassem mais acessíveis, enquanto que oferecem um nível de serviço superior aos PPVS [6].

Por fim, o setor dos PPVS tem passado por um processo de “comoditização”, resultado do amadurecimento da indústria. A diferenciação entre os concorrentes passou a estar restrita, praticamente, aos preços que praticam. Como resultado, tem sido observada a saída de empresas do setor em diversos mercados, principalmente aquelas que estão afiliadas¹ à iniciativa *Lighting Global*, do *World Bank*, que habitualmente têm margens de preço menos flexíveis [6].

Sistemas solares residenciais (SHS)

Os sistemas solares residenciais (SHS) são sistemas fotovoltaicos para abastecer habitações, de maior capacidade que os PPVS, superior a 11 Wp. Habitualmente são compostos por um painel fotovoltaico, uma bateria e um controlador de carga, o componente central do sistema, responsável por gerir a energia gerada e proteger a bateria dos danos causados por sobrecarga ou descarga excessiva da mesma. Diferentemente dos PPVS, não são portáteis [17, 24]. Os SHS clássicos fornecem eletricidade em CC, o que torna estes sistemas muito eficientes, por não haverem perdas com conversão [24]. Os SHS de maior capacidade também podem fornecer eletricidade em CA, por meio da presença de um inversor. No entanto, as cargas em CA costumam ser ineficientes e superdimensionadas e, dessa forma, podem causar impacto na capacidade de armazenamento da bateria em longo prazo [24].

A título ilustrativo, a [Figura 11](#) apresenta um exemplo de configuração de um SHS em CC, enquanto a [Figura 12](#) um exemplo de configuração de um SHS em CA, com a presença do inversor, ausente no sistema em CC.

¹ As empresas afiliadas são as que estão associadas ao programa *Lighting Global*, as que têm produtos que atendem ao padrão de qualidade *Lighting Global*, ou as empresas membras da GOGLA.

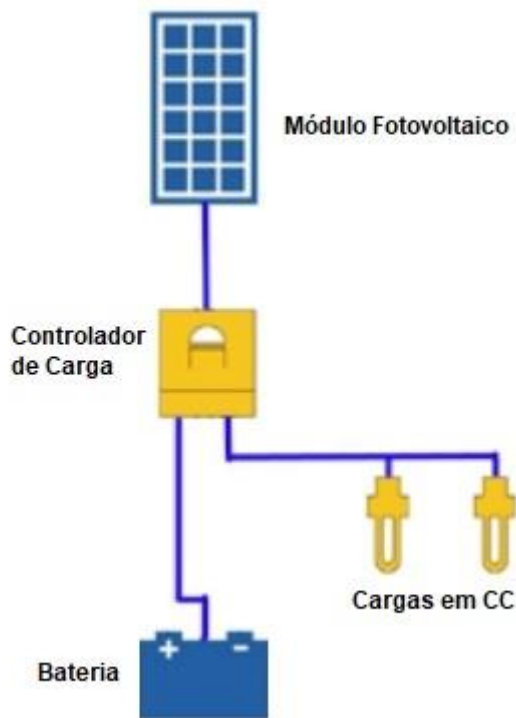


Figura 11: Configuração de SHS em CC; Fonte: [24].

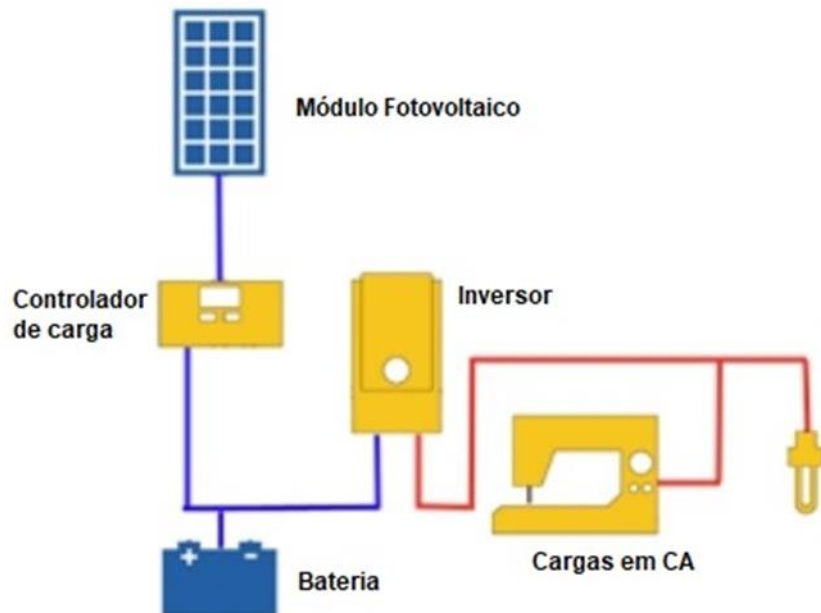


Figura 12: Configuração de SHS em CA; Fonte: [24].

Em relação ao nível de serviço podem contemplar completamente desde a *Tier 1* até a *Tier 2* do MTF [15, 17, 18]. Apresentam, portanto um nível de serviço superior aos PPVS, permitindo aos usuários uma maior gama de serviços. Os sistemas de menor capacidade fornecem energia para alimentar de

três a quatro lâmpadas, um rádio, uma ventoinha e carregar telefones móveis, enquanto os de maior capacidade são capazes de alimentar também televisores e até frigoríficos eficientes [6, 17].

Apresentam níveis de serviço mais elevados que os PPVS, no entanto também apresentam preços mais elevados, que variam de USD 125 até USD 800 [6]. Isto os torna inacessíveis à quase totalidade dos consumidores das áreas rurais isoladas, os quais fazem parte do mercado BoP, caso não haja um modelo de financiamento muito bem elaborado.

As vendas deste tipo de sistema cresceram rapidamente desde 2014, representando atualmente pouco menos de 5 % dos sistemas isolados fotovoltaicos comercializados anualmente, enquanto representam entre 20 % e 30 % das receitas do setor. O aumento na comercialização destes dispositivos nos últimos três anos está relacionado ao surgimento do modelo de financiamento PAYG e é esperado que nos próximos três a cinco anos superem os PPVS em termos de receitas [6, 17].

Até o momento, este crescimento tem sido restrito aos países que possuem um ambiente consolidado de transações móveis, com destaque para países da África Oriental. Este fato sinaliza tanto o elevado potencial de crescimento no futuro, como também os desafios de se operar com sucesso em diferentes ambientes regulatórios. Diversos países da África Ocidental e Central já demonstram um crescimento em termos de transações móveis [6].

Cenário atual

Tanto os PPVS como os SHS desempenham papéis fundamentais no âmbito da eletrificação rural, no entanto, estão atrelados a uma série de desafios. Em termos de custo por kWh de energia elétrica gerada costumam ser mais caros que a extensão da rede, representando um custo considerável para os consumidores que fazem parte do mercado BoP. Também envolvem desafios em termos de gestão e manutenção dos sistemas, e podem necessitar de suporte em termos de capacitação de mão-de-obra local e subsídios para estimular sua adoção [3]. Além disso, fornecem uma quantidade limitada de energia, o que torna difícil a entrega de uma diversa gama de serviços, sendo para isso necessários investimentos adicionais [3].

O crescimento no setor, como um todo, a partir de 2010 tem sido impressionante. De acordo com [6], de 2010 a 2017 foram comercializados mais de 130 milhões de dispositivos de empresas afiliadas, um crescimento de aproximadamente 60 %, tendo o valor total das vendas superado os USD 3,9 bilhões. Houve um forte ingresso no mercado e engajamento do setor privado, com um aumento do conjunto de fabricantes e distribuidores. Aliado a isso, a partir de 2014 ocorreu um aumento do interesse e comprometimento por parte dos investidores, tendo sido investidos mais de USD 500 milhões no setor. As instituições de desenvolvimento, por sua vez, têm direcionado recursos significativos para o setor, como exemplo disso, o *World Bank* possui parcerias com mais de 25 países, atualmente.

Ainda de acordo com [6], os resultados deste crescimento são diversos, vão desde uma economia na casa dos bilhões de dólares por parte das habitações que substituíram o querosene e outros

combustíveis convencionais por sistemas isolados fotovoltaicos, a redução de milhões de toneladas de emissão de gases do efeito estufa, um número estimado de 1,9 milhões de pessoas que passaram a utilizar estes sistemas como fontes de energia para atividades geradoras de recursos, até as melhorias em termos de saúde reportadas por 45 % dos usuários dos sistemas isolados fotovoltaicos que antes faziam uso do querosene.

2.5. Mercado de Base da Pirâmide (BoP)

Apesar dos sistemas isolados fotovoltaicos serem alternativas mais acessíveis do ponto de vista econômico que outras soluções, o grande desafio na comercialização dos mesmos, para eletrificação de áreas rurais isoladas, está no fato de que grande parte dos indivíduos que habitam estes locais faz parte do chamado mercado BoP [1], o que impõe diversas restrições adicionais aos empreendedores que pretendem oferecer este tipo de solução nestas áreas. O sucesso das iniciativas de eletrificação nestes mercados não está relacionado apenas à escolha e adaptação da tecnologia ao uso que se pretende, mas também ao desenvolvimento e adoção de modelos de negócio inovadores, que tornem possível o estabelecimento de negócios rentáveis para as empresas nestes mercados [26], ao mesmo tempo em que tornem os sistemas acessíveis do ponto de vista econômico a estes consumidores, uma vez que, os custos iniciais destes sistemas são o principal fator limitador à disseminação dos mesmos, habitualmente sendo superiores ao que os consumidores BoP são capazes de pagar [3].

O conceito de mercado de base de pirâmide (*Base of the Pyramid* – BoP) foi inicialmente introduzido por [27]. No entanto, não existe definição única para tal, e diferentes pesquisadores utilizam definições variadas. A definição mais básica, introduzida por pelos criadores do conceito, o define como o mercado composto por pessoas que recebem menos de USD 2 por dia, em termos de paridade do poder de compra. No entanto, uma definição mais compreensiva, a qual é adotada também no presente estudo, diz que ele é composto por indivíduos que recebem menos de USD 8 por dia, em paridade do poder de compra [28]. Desta forma, o mercado BoP inclui também indivíduos que estão um pouco acima da linha da pobreza (aqueles que vivem com menos de um dólar por dia).

Originalmente, o termo utilizado era *Bottom of the Pyramid*, posteriormente substituído por *Base of the Pyramid*, considerado um termo mais neutro. Porém, ambos continuam a ser encontrados na literatura e representam exatamente o mesmo. A ideia básica que rege este conceito é a de que ao comercializar produtos e serviços direcionados a este mercado, as empresas ao mesmo tempo em que podem gerar lucros contribuem para a redução da pobreza [29]. Este mercado tem um valor estimado em USD 5 trilhões em PPC [30], o que contribui para que seja visto como um interessante mercado potencial.

Os consumidores que compõem este mercado (daqui em diante tratados por consumidores BoP) se encontram, habitualmente, nos países menos desenvolvidos ou nas áreas rurais dos países em desenvolvimento, sendo fonte significativa de oportunidades para os empreendedores [27, 31]. A maior parte deles vive em áreas rurais, principalmente na África, Ásia, América Latina, Caribe e Leste

Europeu [1]. O fato de abranger consumidores de regiões tão diversas, com diferenças culturais por vezes acentuadas, faz com que exista uma pluralidade de contextos dentro deste tipo de mercado e que os consumidores BoP sejam muito heterogêneos [32]. Desta forma, daqui em diante, no presente estudo, este mercado será abordado no plural, como os mercados BoP, pois apesar de possuírem níveis de renda semelhantes, os indivíduos que compõem estes mercados podem apresentar perfis bastante distintos de acordo com as suas localizações geográficas.

As áreas rurais dos países em desenvolvimento costumam ser pouco povoadas, isoladas geograficamente e de difícil acesso [33]. As más condições das estradas e as grandes distâncias dos centros urbanos contribuem para o difícil acesso, impossibilitando que estes consumidores sejam incluídos nos mercados nacionais ou regionais [10]. As principais fontes de receitas nestes mercados são a pastorícia, a pecuária, a agricultura, a pesca, a silvicultura e o turismo [34].

O *World Bank*, em sua *Global Consumption Database*, estabelece quatro segmentos de consumo, de acordo com as rendas per capita (Tabela 5). Comparando a definição de mercado BoP adotada neste estudo, de que é composto pelos indivíduos que têm rendas diárias inferiores a USD 8 com os seguimentos de consumo definidos pelo *World Bank*, é possível dizer que, com uma pequena aproximação, os seguimentos ‘muito baixo’ e ‘baixo’ representam os mercados BoP.

Tabela 5: Segmentos de consumo do *World Bank*; Fonte: [35].

Segmentos de consumo	USD per capita/dia
Muito baixo	abaixo de 2,97
Baixo	de 2,97 a 8,44
Médio	de 8,44 a 23,03
Elevado	acima de 23,03

Ainda de acordo com dados da *Global Consumption Database* do *World Bank*, as áreas rurais da região da África Subsaariana compreendiam, em 2010, quase que exclusivamente consumidores inseridos nos segmentos de consumo ‘muito baixo’ e ‘baixo’, definidos acima, e conseqüentemente membros dos mercados BoP. Estes consumidores correspondiam a pouco menos de 98 % do total de indivíduos que habitam estas áreas (Anexo 1), não à toa que dos vinte países com pior IDH, dezenove estão situados na região [36].

Desta forma, o desafio da eletrificação rural na África Subsaariana não pode ser separado do desafio que é atuar nos mercados BoP. Neste sentido, na sequência serão abordados aspectos desafiadores para a atuação nestes mercados, primeiro em relação ao perfil destes consumidores e posteriormente em relação ao ambiente de negócios encontrado pelas empresas nestes mercados.

Consumidores BoP

Os consumidores BoP ao mesmo tempo que convivem com a falta de acesso a produtos e serviços a valores acessíveis também, muitas das vezes, possuem rendimentos que não os permite pagar pelos mesmos [37], além de, em geral, não terem acesso a serviços de financeiros modernos [38]. Dentre os serviços aos quais não têm acesso estão os serviços básicos, como o acesso à energia elétrica. Isto interfere nos seus hábitos de consumo, os torna vulneráveis aos riscos de desenvolverem problemas relacionados à saúde, compromete o desenvolvimento pleno da educação, restringe suas possibilidades de geração de recursos e também restringe as oportunidades de negócios para as empresas que atuam ou pretendem atuar nestes mercados, sendo uma importante barreira para as mesmas [12, 37].

Do ponto de vista corporativo, atuar nestes mercados é um grande desafio devido aos elevados graus de incerteza que apresentam [12, 29]. Esta incerteza pode ser relacionada a diversas características comuns aos consumidores BoP, como o fato de possuírem baixa capacidade de pagamento, uma vez que grande parte deles exerce atividades sazonais, está envolvida no mercado informal e recebe seus ordenados em base diária, tornando difícil que consigam acumular poupança e, desta forma, têm suas possibilidades de realizarem investimentos mais elevados reduzidas [5, 39]. Esta falta de fluxos de receitas regulares, aliada à ausência de registros de crédito e à incapacidade de satisfazerem os requisitos para empréstimos limitam o acesso aos canais tradicionais de financiamento, o que acaba por reduzir suas capacidades de pagarem por serviços básicos e tradicionais [41, 42].

Como consequência destas restrições de receita e financiamento, as demandas nestes mercados tendem a serem baixas, tanto em relação a bens como a serviços [5]. Lidar com o poder de compra limitado dos consumidores e tentar reduzir ao máximo os custos atrelados aos produtos ou serviços oferecidos são os principais desafios para as empresas que atuam nos mercados BoP [44].

O fato dos mercados BoP estarem espalhados por diferentes regiões do globo, faz com que apresentem uma grande diversidade linguística e cultural, o que juntamente com o fato de, em geral, os consumidores BoP apresentarem baixos níveis de escolaridade, dificulta a comunicação com os mesmos [37].

Em relação aos hábitos de consumo, quanto menor o nível de renda de um consumidor, maior é o percentual desta renda que ele gasta com alimentação e energia [12]. Em relação à energia, em muitos casos estes gastos estão relacionados à utilização de fontes de energia caras e de má qualidade. Gastam, por exemplo, com querosene e velas para iluminação, com o carregamento de telefones móveis em estações ou quiosques que cobram por este serviço e com pilhas para alimentar aparelhos como rádios [3].

Os consumidores BoP tendem a ser extremamente conscientes em relação ao valor de um produto ou serviço [27]. Contribui para isto o fato de possuírem rendimentos baixos, o que faz com que as suas decisões de compra sejam mais complexas e passem por uma análise mais minuciosa [45],

sendo necessário que tenham assegurado que os produtos e serviços que pretendem adquirir sejam confiáveis e que valha a pena o investimento dos seus recursos limitados [27]. No caso da eletricidade, por exemplo, há quem defenda que até certo ponto estes consumidores valorizam mais a confiabilidade do sistema do que o seu custo e tendem até a optar por alternativas mais caras caso sejam mais confiáveis [46]. No entanto, apesar de gastarem mais com necessidades básicas, também se importam e utilizam parte das suas receitas com necessidades superiores, como comunicação e aquisição de novos conhecimentos [39].

Os telefones móveis são exemplo disto, sendo observado um crescimento exponencial no uso destes aparelhos nos mercados BoP. Na África, por exemplo, o número de novas assinaturas de serviços de telefonia móvel aumentou 30 % ao ano nos últimos dez anos [1]. A cobertura da rede de telefonia móvel inclusive já é superior à cobertura da rede elétrica, o que gera demanda por soluções *off-grid* para o carregamento destes aparelhos [26]. Estes aparelhos têm se tornado ferramentas de comunicação e de transações financeiras para os consumidores BoP [10]. Além disso, se tornaram um dos principais utensílios de entretenimento para estas pessoas, juntamente com as televisões e rádios, que também necessitam do acesso à eletricidade (no caso dos rádios existem também os alimentados por pilhas). Com este uso adicional, os telefones acabam por necessitar serem carregados mais vezes [26]. De acordo com [1], muitos têm associado o potencial de crescimento do mercado sistemas isolados fotovoltaicos à crescente utilização destes aparelhos.

Além do carregamento dos telefones móveis, os consumidores BoP têm mais três necessidades principais que podem ser atendidas através do acesso à energia elétrica. São elas a iluminação, o entretenimento e os usos em atividades geradoras de receitas [26].

Entre estas necessidades, a iluminação é a principal, uma vez que torna possível a estes indivíduos estenderem seus horários produtivos, em relação ao trabalho, às atividades domésticas e aos estudos. Além disso, a alternativa mais utilizada pelos consumidores BoP sem acesso à eletricidade são as lamparinas a querosene [26], que representam riscos à saúde e promovem danos à atmosfera pela liberação de CO₂. A inalação da fumaça tóxica liberada no interior das habitações durante o uso deste tipo de iluminação está associada a riscos à saúde dos utilizadores, como doenças crônicas respiratórias e visuais, além dos riscos de queimaduras incêndios [6, 26].

De acordo com [26], existem seis aspectos importantes para os consumidores BoP em relação aos sistemas isolados fotovoltaicos, a existência de múltiplas opções de recarga, a possibilidade de regulação da intensidade da iluminação e do acompanhamento do nível de carga da bateria, a facilidade na montagem (caso seja necessária), a durabilidade do sistema, ter um design modular e permitir o carregamento de telefones móveis. Portanto, não é só a qualidade e a confiabilidade do sistema que importam, mas também o fato de conter recursos adequados às características do consumidor. Neste sentido, de acordo com [47], a existência de uma porta para carregamento de telefones móveis é um recurso quase obrigatório para os consumidores BoP atualmente.

Por fim, estes consumidores costumam ver a eletrificação *on-grid* como a opção ideal, devido a argumentos racionais como o preço mais baixo do kWh e o fato de eletricidade fornecida ser ilimitada,

mas também devido a efeitos psicológicos como o status social [4]. Por outro lado, quando obtêm o acesso à rede, continuam a consumir uma quantidade baixa de energia, que poderia ser atendida por um sistema isolado fotovoltaico.

Ambiente de negócios BoP

Em relação ao ambiente encontrado nestes mercados para o estabelecimento de negócios há uma série de desafios. Os contextos institucionais destes mercados costumam fornecer pouco suporte para atividades econômicas [48] e as empresas que atuam ou pretendem atuar nos mesmos devem superar diversos desafios como a ausência de estruturas formais e a inexistência mercados de capitais formais, a presença de mão-de-obra desqualificada, os vazios institucionais em termos de regulamentações e contratações, infraestrutura pública pouco desenvolvida, mecanismos de governança informais [1, 49] e pequena ou inexistente proteção aos direitos de propriedade [50].

A confiança em instituições informais é uma característica recorrente destes mercados [1], que costumam conviver com a falta de organizações e instituições comerciais, o que torna importante para as empresas o estabelecimento de redes de parceiros (públicos, privados e entidades locais), para construir confiança e superar as dificuldades impostas pela falta de estabilidade institucional [51, 52]. Quanto mais afastada a comunidade em que se pretende atuar, maior é a importância de se estabelecer parcerias locais [1].

No intuito de amenizar os desafios citados acima, as empresas devem buscar interagir de forma próxima aos consumidores [53] e desenvolver capacidades nativas embasadas nas condições e recursos disponíveis no ambiente BoP em questão [29]. As capacidades nativas se referem à habilidade de se integrar nas rotinas locais [54], estabelecer relações com parceiros não habituais [29], levar em consideração *stakeholders* não convencionais [53] e se basear nos recursos disponíveis e já existentes no local [29]. Além disso, a necessidade de interações face a face, de transações em espécie e a falta de infraestrutura de transporte, principalmente quando se tratam de áreas rurais mais afastadas e menos populosas, costumam elevar os custos de distribuição e dos serviços de manutenção [55].

2.6. Modelos de entrega para sistemas isolados fotovoltaicos

De uns tempos para cá, o setor privado passou a enxergar os consumidores BoP como potenciais clientes para comercialização de sistemas *off-grid* de geração [56]. Na África Subsaariana, por exemplo, apesar dos consumidores terem receitas reduzidas, eles direcionam cerca de 5 % das mesmas para serviços básicos de energia [35]. Muitas empresas do setor conseguiram então perceber o que [27] defendia quando introduziu o conceito de mercado BoP, que estes consumidores, apesar de terem recursos limitados, quando somados representam um mercado significativo. As empresas começaram então a investir no desenvolvimento modelos no âmbito da expansão do fornecimento *off-grid* nestes mercados baseados em sistemas isolados fotovoltaicos, sendo alguns modelos mais promissores baseados em projetos do tipo *for-profit* [57]. Em um contexto como o dos

países Subsaarianos, em que os governos costumam ter recursos limitados, a inclusão do setor privado na promoção da eletrificação rural *off-grid* se faz importante.

Para o fornecimento e comercialização dos sistemas isolados fotovoltaicos nestes mercados, as empresas adotam diversos modelos de entrega. [58] por meio da análise dos projetos baseados nos sistemas isolados fotovoltaicos presentes no portfólio do *Energy and Environment Partnership*² (EEP), encontrou quatro modelos de entrega que apresentaram resultados satisfatórios. Estes modelos foram adotados por empresas que oferecem PPVS e SHS na África Oriental, sub-região da África Subsaariana em que o mercado *off-grid* fotovoltaico se encontra mais consolidado, tendo representado 69 % do total das vendas de produtos afiliados à iniciativa *Lighting Global* na região em 2017 [17].

Modelo de varejo ou em dinheiro (*Retail/Cash Model*)

Trata-se do modelo de entrega utilizado há mais tempo na região. O consumidor adquire o sistema por meio de pagamento à vista, em dinheiro, e se torna proprietário do mesmo. Existem dois tipos diferentes deste modelo, “*cash & carry*” e “*cash sales*” No primeiro o consumidor é responsável pela instalação, operação e manutenção do sistema, enquanto no segundo, quem o vendeu é responsável pela instalação, o que eleva o custo do sistema [59].

Este modelo é implantado por meio de uma cadeia de suprimentos que habitualmente compreende um importador/fornecedor, distribuidores, vendedores varejistas e uma equipe de vendas no campo [58, 60]. Neste sistema se faz necessária uma rede nacional de distribuidores e lojas ou vendedores varejistas, para que os produtos estejam facilmente acessíveis aos consumidores em todo o país. As transações ao longo desta cadeia de suprimentos são baseadas em dinheiro, existindo alguns fornecedores que oferecem créditos de curto prazo aos seus distribuidores, de até 30 dias [58].

Modelo Pay As You Go (PAYG)

O modelo PAYG é o que surgiu mais recentemente, se trata de um modelo de financiamento baseado em transações por *mobile-money*. Este tipo de transação é cada vez mais comum na África Subsaariana, e é um serviço oferecido pelas companhias de telefonia móvel por meio da tecnologia GMS. O consumidor faz um depósito de uma quantia em dinheiro junto à companhia, e este valor é convertido em *mobile-money*, e assim ele pode realizar transferências através do seu aparelho de telefone móvel via SMS.

Neste modelo o fornecedor do sistema é também responsável por oferecer o financiamento aos consumidores. É realizado um pagamento inicial, e o restante é pago parcelas por meio de transferências feitas ao fornecedor, que podem ser em base diária, semanal ou mensal, de acordo com a preferência do consumidor. O sistema instalado na habitação possui acoplado um mecanismo

² Fundo composto por múltiplos doadores que promove ajuda inicial e financiamento catalítico para projetos de energia limpa, tecnologias e modelos de negócio inovadores

de controle e monitoramento remoto, por meio do qual o fornecedor é capaz de bloquear seu funcionamento caso haja inadimplência do consumidor, e de desbloqueá-lo quando este põe os pagamentos em dia, e que ainda serve para a coleta de dados por parte do fornecedor acerca dos seus clientes. Os planos de pagamentos habitualmente variam entre 12 e 36 meses, porém há também planos mais longos [61]. Ao final desse período, o sistema passa a ser de posse do consumidor.

Do ponto de vista dos fornecedores, este modelo facilitou suas atividades, pois reduziu os custos e a complexidade da cadeia de suprimentos. Em termos físicos, basta a existência de armazéns onde os vendedores ou os técnicos de instalação e manutenção vão buscar os produtos ou peças que necessitam [58]. É habitual o estabelecimento de parcerias com revendedores com alcance nacional, para disseminar mais facilmente os produtos [60].

Modelo de financiamento do consumidor (via instituições financeiras)

Este modelo se baseia no estabelecimento de uma parceria entre o fornecedor do sistema isolado fotovoltaico e uma instituição financeira, que pode ser um banco comercial, uma instituição de microfinanciamento, cooperativas de poupança e créditos, entre outras [58]. Este modelo pode ser dividido em duas partes, a tecnológica e a financeira. A primeira envolve o fornecedor do sistema, responsável pelo seu fornecimento, instalação, operação e manutenção, enquanto a parte financeira fica a cargo da instituição parceira, que fornece crédito ao consumidor, e fica responsável por coletar seus pagamentos [59].

Desta forma, o fornecedor é pago pela entrega e instalação do sistema pela instituição financeira, e não fica com recursos seus recursos comprometidos devido ao oferecimento de crédito. Além disso, o risco de inadimplência é reduzido, uma vez que as instituições financeiras têm os históricos dos seus clientes e experiência em analisar pedidos de crédito por meio de diversos instrumentos. Desta forma, conseguem oferecer financiamentos com menores taxas de juros e em prazos mais extensos [58]. Ao pagar o empréstimo, o consumidor se torna proprietário do sistema.

Modelo Fee-For-Service

Não é um modelo recente, tendo sido utilizado na África do Sul em 1999 [62]. Diferente dos demais modelos apresentados, neste o consumidor não paga pelo produto, mas pelo serviço, não obtendo a propriedade do sistema em momento algum. O consumidor habitualmente paga ao fornecedor um valor pela instalação e posteriormente tem que realizar o pagamento de uma taxa mensal para usufruir do sistema, na qual já estão incluídos os custos com manutenção [62].

O fornecedor, portanto, é responsável pela instalação, operação, manutenção e substituição do sistema, caso seja necessária, além da realização de visitas técnicas periódicas para checar se o sistema está operando adequadamente e da substituição do sistema caso este pare de funcionar. Caso haja inadimplência do consumidor, o sistema é retirado da sua habitação.

Canais de distribuição

A opção por um dos modelos de entrega apresentados acima, não necessariamente determina o tipo de canal de distribuição a ser utilizado pela empresa fornecedora do sistema. Os canais de distribuição são importantes para que as empresas maximizem o alcance dos seus produtos, ou serviços no caso do modelo *fee-for-service*. Apesar de existirem diversos modelos diferentes quando se tratam de canais de distribuição, [8] apresentou os cinco que prevalecem na África Subsaariana para o fornecimento de sistemas isolados fotovoltaicos.

No primeiro deles, a empresa possui seu próprio canal de distribuição. Os produtos vão da fábrica para depósitos da empresa, onde seus vendedores contratados, os quais comercializam apenas os produtos da empresa, os vão buscar. Outra metodologia de distribuição é a que a empresa vende seus produtos através de redes de distribuidores existentes, que podem ou não ser especializados nestes produtos. Habitualmente apresenta uma hierarquia em termos de distribuição composta por pelo menos dois níveis, os distribuidores e os revendedores.

O terceiro tipo de canais de distribuição é baseado em parcerias institucionais. A empresa fornecedora estabelece uma parceria com alguma instituição relevante no local em que pretende comercializar seus produtos e oferece seus produtos através das mesmas, se aproveitando da clientela destas instituições, que podem ser, por exemplo: instituições financeiras, empresas de telefonia móvel ou ONG locais. No modelo de franquias, a empresa oferece pacotes de *franchising* para empreendedores locais que pretendem se tornar revendedores, estes pacotes incluem formação, apoio em *marketing* e financiamento.

O último modelo se aplica apenas ao modelo de entrega *fee-for-service*, em que a empresa recruta empreendedores locais que ficam responsáveis pelo aluguel dos seus produtos aos consumidores. Os fornecedores dos sistemas habitualmente optam pela utilização de mais de um tipo de canal de distribuição ao mesmo tempo, para alcançarem um maior número de clientes [8].

3. REFLEXÃO ACERCA DOS MODELOS

Metodologia

Neste capítulo será feita uma reflexão acerca dos quatro modelos de entrega apresentados no capítulo anterior levando em consideração os desafios encontrados pelo setor privado na atuação em mercados BoP como os encontrados na África Subsaariana, sobre os quais também se discorreu. O objetivo desta reflexão é analisar a adequação destes modelos às diferentes categorias de PPVS e SHS referidas, bem como as forças e fraquezas de cada um deles no contexto encontrado na região, juntamente com a definição das estratégias de distribuição que melhor se adequam ao modelo de entrega em questão. Feita esta reflexão, são respondidas as duas questões de investigação que regem este estudo: **“A escolha do modelo de entrega determina o sucesso de um empreendimento que pretende oferecer sistemas isolados fotovoltaicos em áreas rurais da África Subsaariana?”** e **“Qual destes modelos de entrega se mostra mais promissor?”**.

Modelo de varejo ou em dinheiro (*Retail/Cash Model*)

O modelo de varejo não oferece opção de financiamento, sendo a aquisição do sistema feita por meio de pagamento à vista. Do ponto de vista da empresa fornecedora da tecnologia, isso pode ser visto como um ponto positivo, uma vez que não tem parte do seu capital imobilizado em financiamentos oferecidos aos consumidores, e conseqüentemente fica exposta a um risco financeiro muito reduzido [59]. No entanto, para os consumidores BoP, como os encontrados nas áreas rurais da África Subsaariana, efetuar o pagamento do valor total do sistema à vista se apresenta como uma dificuldade, visto seus recursos limitados. Dessa forma, este modelo se mostra adequado apenas para sistemas com custos mais baixos, apresentando um potencial de mercado baixo.

Este modelo, portanto, se mostra adequado à comercialização de PPVS de menores potências, que apresentam preços mais baixos e por isso estão ao alcance dos consumidores em questão, com receitas diárias abaixo de USD 8. Isto explica o fato de ser o modelo mais utilizado na comercialização das categorias de PPVS que contemplam apenas uma lâmpada (inferior a 1,5 Wp) e os que oferecem uma lâmpada e a opção de carregamento de telefones móveis (entre 1,5 Wp e 3 Wp) [58]. A primeira categoria, conforme explicitado, tem preços entre USD 7 e USD 11, enquanto a segunda entre USD 18 e USD 35, o que faz com que o modelo seja mais eficaz para a primeira categoria [58], visto que os consumidores BoP têm dificuldade em acumular poupanças.

Os sistemas de apenas uma lâmpada, os mais vendidos através deste modelo, costumam ter vida útil de 2 a 3 anos [58]. Isto contribui para a sustentabilidade do negócio, uma vez que ao fim deste período o consumidor acaba por adquirir uma nova lâmpada solar e, caso o produto tenha o atendido de maneira satisfatória, é bem provável que compre novamente do mesmo fornecedor, uma vez que para os consumidores BoP é importante que tenham assegurado que o produto no qual vão investir é

confiável [37]. Um resultado disso é que as vendas destes produtos se encontram no patamar das dezenas a centenas de milhares por fornecedor anualmente [58].

Do ponto de vista do consumidor, há ainda dois aspectos negativos em relação ao modelo. Como a propriedade do sistema passa imediatamente para este no momento da aquisição, ele fica responsável por realizar sua manutenção e eventualmente substituir componentes danificados, e quando tem de fazê-lo, acabam por optar por componentes de baixa qualidade, pois os de qualidade superior apresentam preços mais elevados [59], o que pode resultar em falhas no sistema. Além disso, quando se trata do modelo “*cash & carry*”, o fato de a instalação ficar por conta do consumidor, pode resultar em sistemas mal instalados [59]. Em ambos os casos, o acesso deste consumidor à energia elétrica pode ficar comprometido.

Em relação aos canais de distribuição, são diversas as opções possíveis e interessantes ao modelo. Como o sistema é vendido à vista, quanto menores os gastos com a cadeia de suprimentos, menor tende a ser o preço final do sistema e mais acessível se torna o mesmo. Neste sentido, a utilização de uma cadeia de suprimentos própria pode ser adequada, pois dependendo do local em questão, menos intermediários podem resultar em menores gastos ao longo do canal de distribuição. Neste modelo, o fornecedor deve ter seus próprios armazéns e sua equipe de vendas e de instalação e manutenção, esta última no caso do modelo “*cash sales*”, em que o fornecedor é responsável pela instalação e manutenção dos sistemas.

Outra opção é a comercialização dos sistemas por meio de canais de distribuição existentes no local em que se pretende atuar. Utilizar de uma estrutura já existente, que pode ou não ser especializada neste tipo de produto, pode representar uma redução no custo do produto, pois em certas áreas pode ser mais caro para a empresa manter seu próprio depósito e equipes de vendas e manutenção, do que pagar intermediários. Habitualmente, há dois níveis hierárquicos, um distribuidor e um revendedor.

Neste sentido, o estabelecimento de parcerias institucionais também pode contribuir para a expansão do negócio. Ao se estabelecer uma parceria com uma instituição local, como uma ONG, opção bastante plausível no caso das áreas rurais subsaarianas, a empresa consegue um acesso mais fácil aos consumidores potenciais para divulgação dos seus produtos, uma vez que muitos devem ter algum tipo de contato com a ONG em questão. Com isso são reduzidos os gastos com *marketing*.

O modelo de distribuição por meio do oferecimento de pacotes de *franchising* também pode ser adequado a este modelo de entrega. Nele a empresa não é responsável pelos custos atrelados à manutenção de equipes de vendas e divulgação ou de assistência técnica, sendo responsável apenas por fornecer formação e algum apoio em termos de *marketing*. No entanto, este modelo depende da existência de empreendedores locais com o interesse de serem franqueados. Por fim, se ressalta que a estratégia mais adequada e mais barata em termos de distribuição deve variar de acordo com a comunidade em que se pretende atuar, sendo interessante que o fornecedor adote diferentes estratégias em diferentes locais, de forma a maximizar e baratear o seu negócio em cada um deles.

Os gastos com a distribuição normalmente representam entre 30 % e 50 % do preço do produto, e têm que ser, obrigatoriamente, incluídos no mesmo para que o modelo seja sustentável [58]. No entanto, prevê-los com exatidão não é uma tarefa simples, pois podem variar bastante de acordo com as características da área em que se pretende atuar. No caso de um canal próprio de distribuição, engloba gastos com recrutamento, treinamento e manutenção da equipe de vendas, de assistência técnica, além dos gastos com a manutenção do armazém. Para amenizá-los, uma opção interessante é ter uma equipe de vendas que também seja capacitada para realizar as instalações e prestar assistência técnica, o que pode reduzir os custos com equipe.

Nas áreas rurais da África Subsaariana, estes custos tendem a ser mais elevados, visto que habitualmente há ausência de sistemas de transporte, e as distâncias entre as comunidades são maiores, o que eleva os gastos com o transporte da equipe. Este é um desafio enfrentado principalmente por empresas entrantes no mercado, ou que estão a lançar novos produtos, pois necessitam de uma equipe de vendas que tenha como principal função a divulgação do produto, para que se torne conhecido e conquiste o mercado. Depois que um produto já se tornou conhecido e proporcionou experiências positivas na comunidade, a divulgação boca a boca se torna suficiente nos mercados BoP e os consumidores vão diretamente ao revendedor, ou ao armazém para adquirirem o sistema [58]. Para que a experiência dos consumidores seja positiva, é importante oferecer um produto de qualidade e oferecer e honrar uma garantia.

Em relação à equipe de vendas e divulgação, é um diferencial a contratação de mão-de-obra local, pois por serem parte da comunidade têm maior credibilidade perante os potenciais consumidores, bem como não enfrentam os desafios em termos de comunicação com estes consumidores referidos no capítulo anterior. No entanto, a empresa pode ter dificuldades em encontrar potenciais vendedores, uma vez que se tratam de zonas em que a população tem baixo nível de escolaridade, podendo ter gastos extras com a capacitação deste pessoal

Pelo fato de ser um modelo utilizado na comercialização dos PPVS mais simples, que apresentam preços reduzidos, é complicado ter uma equipe que trabalhe à base de comissões. Portanto, habitualmente estes vendedores recebem um valor fixo, acrescido de bônus por metas de vendas e um valor para cobrir as despesas de campo, como deslocamentos.

Modelo Pay As You Go (PAYG)

O modelo PAYG é o mais recente entre os quatro abordados neste estudo, e tem contribuído para a expansão das vendas de SHS [6]. Como é baseado no fornecimento de um financiamento para a aquisição do sistema por parte dos consumidores, consegue explorar categorias de produto superiores àquelas tipicamente comercializadas por meio do modelo de varejo. Do ponto de vista do fornecedor, é interessante por tornar produtos de valor mais elevado acessíveis aos consumidores BoP. No entanto, por outro lado, necessitam de investimentos iniciais elevados, uma vez que o prazo para o pagamento do financiamento, habitualmente, é entre 12 e 36 meses, podendo em alguns

casos ser inclusive superior [61], período ao longo do qual a empresa tem sua capacidade de investimento reduzida, sendo esta exposta a um risco maior que no modelo de varejo.

A ausência de instituições formais é habitual no ambiente BoP [48], e muitos destes consumidores não têm acesso a serviços financeiros tradicionais. Por meio do modelo PAYG, estes consumidores passaram a ter acesso fácil a serviços financeiros. Além disso, facilitou a atividade dos fornecedores, que não precisam coletar fisicamente os pagamentos dos consumidores, que no caso das áreas rurais subsaarianas, habitualmente se encontram dispersos, dessa forma tendo custos e a complexidade da operação reduzidos.

Este modelo é mais utilizado para PPVS de maiores capacidades, que contemplam mais de uma lâmpada e a opção de carregamento de telefones móveis (entre 3 Wp e 11 Wp) e todas as categorias de SHS [6]. No entanto, desde 2016 também surgiram modelos para PPVS de capacidades mais reduzidas, que contemplam apenas uma lâmpada e a opção de carregamento de telefone móvel (entre 1,5 Wp e 3 Wp), com parcelas diárias de USD 0,3 ao longo de seis meses [58]. O maior sucesso foi obtido com os SHS de menor capacidade, com potência nominal entre 11 Wp e 21 Wp, para os quais as taxas de reembolso estão na casa de USD 0,5 por dia ao longo de doze meses, enquanto que estes sistemas à vista custam à partir dos USD 125 [6, 58]. Isto resultou em vendas na casa das centenas de milhares de unidades por fornecedor anualmente [58]. Para SHS de maior potência, acima de 21 Wp, as taxas estão entre USD 0,8 e USD 1,2 por dia num prazo de três anos, e as vendas anuais no patamar das dezenas de milhares de unidades por fornecedor [58].

O sucesso deste modelo está no fato de oferecer três diferentes modalidades de pagamento, diário, semanal e mensal, bem como com o baixo valor das parcelas a serem pagas pelos consumidores. Isto permite que mesmo os consumidores BoP com rendas mais limitadas tenham condições de arcar com o valor das parcelas. Tendo em consideração que os consumidores BoP da África Subsaariana gastam em média 5 % de suas receitas com energia [35] e os valores das parcelas apresentados acima, conclui-se que este modelo tem atendido agregados familiares com rendimentos diários entre USD 6 e USD 24.

O valor das prestações cobradas aos consumidores depende do custo do sistema em questão, do valor do pagamento inicial que o consumidor foi capaz de efetuar, que tende a ser baixo para atrair clientes, e o prazo para a quitação de todas as parcelas. Nos sistemas isolados de maior capacidade, consequentemente mais caros, para que as parcelas tenham valores mais baixos e sejam acessíveis aos consumidores, o número de parcelas e, consequentemente, os prazos para o pagamento devem ser maiores. O sucesso do modelo depende do valor da taxa cobrada aos consumidores, que deve ser baixa o suficiente para que tenham condições de pagarem com suas receitas limitadas.

O mecanismo de monitoramento e controle, que permite à empresa bloquear o sistema em caso de inadimplência, contribui para a redução da exposição ao risco, uma vez que quando têm sua eletricidade cortada, os consumidores tendem a realizar o pagamento que está em atraso [58, 61]. Além disso, este sistema permite à empresa a coleta de dados a respeito do perfil de consumo dos seus clientes, bem como sobre a probabilidade do mesmo se tornar inadimplente. Desta forma, a

empresa leva vantagem na competição com concorrentes que estão entrando no mercado. No entanto, estas bases de dados que as empresas que adotam o modelo PAYG estão construindo podem ser prejudiciais aos consumidores, que podem ter seu poder de barganha reduzido [6].

Em relação aos canais de distribuição, há duas estratégias que se adequam melhor. A primeira é a empresa possuir sua própria estrutura, composta por armazéns e equipes de vendas e de instalação e manutenção, que vão diretamente aos armazéns buscar os produtos e peças que necessitem. Outra possibilidade é o estabelecimento de parcerias com empresas de telefonia móvel que tenham relevância no contexto local, uma vez que os consumidores que este modelo busca atingir são obrigatoriamente associados a alguma, pois realizam seus pagamentos por meio de telefones móveis. Desta forma a empresa pode reduzir seus custos com a distribuição, aproveitando-se de uma estrutura já existente, bem como da clientela dessas empresas, o que pode representar uma vantagem em termos de divulgação do produto, e em termos de conquista da confiança destes indivíduos.

A equipe de vendas, quando se tratam de SHS, pode receber exclusivamente por comissões, pois são sistemas de preços mais elevados, a partir de USD 125 [6]. Uma estratégia utilizada, no intuito de que os vendedores foquem em clientes que tenham condições de pagar arcar com os pagamentos, é a de relacionar parte da comissão a estes pagamentos [58]. Pode contribuir para o sucesso do empreendimento a contratação e capacitação de membros da comunidade para a equipe de vendas ou de instalação e manutenção, uma vez que costumam ter maior credibilidade junto à comunidade, bem como têm maior facilidade na comunicação com estes consumidores. No entanto, a população das áreas rurais da África Subsaariana, geralmente, apresenta baixos níveis de escolaridade, o que resulta em maiores gastos por parte da empresa para dar capacitação a estes indivíduos.

Para que o modelo tenha sucesso, se faz necessário um sistema de atendimento ao cliente responsivo para registrar clientes, enfrentar desafios técnicos, coordenar os técnicos de instalação e manutenção e acompanhar os clientes inadimplentes. Aqui se ressalta que os clientes tendem a não efetuar os pagamentos quando o sistema não está funcionando corretamente [6]. Para sistemas de menor potência, o custo de reintegração de posse do sistema por inadimplência pode ser significativo à empresa, pois pode não ser possível o revender. Algumas empresas, portanto, oferecem a estes clientes um incentivo financeiro para que devolvam voluntariamente o sistema a um armazém.

O modelo PAYG tem evoluído, e as empresas perceberam que podem aumentar seus lucros oferecendo novos empréstimos aos seus clientes para a aquisição de produtos diversos, não necessariamente relacionados à energia elétrica [61]. O mecanismo de controle e monitoramento remoto, desta forma, continua a ser utilizado, em caso de inadimplência, o sistema é bloqueado, e caso a situação persista, tanto o produto adquirido como o sistema têm sua posse reintegrada.

A África Oriental é a sub-região do continente onde este modelo obteve maior sucesso, pois no geral, dispõe de uma rede consolidada de telefonia móvel. No entanto é esperado que se expanda para as demais sub-regiões, uma vez que pode ser observado um crescimento exponencial no número de

assinaturas de serviços de telefonia móvel nos últimos dez anos [1], sendo a cobertura desta rede já superior à da rede elétrica [26].

Modelo de financiamento do consumidor (via instituições financeiras)

Este é o modelo que oferece maiores dificuldades de implantação na África Subsaariana, pois é baseado na parceria entre o fornecedor da tecnologia e uma instituição financeira com atuação no local, enquanto que o ambiente de negócios nos mercados BoP na região é extremamente informal [1]. O maior desafio enfrentado neste modelo é a dificuldade de se encontrar uma instituição financeira para estabelecimento da parceira, pois são escassas as que têm atuação nas áreas rurais [59].

Conforme referido, neste modelo a empresa fica responsável pelo fornecimento da tecnologia, bem como sua instalação, operação e manutenção, enquanto o financiamento fica sob responsabilidade da instituição financeira. A grande vantagem deste modelo para a empresa fornecedora do sistema é a de que quem detém o risco é a instituição financeira, uma vez que esta repassa o valor integral do sistema ao fornecedor logo que o sistema é adquirido pelo consumidor, e fica responsável pela coleta dos pagamentos. No entanto, o risco para a instituição financeira é baixo, pois tem o histórico dos seus clientes e experiência na avaliação de pedidos de crédito [58, 59].

Este modelo é mais utilizado com sistemas isolados mais básicos, PPVS que fornecem apenas uma lâmpada (até 1,5 Wp), ou uma lâmpada adicionada da opção de carregamento de telefone móvel (entre 1,5 Wp e 3 Wp) [8]. No entanto, se mostra mais adequado na disseminação de SHS com capacidades acima dos 21 Wp, ou seja, sistemas isolados com maiores níveis de serviço (*Tier 2*), pois este modelo consiste em uma opção mais acessível em relação ao PAYG quando as parcelas a serem pagas pelos consumidores superam a casa de USD 0,5 por dia e estes pagamentos duram mais que dezoito meses [58]. Isto ocorre por se tratarem de instituições financeiras mais robustas, capazes de oferecerem opções de financiamento mais vantajosas a investimentos mais elevados, sem que fiquem tão expostas a riscos. Como as parcelas a serem pagas em base diária têm valores a partir de USD 0,5, este modelo atinge segmentos superiores dos consumidores BoP subsaarianos, os agregados familiares com receitas diárias a partir de USD 10.

Em relação aos canais de distribuição, por meio do estabelecimento da parceria com a instituição financeira, o fornecedor acaba por utilizar a rede de distribuição da mesma, o que reduz seus custos. As filiais da instituição financeira servem de depósitos temporários para os sistemas, onde a equipe de instalação do fornecedor vai busca-los. Além disso, também são reduzidos os custos associados à divulgação dos produtos, uma vez que os fornecedores se aproveitam da estrutura já existente e utilizada por sua parceira para atingir sua clientela, junto da qual possui credibilidade e uma relação de confiança, uma vez que disponibiliza crédito a estes indivíduos, mesmo sabendo das suas limitadas capacidades de pagamento.

Os fornecedores, por sua vez, devem oferecer um serviço de apoio ao cliente eficiente e responsivo, pois quando os sistemas falham é habitual que os consumidores deixem de efetuar os pagamentos, o que pode ser um risco financeiro e de reputação para a instituição financeira [58]. A opção por capacitação de mão-de-obra local para os postos de técnicos de instalação e manutenção contribui para que os serviços de atendimento ao cliente sejam responsivos, pois encurta os deslocamentos, bem como este pessoal terá maior preocupação em assegurar os serviços aos seus conhecidos.

No entanto, conforme referido para os outros modelos, a capacitação de mão-de-obra local tanto para vendas e para assistência técnica pode representar dificuldades e elevar os custos do negócio, uma vez que na região em questão o nível de escolaridade da população é baixo, o que compromete as vantagens também já citadas de ter colaboradores membros da comunidade.

Outra questão que pode resultar em maior custo para o fornecedor é o fato de que as instituições financeiras costumam ter as mesmas ofertas em todas as áreas possuem atuação, portanto, o fornecedor do sistema deve ter vendedores e técnicos de instalação suficientes para cobrir todas as áreas em que a instituição parceira tem atuação. Como este modelo é mais adequado para o fornecimento de sistemas de maior capacidade, envolvendo cifras mais altas, a equipe de vendas deve receber à base de comissões, pois funciona como estímulo para que angariem mais clientes.

Este modelo foi aplicado na África Oriental no início dos anos 2000, e obteve algum sucesso. Mais recentemente voltou a ser utilizado devido ao surgimento de SHS mais padronizados e de elevada qualidade e de fornecedores especializados nesta tecnologia. As vendas por meio deste modelo estão no patamar dos milhares de sistemas anualmente por fornecedor [58].

Modelo Fee-For-Service

Entre os modelos abordados neste estudo, este é o único em que o consumidor não obtém a propriedade do sistema em momento algum. O fornecedor aluga o sistema ao consumidor, que efetua um pagamento inicial correspondente à instalação e posteriormente realiza pagamentos mensais de um valor pré-estabelecido, no qual estão incluídos os custos de manutenção. Neste modelo o fornecedor é responsável pela instalação, operação, monitoramento e manutenção do sistema, bem como da sua substituição em caso de avaria [59].

O investimento inicial feito pela empresa fornecedora do sistema é elevado, enquanto que o retorno do mesmo pode levar cerca de sete anos, o que é um aspecto negativo do modelo. Desta forma, o fornecedor fica exposto a um risco financeiro elevado. A partir do momento em que os investimentos iniciais são recuperados para um número ótimo de clientes, as receitas recebidas através das taxas de serviço cobradas aos consumidores se tornam suficientes para a sustentabilidade do negócio [58]. Neste sentido é importante que haja algum apoio em termos de subsídios relativos ao investimento inicial, de forma que o fornecedor fique menos exposto ao risco, recupere seu investimento mais rapidamente, e o modelo se torne uma opção interessante para ele.

Uma vantagem deste modelo é a de que pode ser aplicado com todo para todos os segmentos de sistema. No entanto, se apresenta como adequado para consumidores BoP com receitas mais reduzidas, aos quais um nível de acesso *Tier 0* ou *Tier 1* é suficiente, ou seja, as categorias de PPVS de capacidades mais reduzidas, que contemplam apenas uma lâmpada (até 1,5 Wp) ou uma lâmpada e a opção de carregamento de telefone móvel (entre 1,5 Wp e 3 Wp), mas que não têm condições ou não estão dispostos a adquirir um sistema [58]. Conforme referido, estes sistemas são habitualmente comercializados por meio do modelo de varejo, em que o consumidor deve efetuar o pagamento total do sistema à vista, o que é uma dificuldade para grande parte dos consumidores BoP, visto suas reduzidas capacidades de investimento.

Para que o modelo seja competitivo frente aos demais, dois aspectos são fundamentais. A taxa de serviço a ser paga pelos consumidores deve ser baixa o suficiente para que eles optem pelo mesmo [59]. Com o surgimento do modelo PAYG, quando se tratam de sistemas que fornecem nível de serviço *Tier 1* ou *Tier 2* do MTF, ou seja, sistemas com potência nominal entre 1,5 Wp e 100 Wp, e a taxa de serviço cobrada aos consumidores apresenta valores semelhantes aos da parcela a ser paga através do modelo PAYG, os consumidores tendem a optar pelo segundo modelo, uma vez que ao fim do pagamento de todas as parcelas ele obtém a propriedade do sistema [58]. Além disso, o serviço de assistência técnica deve ser de qualidade, do modo que represente um diferencial frente às concorrentes que adotem outros modelos de entrega [59].

Em relação aos canais de distribuição, o fornecedor pode ser responsável pela instalação, operação, monitoramento e manutenção do sistema, tendo sua própria equipe de assistência técnica e de divulgação, bem como pela manutenção de depósitos onde os sistemas e peças para substituição ficam armazenados para que estejam sempre disponíveis em caso de necessidade, ou pode optar pelo recrutamento de empreendedores locais, que ficam responsáveis pela divulgação e aluguel dos seus produtos aos consumidores, bem como por todas as demais atividades relacionadas. Esta segunda modalidade se mostra interessante no sentido de que os custos com a distribuição e garantia do serviço ficam sob responsabilidade do empreendedor local. Também é interessante em termos de divulgação do produto, uma vez que este empreendedor local costuma ter maior entendimento a respeito destes consumidores, bem como ter acesso mais fácil a eles. Além disso, representar uma assistência técnica mais responsiva, caso o empreendedor local tenha bom conhecimento do terreno.

Com a rápida evolução dos sistemas isolados fotovoltaicos, e conseqüentemente constante surgimento de novas tecnologias, este modelo, por apresentar um prazo longo para a recuperação do investimento inicial, faz com que o sistema fornecido fique exposto ao risco de se tornar obsoleto em algum momento deste prazo [222]. Desta forma, há a possibilidade dos consumidores desistirem do mesmo em algum momento, e buscarem sistemas mais modernos por meio de outros modelos de entrega.

Tendo em vista o que foi apresentado nesta seção, conclui-se que este modelo consiste numa opção interessante para o fornecedor caso haja subsídios por parte da iniciativa pública. Caso contrário, a opção por outros modelos de entrega se mostra mais rentável em prazos mais curtos.

Comentários

A reflexão realizada acerca dos quatro modelos de entrega se encontra resumida no quadro comparativo da [Tabela 6](#) (página seguinte). Onde são referidos os canais de distribuição que podem ser adotados em cada um dos modelos, as categorias de sistemas que abrangem, bem como o nível de serviço que oferecem. Também são representadas forças e fraquezas de cada um destes modelos de entrega.

Em relação à primeira questão de investigação que este estudo busca responder: **“A escolha do modelo de entrega determina o sucesso de um empreendimento que pretende oferecer sistemas isolados fotovoltaicos em áreas rurais da África Subsaariana?”**. A conclusão a que se chega é a de que a escolha do modelo de entrega é importante, porém, não é capaz de determinar o sucesso de um empreendimento. O importante é que o modelo escolhido seja adequado ao segmento de sistemas isolados fotovoltaicos que se pretende comercializar, podendo mais de um modelo diferente obter sucesso no fornecimento do mesmo produto. Por outro lado, opção equivocada por um modelo, pode determinar o seu fracasso. Por exemplo, caso o empreendedor opte por um modelo de varejo para fornecer SHS de elevada potência em um mercado BoP, como os encontrados nas áreas rurais subsaarianas, o que resulta em um pagamento à vista elevado que está acima das possibilidades destes consumidores, o resultado será o fracasso do negócio. A seguir são detalhados os segmentos de sistemas para os quais cada modelo de entrega se mostra mais adequado.

O modelo de varejo, que se baseia no pagamento à vista do sistema, se mostra adequado aos PPVS mais simples e mais baratos, que contemplam apenas uma lâmpada (até 1,5 Wp), pois representam um investimento menos elevado para os consumidores BoP, visto as dificuldades que têm de realizarem investimentos mais elevados. O modelo fee-for-service, por sua vez, se mostra adequado para este mesmo segmento de sistemas, pois se apresenta como uma alternativa mais acessível àqueles consumidores que têm dificuldades em arcar com o pagamento à vista imposto pelo modelo de varejo, os consumidores BoP de rendimentos mais baixos. Isto exemplifica o que foi referido acima, que diferentes modelos de entrega podem obter sucesso com uma mesma categoria de produtos.

O modelo PAYG, por sua vez, é utilizado para variados segmentos de produtos, apresentando melhores resultados com o segmento mais básico de SHS (entre 11 Wp e 21 Wp). No entanto, o fato de permitir pagamentos bastante flexíveis, feitos por transações de *mobile-money*, e de ser um modelo relativamente recente, levam a crer que ainda tem potencial a ser explorado, devendo se tornar o principal modelo também para todas as outras categorias de produtos com capacidade entre 1,5 Wp e 50 Wp nos mercados BoP rurais subsaarianos, onde os consumidores tem fluxos de

receitas irregulares, e dificuldade em obter financiamentos. Por fim, o modelo de financiamento via instituição financeira se mostra mais adequado para os segmentos mais altos de SHS, com potências acima de 50 Wp, pois as instituições financeiras, devido as suas maiores robustezes, conseguem oferecer condições de pagamento mais acessíveis que as oferecidas pelo modelo PAYG. No entanto, nas áreas rurais subsaarianas, há o desafio da escassez deste tipo de instituição.

Tabela 6: Quadro comparativo dos diferentes modelos de entrega; Fonte: o autor.

Modelos de entrega	Canais de distribuição	Segmentos dos sistemas (por potencia nominal)	Nível de serviço do MTF	Forças	Fraquezas
Modelo de Varejo	Próprios; Distribuidores e revendedores locais; Parcerias institucionais; Franquias	PPVS de até 1,5Wp PPVS de 1,5Wp a 3Wp	Tier 0 e Tier 1	<ul style="list-style-type: none"> Fornecedor exposto a risco financeiro reduzido Consumidor é proprietário do sistema Alta probabilidade de nova compra a cada 2 ou 3 anos 	<ul style="list-style-type: none"> Não contempla opção de financiamento Baixo potencial de expansão no mercado Manutenção fica a cargo do consumidor Instalação pode ficar a cargo do consumidor
	Próprios; Parcerias institucionais (empresa de telefonia móvel)	PPVS de 1,5Wp a 3Wp PPVS de 3Wp a 11Wp SHS de 11Wp a 21Wp SHS de 21Wp a 50Wp SHS de 50Wp a 100Wp	Tier 1 e Tier 2	<ul style="list-style-type: none"> Consumidores têm acesso fácil serviços de Não há a necessidade da coleta física dos Formas flexíveis de pagamento (diários, semanais ou mensais) Baixo valor das parcelas Pagamento inicial tende a ser baixo Ao quitar todas as parcelas consumidor obtém a propriedade do sistema Bloqueio do sistema em caso de inadimplência Financiamento para outros produtos 	<ul style="list-style-type: none"> Elevado investimento inicial do fornecedor Fornecedor exposto a risco financeiro elevado Consumidores podem ter poder de barganha reduzido Custo de reintegração de posse do sistema pode ser elevado
Modelo de Financiamento via Instituições Financeiras	Parcerias institucionais	PPVS de até 1,5Wp PPVS de 1,5Wp a 3Wp SHS de 21Wp a 50Wp SHS de 50Wp a 100Wp	Tier 0, Tier 1 e Tier 2	<ul style="list-style-type: none"> Fornecedor recebe o valor total do sistema imediatamente Quem detém o risco é a instituição financeira Opções de financiamento mais vantajosas para sistemas de maiores custos Utilização dos canais de distribuição da instituição financeira Credibilidade da instituição financeira junto a seus clientes Fornecedor é responsável por substituição do sistema em caso de avaria 	<ul style="list-style-type: none"> Dificuldade de se encontrar instituição parceira Sistemas de maiores custos acessíveis apenas para os segmentos mais altos de consumidores BoP Fornecedor deve ter pessoal suficiente para todas as áreas onde a instituição financeira atua
	Próprios; Distribuidores e revendedores locais	PPVS de até 1,5Wp PPVS de 1,5Wp a 3Wp PPVS de 3Wp a 11Wp SHS de 11Wp a 21Wp SHS de 21Wp a 50Wp SHS de 50Wp a 100Wp SHS de superiores a 100Wp	Tier 0, Tier 1, Tier 2 e Tier 3	<ul style="list-style-type: none"> Fornecedor é responsável por substituição do sistema em caso de avaria 	<ul style="list-style-type: none"> Consumidor jamais se torna proprietário do sistema Fornecedor exposto a risco financeiro elevado Subsídios são importantes para viabilidade do modelo Risco do sistema se tornar obsoleto durante o longo prazo de duração do serviço Necessidade da coleta física dos pagamentos

Além da escolha de um modelo de entrega que seja adequado ao tipo de sistema que se pretende comercializar, outro aspecto que contribui para o sucesso do empreendimento é um estudo detalhado do ambiente encontrado no mercado onde a tecnologia será oferecida, para que o modelo de entrega escolhido seja adaptado a este contexto, o que amplia as possibilidades de resultados satisfatórios.

Em relação à segunda questão de investigação deste estudo: **“Qual destes modelos de entrega se mostra mais promissor?”**. O modelo PAYG se apresenta como tal. São diversos os aspectos que levaram a esta conclusão. O primeiro é o fato de se tratar de um sistema relativamente recente e que, conforme referido, ainda não teve seu potencial explorado de forma profunda em alguns dos segmentos de sistemas isolados fotovoltaicos. Outro ponto é o seu plano de pagamentos flexíveis, por meio de *mobile-money* se mostra adequado aos mercados BoP rurais da África Subsaariana, onde a rede de telefonia móvel já se encontra mais disseminada que a rede elétrica e onde os consumidores têm receitas baixas e variáveis.

No entanto, a oferta de financiamento a consumidores com reduzido poder de compra, que vivem em áreas em que as instituições financeiras são escassas, e quando se fazem presentes não costumam ter opções de crédito adequadas a eles. Acoplado a um mecanismo de controle e monitoramento remoto que permite bloquear o sistema em caso de inadimplência, reduzindo o risco ao qual o empreendedor está exposto. Aliado ainda à possibilidade da utilização do modelo para financiamento de outros bens e serviços. Este é sem dúvida o principal aspecto que contribui para que o modelo PAYG se mostre como o mais promissor. Desta forma, no capítulo a seguir, é abordado o caso de sucesso da M-KOPA, empresa de sistemas isolados fotovoltaicos que foi das pioneiras na aplicação deste modelo de entrega no contexto subsaariano, e assim como o modelo, apresentou uma rápida evolução em poucos anos de atividade.

4. ESTUDO DE CASO: MODELO PAYG

A M-KOPA é uma empresa de energia solar queniana, com fins lucrativos, fundada em 2011, especializada na comercialização de sistemas isolados fotovoltaicos voltados para consumidores BoP fazendo o uso do modelo de entrega PAYG. Tem atividades no seu país de origem, Tanzânia e Uganda, todos situados na região subsaariana do continente africano, mais especificamente na África Oriental. Desde sua fundação, a empresa experimentou um crescimento bastante veloz, em Outubro de 2015 eram mais de 250.000 habitações que obtiveram acesso à energia elétrica por meio dos seus sistemas, em Junho de 2016 este número já superava as 380.000, em Janeiro de 2018 superou a marca de 600.000 habitações, e espera atingir a marca de 1 milhão de habitações no fim de 2019 [43]. Isto comprova o ritmo acelerado com que a M-KOPA vem expandindo sua rede de clientes. Entre Junho de 2016 e Janeiro de 2018 foram mais de 350 habitações por dia que receberam seus sistemas.

Atualmente a empresa oferece dois tipos de produto. O “M-KOPA 5 Solar Home System”, produto mais simples, é composto por um painel solar de 8 Wp, a unidade de controle do sistema com bateria de Lítio, quatro lâmpadas LED de 1,2W, um rádio recarregável com entrada USB, um cabo para carregamento de telefones móveis que permite a conexão de 5 aparelhos em simultâneo, 1 cabo de carregamento personalizado e uma lanterna LED recarregável (Figura 13). Apesar de conter “Solar Home System” no nome do produto, de acordo com a classificação dos sistemas isolados utilizadas neste estudo, adotada pela GOGLA, este sistema é um PPVS, pois tem capacidade inferior a 11 Wp, estando inserido no segmento mais elevado deste tipo de sistema, aqueles que no mínimo oferecem mais de uma lâmpada e a opção de carregamento de telefone móvel. Em relação ao nível de serviço, completa o *Tier 1* do MTF.



Figura 13: M-KOPA 5 Solar Home System; Fonte: [63].

O outro produto se chama “M-KOPA 500”, e possui todos os dispositivos contidos no “M-KOPA 5 Solar Home System”, com a diferença que o painel solar é de 20 Wp e que ao invés de quatro, são

três lâmpadas LED de 1,2W, tendo como grande diferencial a presença de uma TV digital de 22 polegadas e tela plana que vem junto com a antena e um controle remoto (Figura 14). De acordo com a classificação da GOGLA, utilizada neste estudo, trata-se de um SHS do segmento mais simples, com potência entre 11 Wp e 21 Wp, o segmento de produto em que o modelo PAYG obteve maior sucesso [58]. Apresenta, portanto, um nível de serviço do MTF superior à *Tier 1*, porém sem que complete a *Tier 2*. Ambos os produtos têm garantias de dois anos.



Figura 14: M-KOPA 500; Fonte: [63].

No modelo PAYG aplicado pela M-KOPA, o consumidor realiza um depósito inicial, de cerca de USD 30, para o “M-KOPA 5 Solar Home System” e que pode ser de cerca de USD 60 ou USD 74 para o “M-KOPA 500”, de acordo com o plano de pagamento escolhido pelo consumidor. Feito o depósito, ele imediatamente leva o seu produto de um posto de vendas ou centro de serviços da empresa para casa. A partir de então, o consumidor deve realizar pagamentos pelos chamados créditos diários, que atualmente são de cerca de USD 0,50 para o produto mais simples, e de USD 0,99, USD 1,23 ou USD 1,33, para o mais completo, de acordo com o plano de pagamento escolhido [65]. Cada um destes pagamentos habilita o sistema a fornecer energia por 24 horas, e após o pagamento do número total de créditos diários do plano de pagamento escolhido pelo consumidor (420 dias para o produto mais simples, e 380, 550 ou 570 dias para o mais completo), o sistema consumidor obtém a propriedade do sistema, que pode ser utilizado livremente.

Estes créditos diários, no entanto, não necessitam ser pagos em base diária, o consumidor pode pagar da maneira que lhe for mais conveniente, podendo pagar de uma vez só quantos créditos quiser, ficando com seu sistema desbloqueado pelo número de horas correspondentes a quantidade de créditos pagos antecipadamente. Uma das vantagens do modelo PAYG é a flexibilidade do consumidor poder efetuar os pagamentos em base diária, semanal ou mensal. No modelo da M-

KOPA, esta flexibilidade é ainda maior, fica totalmente a cargo do consumidor a decisão de quando vai efetuar pagamentos. No contexto dos mercados BoP das áreas rurais subsaarianas, isso representa um importante diferencial, pois conforme referido, estes consumidores costumam conviver com a falta de fluxos de receita regulares [5].

Ainda em relação ao pagamento dos créditos diários, um diferencial oferecido pela M-KOPA é permitir que em períodos em que estão com seus recursos mais reduzidos, os consumidores fiquem pequenos intervalos de tempo sem efetuarem pagamentos, períodos nos quais o sistema, por sua vez não funciona, mas não é realizada a reintegração de posse. No entanto, ao efetuar um pagamento, mesmo que de apenas um crédito diário, o sistema volta a ser desbloqueado pelo número de horas correspondentes.

O modelo da M-KOPA, assim como todos os outros modelos PAYG, está inserido no contexto *Internet of Things* (IoT), tendo a tecnologia GSM de telefonia móvel embutida no seu produto, por meio da qual a empresa consegue controlá-lo e monitorá-lo remotamente. Por meio do mecanismo de controle, a empresa consegue bloquear o sistema em caso de inadimplência e desbloqueá-lo quando a dívida é quitada. Conforme apresentado no capítulo anterior, este recurso permite melhores resultados financeiros para a empresa, reduzindo o risco ao qual está sujeita, uma vez que ao terem sua eletricidade cortada, os consumidores tendem a efetuar o pagamento em atraso.

O monitoramento do funcionamento do sistema em tempo real permite à M-KOPA oferecer um serviço de assistência técnica responsivo. Ao monitorar o mau funcionamento de algum sistema, é enviada uma equipe técnica de manutenção imediatamente ao local para resolver o problema. Isto contribui para menores custos operacionais e para maior confiança do consumidor na empresa. A tecnologia GSM ainda permite que a empresa colete dados a respeito do perfil de consumo e crédito dos consumidores, permitindo a oferta bens e serviços que se adequem aos interesses dos mesmos.

Regularmente a companhia submete seus consumidores a questionários, verificar se estão satisfeitos e se seus sistemas estão atendendo adequadamente as necessidades dos consumidores. Desta forma, a empresa busca demonstrar aos seus clientes que ela se preocupa com a sua satisfação, enquanto coleta dados que podem ter bastante utilidade no desenvolvimento dos seus produtos e serviços. Resultados destes questionários ainda sugerem que cerca de 30 % dos clientes estão gerando receitas através dos seus sistemas, cobrando pequenas taxas de amigos e vizinhos para que estes carreguem seus telefones móveis.

Quanto ao canal de distribuição utilizado, a M-KOPA tem sua própria estrutura. Ela é composta por centros de serviços, onde há serviços assistência técnica, apoio ao cliente e vendas, além de servir como armazém. Por pontos de vendas menores, espalhados pelas suas áreas de atuação para estarem mais próximos aos consumidores. Além disso, tem sua própria equipe de vendas, assistência técnica e de atendimento ao consumidor. A equipe de vendas diretas é formada por jovens membros de comunidades em que a M-KOPA tem atuação ou pretende ter, que tenham redes de contatos extensas. Estes vendedores recebem à base de comissões, uma parcela sobre o valor do depósito inicial, e outra em cima dos pagamentos dos créditos diários, o que consiste em um bom

incentivo não só em termos da angariação de mais clientes, mas também da angariação de clientes que realizem pagamentos mais frequentemente. Do ponto de vista da atuação nos mercados BoP, conforme referido, a opção por mão-de-obra local é interessante no sentido da facilidade de comunicação com os potenciais consumidores e da maior confiança que habitualmente têm em alguém conhecido. Estes vendedores recebem a base de comissões

A assistência técnica, por sua vez funciona 24 horas por dia, sete dias por semana, tanto física com o envio de técnicos de manutenção, como através de uma linha telefônica de apoio. Ainda há também a equipe de apoio ao cliente, formada por indivíduos com elevada capacidade de comunicação. Estes são responsáveis por esclarecer e buscar resolver preocupações dos clientes, bem como dúvidas provenientes da equipe de vendas. Alguns membros da equipe de apoio ao cliente são alocados nos postos de vendas, para que os vendedores destes postos possam se concentrar apenas nas vendas e divulgação do produto.

A opção por canais de distribuição próprios é adequada para a M-KOPA, pois atua em mercados rurais BoP, onde é difícil que haja canais de distribuição estruturados. Além disso, como busca o oferecimento de serviços de qualidade, se faz importante ter suas próprias equipes, para que tenha maior controle sobre as mesmas. No entanto, isto só é possível porque a empresa atingiu um nível no mercado que o permite, sendo mais difícil para uma empresa entrante no setor adotar uma cadeia de suprimentos própria tão complexa como a da M-KOPA.

Dado que seus consumidores têm dificuldades em obter créditos junto a instituições financeiras, para realizar qualquer tipo de compra, a empresa vislumbrou uma oportunidade em se aproveitar do seu sistema para oferecer financiamento para seus clientes adquirirem outros produtos ou serviços, que não precisam ter relação alguma com o sistema fornecido pela M-KOPA. Após a quitação do sistema e aquisição da sua posse, o consumidor pode buscar novos financiamentos junto a empresa. O controle se dá da mesma forma e o consumidor volta a ter seu sistema bloqueado em caso de inadimplência, até quitar todas as parcelas do novo financiamento, quando seu sistema fotovoltaico volta a ser desbloqueado permanentemente.

Este consiste no grande diferencial do modelo M-KOPA. Fornecer financiamentos também para outros produtos representa uma importante vantagem competitiva frente aos concorrentes no contexto rural subsaariano onde o crédito a esses consumidores é tão escasso e improvável, seja qual for o modelo de entrega adotado por estes concorrentes. Os dados adquiridos a respeito dos seus clientes têm papel fundamental no oferecimento destes financiamentos, pois mais importante do que ter um registro de pagamentos sólido, é que este consumidor seja um utilizador frequente do sistema isolado fotovoltaico, o que é uma maior garantia da realização dos pagamentos em dia para não correr o risco de ficar sem eletricidade. Por fim, estes financiamentos também contribuem para a sustentabilidade do negócio, pois faz com que os consumidores permaneçam como clientes mesmo após a quitação dos seus sistemas fotovoltaicos, aumentando a fonte de receitas da empresa.

A maior parte dos clientes da empresa estão situados no segmento de consumidores BoP com receitas diárias abaixo de USD 2 e com o passar do tempo, a proporção deste tipo de consumidor

aumentou no total de clientes da M-KOPA. Segundo a própria empresa, isso se deve a dois fatores, o primeiro de que provavelmente seus primeiros clientes possuíam rendimentos um pouco superiores, uma vez que os produtos eram um pouco mais caros na época, e o outro que isso deve representar também que a empresa conseguiu expandir seu negócio por áreas mais rurais ao longo do tempo [65].

Os resultados obtidos pela M-KOPA com a adoção do modelo PAYG, contribuem para comprovar que este modelo se mostra como o mais promissor na disseminação dos sistemas isolados fotovoltaicos nas áreas rurais da África Subsaariana. Dessa forma, é esperado que desempenhe importante papel na busca pelo acesso universal à energia elétrica, oferecendo significativa contribuição no âmbito da eletrificação rural das áreas mais complicadas, as mais remotas e onde os consumidores fazem parte dos mercados BoP..

5. CONCLUSÃO

Resultados

O objetivo central deste estudo foi o de buscar a resposta para duas questões de investigação relativas aos modelos de entrega utilizados pelos empreendedores que fornecem sistemas isolados fotovoltaicos na região da África Subsaariana. A primeira delas é: **“A escolha do modelo de entrega determina o sucesso de um empreendimento que pretende oferecer sistemas isolados fotovoltaicos em áreas rurais da África Subsaariana?”**. Enquanto a segunda é: **“Qual destes modelos de entrega se mostra mais promissor?”**. Este objetivo foi cumprido, e ambas as questões de investigação respondidas no Capítulo 3.

Em relação à primeira questão, a conclusão a que se chegou não é passível de uma resposta objetiva positiva ou negativa. A escolha do modelo é importante para o sucesso do empreendimento, porém, não é fator determinante. Diferentes modelos de entrega podem resultar em empreendimentos de sucesso fornecendo exatamente a mesma tecnologia. Os aspectos principais para o sucesso do negócio são a escolha de um modelo que se adeque ao segmento de sistema isolado fotovoltaico que se pretende comercializar, e uma correta adaptação deste modelo ao contexto encontrado nas áreas rurais da região estudada, que conforme apresentado, impõe uma série de desafios. No entanto, mesmo considerando estes aspectos, o resultado pode não ser o esperado, pois empreender em mercados BoP está longe de ser uma ciência exata.

Quanto à segunda questão, o modelo PAYG se mostrou como o mais promissor. Apresenta-se como um modelo com excelentes perspectivas futuras, tendo seu potencial ainda subexplorado. O oferecimento de financiamento a consumidores BoP, com prestações acessíveis e flexíveis em termos de prazos, acoplado ao conceito IoT por meio de um mecanismo de controle, monitoramento e coleta de dados remoto, ainda com a extensão deste financiamento para outros produtos além do sistema isolado fotovoltaico, faz com que se creia que este modelo exercerá grande contribuição na busca pelo acesso universal, contribuindo para a eletrificação das áreas rurais mais complicadas. Esta resposta ainda é reforçada pelo caso de sucesso apresentado no Capítulo 4, da M-KOPA, empresa pioneira na aplicação deste modelo que apresentou um crescimento impressionante nos seus sete anos de existência.

Limitações e estudos futuros

É importante ressaltar que os modelos de entrega, utilizados pelo setor privado para o fornecimento de sistemas isolados fotovoltaicos nos mercados BoP rurais da África Subsaariana, que foram abordados neste estudo, foram limitados àqueles que se encontram referidos na literatura, sendo possível a existência de modelos diferentes destes, sendo aplicados no contexto explicitado, que ainda não estejam referidos no âmbito acadêmico.

Este estudo teve suas atenções voltadas apenas para dois *stakeholders* envolvidos na eletrificação rural da região estudada por meio de sistemas isolados fotovoltaicos, a iniciativa privada e os consumidores. Apesar de serem os mais importantes neste contexto, há também outros *stakeholders* (alguns referidos de maneira breve durante o estudo) que podem ser considerados em uma análise mais abrangente destes empreendimentos. Além disso, por ter como objeto de estudo uma área que engloba um grande número de países, os contextos institucionais em que as iniciativas estudadas se inserem não puderam ser abordados.

Por fim, as atenções foram voltadas para a eletrificação rural da África Subsaariana em relação às habitações. No entanto o acesso à eletricidade envolve ainda outras duas dimensões, o acesso para serviços comunitários e para usos produtivos. Dimensões estas que podem ser desenvolvidas em um estudo futuro.

REFERÊNCIAS

- [1] SCOTT, Inara - A business model for success: Enterprises serving the base of the pyramid with off-grid solar lighting. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 18790690. 70:September 2016 (2017) 50–55. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.179
- [2] PETERS, Jörg; SIEVERT, Maximiliane - Impacts of rural electrification revisited – the African context. **Journal of Development Effectiveness**. . ISSN 19439407. 8:3 (2016) 327–345. doi: 10.1080/19439342.2016.1178320.
- [3] IEA - Energy Access Outlook 2017: From poverty to prosperity. **Energy Procedia**. . ISSN 1476-4687. 94:March (2017) 144. doi: 10.1787/9789264285569-en.
- [4] GIZ ENDEV - What difference can a PicoPV system make? **Energy**. (2010) 26.
- [5] BHATTACHARYYA, Subhes C. - Mini-grids for the base of the pyramid market: A critical review. **Energies**. . ISSN 19961073. 11:4 (2018). doi: 10.3390/en11040813.
- [6] IFC - Off-Grid Solar Market Trends Report 2018. January (2018).
- [7] WORLD BANK – **The Welfare Impact of Rural Electrification : A Reassessment of the Costs and Benefits** Disponível em WWW:<URL:[http://inweb90.worldbank.org/oed/oeddoclib.nsf/DocUNIDViewForJavaSearch/EDCCC33082FF8BEE852574EF006E5539/\\$file/rural_elec_full_eval.pdf](http://inweb90.worldbank.org/oed/oeddoclib.nsf/DocUNIDViewForJavaSearch/EDCCC33082FF8BEE852574EF006E5539/$file/rural_elec_full_eval.pdf)>. ISBN 9780821373675.
- [8] GLOBAL OFF-GRID LIGHTING ASSOCIATION - Providing energy access through off-grid solar: Guidance for governments. (2017) 1–47.
- [9] WORLD BANK - Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. (2018).
- [10] MANDELLI, Stefano *et al.* - Off-grid systems for rural electrification in developing countries: Definitions, classification and a comprehensive literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 18790690. 58: (2016) 1621–1646. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.338.
- [11] KNUCKLES, James - Business models for mini-grid electricity in base of the pyramid markets. **Energy for Sustainable Development**. . ISSN 23524669. 31:(2016) 67–82. doi: 10.1016/j.esd.2015.12.002.
- [12] PANAPANANAN, Virgilio *et al.* - Analysis of Shared and Sustainable Value Creation of Companies Providing Energy Solutions at the Base of the Pyramid (BoP). **Business Strategy and the Environment**. . ISSN 10990836. 25:5 (2016) 293–309. doi: 10.1002/bse.1866.
- [13] BAURZHAN, Saule; JENKINS, Glenn P. - Off-grid solar PV: Is it an affordable or appropriate solution for rural electrification in Sub-Saharan African countries? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 18790690. 60: (2016) 1405–1418. doi: 10.1016/j.rser.2016.03.016.
- [14] BARNES, Douglas F. - Effective solutions for rural electrification in developing countries: Lessons from successful programs. **Current Opinion in Environmental Sustainability**. . ISSN 18773435. 3:4 (2011) 260–264. doi: 10.1016/j.cosust.2011.06.001.
- [15] ARE - **Off-grid electricity systems** [Online] WWW:<URL:<https://www.ruralelec.org/grid-electricity-systems>>. [Consult. 15 abr. 2018].
- [16] ESMAP - **Multi-tier Framework for measuring energy access** [Online] [Consult. 22 abr. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.esmap.org/node/55526>>.
- [17] GOGLA - Global Off-Grid Solar Market Report Semi-Annual Sales and Impact Data. June (2016) 1–44.
- [18] IRENA - Off-grid renewable energy solutions: Global and regional status and trends. 2015 (2018) 1–20. doi: 978-92-9260-076-1.

- [19] IRENA - **Solar PV costs 2010-2015** [Online] [Consult. 5 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://resourceirena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=3&subTopic=32>>.
- [20] SOLARGIS - **Solar resource maps and GIS data** [Online] [Consult. 13 mai. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data>>.
- [21] WIRTH, Harry - Recent Facts about Photovoltaics in Germany, Version of July 20, 2018. 1:August (2018) 1–89. doi: Fraunhofer ISE.
- [22] FERON, Sarah - Sustainability of Off-Grid Photovoltaic Systems for Rural Electrification in Developing Countries: A Review. **Sustainability**. . ISSN 2071-1050. 8:12 (2016) 1326. doi: 10.3390/su8121326.
- [23] LYSEN, Erik H. - **Report IEA-PVPS T9-12: 2012 : Pico Solar PV Systems for Remote Homes**. ISBN 9783906042091.
- [24] ARE - Rural Electrification with Renewable Energy Technologies , quality standards. (2011) 56.
- [25] REN21 - **Global status report** [Online] Disponível em WWW:<URL: www.ren21.net/gsr>. ISBN 978-3-9818107-6-9.
- [26] ALBI, Emily; LIEBERMAN, Andrew - Bringing Clean Energy to the Base of the Pyramid: The Interplay of Business Models, Technology, and Local Context. **Journal of Management for Global Sustainability**. . ISSN 22446885. 1:2 (2013) 141–156. doi: 10.13185/JM2013.01208.
- [27] PRAHALAD, Coimbatore Krishnarao; HART, Stuart L. - The fortune at the bottom of the pyramid. **Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios**. . ISSN 1984-3372. 1:2 (2010) 1. doi: 10.19177/reen.v1e220081-23.
- [28] BARKI, Edgard; PARENTE, Juracy - Consumer Behaviour of the Base of the Pyramid Market in Brazil. **Greener Management International**. . ISSN 09669671. 2006:56 (2006) 11–23. doi: 10.9774/GLEAF.3062.2006.wi.00004.
- [29] HART, Stuart L.; LONDON, Ted - Developing Native Capability: What multinational corporations can learn from the base of the pyramid. **Stanford Social Innovation Review**. (2005) 27–33.
- [30] HAMMOND, Allen L. *et al.* - **The Next 4 Billion: Market Size and Business Strategy at the Base of the Pyramid**. ISBN 1569736251.
- [31] HART, Stuart L.; HART, Stuart L. - Capitalism at the Crossroads: The Unlimited Business Opportunities in Solving the World's Most Difficult Problems. **Power**. September (2005) 160–165.
- [32] KLEIN, Wendy VAN DER *et al.* - BoP Insights Inclusive marketing research Insights and key lessons from three pilots for pro-poor innovation. (2012).
- [33] MAINALI, Brijesh; SILVEIRA, Semida - Alternative pathways for providing access to electricity in developing countries. **Renewable Energy**. . ISSN 09601481. 57: (2013) 299–310. doi: 10.1016/j.renene.2013.01.057.
- [34] LAHIMER, A. A. *et al.* - Research and development aspects on decentralized electrification options for rural household. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. . ISSN 13640321. 24: (2013) 314–324. doi: 10.1016/j.rser.2013.03.057.
- [35] WORLD BANK – **Global Consumption Database** [Online] [Consult. 18 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://datatopics.worldbank.org/consumption/detail#datasource>>.
- [36] UNDP - **Human development reports** [Online] [Consult. 19 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL: <http://hdr.undp.org/en/composite/HDI>>.
- [37] BENINGER, Stefanie; ROBSON, Karen - Marketing at the base of the pyramid: Perspectives for practitioners and academics. **Business Horizons**. . ISSN 00076813. 58:5 (2015) 509–516. doi: 10.1016/j.bushor.2015.05.004.

- [38] DIOUF, Boucar; PODE, Ramchandra - Development of solar home systems for home lighting for the base of the pyramid population. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**. . ISSN 22131388. 3: (2013) 27–32. doi: 10.1016/j.seta.2013.05.005.
- [39] SUBRAHMANYAN, Saroja; TOMAS GOMEZ-ARIAS, J. - Integrated approach to understanding consumer behavior at bottom of pyramid. **Journal of Consumer Marketing**. . ISSN 0736-3761. 25:7 (2008) 402–412. doi: 10.1108/07363760810915617.
- [40] M-KOPA SOLAR - Clean Energy : a Pathway To New Consumer Choices. October (2015) 1–22.
- [41] TIRPAK, DENNIS; ADAMS, HELEN - Bilateral and multilateral financial assistance for the energy sector of developing countries. **Climate Policy**. . ISSN 1469-3062. 8:2 (2008) 135–151. doi: 10.3763/cpol.2007.0443.
- [42] UNEP - Towards Triple impact-Toolbox for Analysing Sustainable Ventures in Developing Countries. (2009) 68.
- [43] Pay-As-You-Go and the Internet of Things : Driving a New Wave of Financial Inclusion in the Developing World Foreword from Michael Froman , Vice Chairman and - May (2018)
- [44] KLEIN, Martin H. - **Poverty Alleviation through Sustainable Strategic Business Models: Essays on Poverty Alleviation as a Business Strategy**. ISBN 9789058921680.
- [45] CHIKWECHE, Tendai; STANTON, John; FLETCHER, Richard - Family purchase decision making at the bottom of the pyramid. **Journal of Consumer Marketing**. . ISSN 0736-3761. 29:3 (2012) 202–213. doi: 10.1108/07363761211221738.
- [46] BALLONOFF, Paul - Providing Access to Electricity for the Unserved: A Free-Market Solution. **Cato Journal**. 33:1 (2013) 29–47.
- [47] WORLD BANK - **Mobile phone access reaches three quarters of planet's population** [Online] [Consult. 23 ago. 2018]. Disponível em WWW:<URL:http://www.worldbank.org/en/news/press-release/2012/07/17/mobile-phone-access-reaches-three-quarters-planets-population>.
- [48] PALEPU, Krishna G.; SINHA, Jayant - Strategies That Fit Emerging Markets - HBR Page 1 of 12. . ISSN 00178012. July 2005 (2015) 1–12. doi: 10.1002/tie.20059.
- [49] WEBB, Justin W. *et al.* - The Entrepreneurship Process in Base of the Pyramid Markets: The Case of Multinational Enterprise/Nongovernment Organization Alliances. **Entrepreneurship Theory and Practice**. . ISSN 10422587. 34:3 (2010) 555–581. doi: 10.1111/j.1540-6520.2009.00349.x.
- [50] SOTO, Hernando De - **The Mystery of Capital: Why Capitalism Triumphs in the West and Fails Everywhere Else**. New York : Basic Books, 2000 Disponível em WWW:<URL:http://www.ingentaconnect.com/content/glbj/top50sb/2009/00000001/00000116/art00034>. ISBN 978-1-907643-44-6.
- [51] RIVERA-SANTOS, Miguel; RUFÍN, Carlos - Global village vs. small town: Understanding networks at the Base of the Pyramid. **International Business Review**. . ISSN 09695931. 19:2 (2010) 126–139. doi: 10.1016/j.ibusrev.2009.07.001.
- [52] WEBB, T. J. *et al.* - Measurements of energy spectra and spatial profile of large-area diode RITS-6 electron beam. Em **2009 IEEE Pulsed Power Conference** [Online]. [S.l.] : IEEE, Jun. 2009 Disponível em WWW:<URL:http://ieeexplore.ieee.org/document/5386339/>. ISBN 978-1-4244-4064-1
- [53] HART, Stuart L.; SHARMA, Sanjay - Engaging fringe stakeholders for competitive imagination. **Academy of Management Perspectives**. . ISSN 1558-9080. 18:1 (2004) 7–18. doi: 10.5465/ame.2004.12691227.
- [54] BITTENCOURT MARCONATTO, Diego Antonio *et al.* - Developing sustainable business models within BOP contexts: mobilizing native capability to cope with government programs. **Journal of Cleaner Production**. . ISSN 09596526. 129: (2016) 735–748. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.038.

- [55] VACHANI, Sushil; SMITH, N. Craig - Socially Responsible Distribution: Distribution Strategies for Reaching the Bottom of the Pyramid. **SSRN Electronic Journal**. . ISSN 1556-5068. (2008). doi: 10.2139/ssrn.1116630.
- [56] LONDON, Ted; HART, Stuart L. - Reinventing strategies for emerging markets: beyond the transnational model. **Journal of International Business Studies**. . ISSN 0047-2506. 35:5 (2004) 350–370. doi: 10.1057/palgrave.jibs.8400099.
- [57] KRITHIKA, P. R.; PALIT, Debajit - **Participatory Business Models for Off-Grid Electrification**. [Online] Disponível em WWW:<URL:http://link.springer.com/10.1007/978-1-4471-4673-5_8>. p. 187–225.
- [58] MUCHUNKU, Charles *et al.* - Diffusion of solar PV in East Africa: What can be learned from private sector delivery models? **Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment**. . ISSN 2041840X. 7:3 (2018) 1–15. doi: 10.1002/wene.282.
- [59] KOIRALA, B. P. *et al.* - Solar lighting systems delivery models for rural areas in developing countries. **Micro Perspectives for Decentralized Energy Supply**. APRIL (2011) 268–278.
- [60] ACEES; KCIC - Kenya Solar Pv Market Assessment. (2015) 44.
- [61] Capture High - Growth Opportunity in Africa Table of Contents. April (2016) 1–30.
- [62] LEMAIRE, Xavier - Off-grid electrification with solar home systems: The experience of a fee-for-service concession in South Africa. **Energy for Sustainable Development**. . ISSN 09730826. 15:3 (2011) 277–283. doi: 10.1016/j.esd.2011.07.005.
- [63] M-KOPA SOLAR - **M-KOPA products** [Online] [Consult. 17 set. 2018]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.m-kopa.com/products/>>.

ANEXO

População rural da África Subsaariana (em termos percentuais) por segmentos de consumo

País	População rural por segmentos de consumo (%)				
	População rural (%)	Muito baixo	Baixo	Médio	Elevado
África do Sul	38,45%	62,13%	30,36%	6,01%	1,50%
Benim	55,74%	97,03%	2,97%	0,00%	0,00%
Burkina Faso	74,33%	98,69%	1,28%	0,02%	0,00%
Burundi	89,36%	99,79%	0,21%	0,00%	0,00%
Camarões	48,49%	97,57%	2,35%	0,08%	0,00%
Cabo Verde	38,17%	60,42%	35,67%	3,70%	0,20%
Chad	78,26%	88,83%	10,99%	0,18%	0,00%
Rep. Dem. Congo	66,27%	99,83%	0,17%	0,00%	0,00%
Rep. Congo	36,78%	72,57%	26,32%	1,11%	0,00%
Costa do Marfim	49,44%	79,00%	19,87%	1,13%	0,01%
Etiópia	83,24%	71,99%	27,85%	0,16%	0,00%
Gabão	14,16%	44,86%	46,48%	8,48%	0,19%
Gâmbia	43,34%	79,07%	20,16%	0,77%	0,00%
Gana	48,79%	80,21%	18,70%	1,08%	0,01%
Guiné	65,03%	97,23%	2,77%	0,00%	0,00%
Lesoto	73,15%	76,17%	21,11%	2,64%	0,09%
Libéria	52,20%	95,61%	4,34%	0,05%	0,00%
Madagascar	68,07%	99,75%	0,23%	0,01%	0,01%
Malawi	84,46%	95,75%	4,11%	0,14%	0,00%

Mali	65,72%	98,71%	1,29%	0,00%	0,00%
Mauritânia	58,77%	71,05%	27,72%	1,21%	0,01%
Maurícia	58,22%	38,00%	51,02%	10,56%	0,43%
Moçambique	69,04%	97,64%	2,18%	0,11%	0,06%
Namíbia	62,18%	85,92%	11,37%	2,08%	0,63%
Niger	82,38%	98,08%	1,86%	0,06%	0,00%
Nigéria	51,00%	94,28%	5,64%	0,08%	0,00%
Quênia	76,43%	93,05%	6,75%	0,20%	0,00%
Ruanda	81,19%	98,63%	1,36%	0,01%	0,00%
São Tomé e Príncipe	38,01%	9,46%	60,85%	28,07%	1,63%
Senegal	57,75%	94,48%	5,52%	0,00%	0,00%
Serra Leoa	61,12%	73,36%	26,26%	0,38%	0,00%
Suazilândia	78,68%	88,48%	9,92%	1,55%	0,05%
Tanzânia	73,72%	98,03%	1,93%	0,04%	0,00%
Togo	62,47%	98,25%	1,75%	0,01%	0,00%
Uganda	84,84%	89,39%	10,21%	0,40%	0,01%
Zâmbia	61,27%	98,96%	1,02%	0,01%	0,00%
Média África Subsaariana	61,96%	83,95%	13,96%	1,95%	0,13%