

ECONOMIA SOLAR CIRCULAR: UM MODELO DE NEGÓCIO PARA PROLONGAR A VIDA ÚTIL DE MÓDULOS SOLARES NUM CONTEXTO URBANO

Marinna Pivatto – marinnapivatto@gmail.com

Lais Vidotto

Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

Leonardo Duarte

SunR - Reciclagem Fotovoltaica LTDA.

Sabrina Ebert

Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Engenharia Elétrica

Fernando Ruttkay

Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Ricardo Rüter

Universidade Federal da Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil

7.2. Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis

Resumo. Levando em consideração o crescimento exponencial de potência instalada em energia solar fotovoltaica e a previsão de 80 milhões de toneladas de resíduos solares sendo descartados até 2050 no mundo, o trabalho buscou propor um Modelo de Negócio Circular de Reuso de Módulos Solares Fotovoltaicos em Segunda Vida no contexto urbano de bairro. Devido às suas características ambientais e sociais, o bairro escolhido foi a Lagoa da Conceição em Florianópolis. Para isto, foi utilizada a ferramenta KATCH_e que utiliza o Business Model Canvas, em seus nove componentes, no contexto da Economia Circular e o diagrama The Value Hill. O Modelo de Negócio foi desenvolvido considerando o comércio local existente no bairro e, para embasar as sugestões propostas neste trabalho, foi utilizado como benchmarking Modelos de Negócio Circulares já implementados no Brasil e no mundo. A plataforma KATCH_e foi essencial para instigar a transição de um modelo de negócio linear para um circular, especialmente ao considerar a integração de módulos fotovoltaicos na região da Lagoa da Conceição. A aplicação dos princípios da Economia Circular revelou benefícios, como aumento na participação da cadeia de valor e atração de novos clientes em comparação com o modelo linear tradicional. O levantamento no bairro identificou instaladores, potenciais pontos de divulgação e coleta, além de novos clientes interessados. No entanto, a falta de recicladores em Florianópolis e a ausência de práticas de descarte para os módulos fotovoltaicos são desafios a serem superados.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Economia Circular, Reuso

1. INTRODUÇÃO

O crescimento exponencial do uso de módulos fotovoltaicos (FV) pode solucionar problemas relacionados à geração de energia de baixo carbono, porém pode exacerbar outros problemas. O processo de fabricação do módulo solar faz uso de recursos escassos, como prata, telúrio e cobre. Estima-se que até 2030 a produção de prata pode atingir o pico com risco de a demanda superar a oferta por volta de 2075. Embora esses metais sejam necessários para a transição da economia de baixo carbono, o aumento exponencial do uso pode agravar problemas sociais e ecológicos (WALZBERG; CARPENTER; HEATH, 2021).

Este processo e seu consumo estão baseados no modelo de Economia Linear (EL) onde a Indústria utiliza a ideia de “extrair, produzir, descartar”. Neste modelo, as fases que caracterizam esta ideia iniciam-se com a extração de matérias-primas do ambiente, que depois são transformadas em materiais e montadas de formas que não podem ser desconstruídas, tornando-se obsoletas no final da vida útil do sistema. Isso faz com que o pensamento linear seja o grande responsável pelo descarte de resíduos em aterros ou por sua incineração (BENACHIO; FREITAS; TAVARES, 2020).

Este modelo linear também ocorre na implantação fotovoltaica, que em grande escala produzirá quantidades substanciais de resíduos fotovoltaicos em fim de vida útil ou devido ao descarte antecipado, seja por motivos financeiros, tecnológicos ou de desastres naturais. Desta forma, até 2050, a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) estima que 80 milhões de toneladas (Mt) cumulativas de módulos fotovoltaicos sejam descartados globalmente (IRENA; IEA-PVPS, 2016).

Segundo a ANEEL, no Brasil se instalaram mais de 1 GWp de módulos fotovoltaicos em cada mês do ano de 2023. Cerca de 70% destes módulos foram instalados em sistemas fotovoltaicos em telhados, a maior parte deles em residências unifamiliares. Este cenário traz à tona que a necessidade de lidar com resíduos solares na cidade deve ser colocado em pauta nas discussões socioambientais antes que os descartes ocorram de forma desordenada. Com isso, a

cidade de Florianópolis foi escolhida para este trabalho; sua dinâmica urbana se dá em cinco regiões, 13 distritos e 49 bairros.

O bairro da Lagoa da Conceição faz parte da região leste de Florianópolis juntamente com os bairros Barra da Lagoa e São João do Rio Vermelho, sendo uma das regiões mais famosas por seus atributos naturais. A Lagoa da Conceição possui um ecossistema exuberante, e muitos turistas visitam este bairro. Além do atrativo das águas, o relevo e reservas ambientais que circundam a Lagoa tornam a paisagem inigualável e muito atrativa. Entretanto, essas mesmas características concedem à região muita complexidade para o desenvolvimento sustentável. Particularmente, nesta pesquisa, a manutenção da paisagem local (que pode ser bastante prejudicada pelos sistemas de distribuição de energia elétrica), as características do relevo (montanhoso) e o apelo ecológico, tornam o local ideal para a disseminação de estratégias associadas à economia circular e energia fotovoltaica (BUBLITZ BIER, 2013). Neste contexto, o Bairro Lagoa da Conceição foi selecionado como local de estudo por possuir uma situação bastante crítica, mas com possibilidade de iniciativas sustentáveis e impactos socioeconômicos positivos dentro do município de Florianópolis.

2. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

A partir deste cenário, é necessário implementar outro modelo econômico, que vem ganhando destaque nas últimas décadas, a Economia Circular (EC). Este modelo visa melhorar a gestão de recursos ao longo de toda a cadeia produtiva. Através de uma série de relatórios, a Ellen Mac-Arthur Foundation promove ideias e oportunidades de implementação da Economia Circular, definindo-a como um sistema regenerativo que visa manter os materiais em circuito fechado a fim de maximizar seu valor (EMF, 2015).

Em 2022, a energia solar FV tornou-se a segunda fonte de energia elétrica de maior potência instalada no Brasil. No entanto, dois grandes problemas permanecem: (1) mais de um milhão de brasileiros ainda não têm acesso à energia, expondo a pobreza energética nacional, e (2) a Agência Internacional de Energia Renovável estima que até 2050 o Brasil terá 750 mil toneladas de módulos fotovoltaicos descartados (IRENA, 2022). Estudos recentes revelam alternativas para trazer maior circularidade para o final da primeira vida destes módulos que seriam descartados, através da reutilização destes componentes. O reuso de módulos fotovoltaicos em uma segunda-vida pode auxiliar no atingimento de uma transição energética justa e aumentar o acesso da população à energia solar (NDZIBAH; PINILLA-DE LA CRUZ; SHAMSUZZOHA, 2022). Por isso, é importante analisar em conjunto a Energia Solar Fotovoltaica e a Economia Circular (EC) com o objetivo de mitigar os impactos negativos da tecnologia através de modelos de negócio voltados para compartilhamento de recursos, reparo, reutilização e reciclagem dos módulos FV (WALZBERG; CARPENTER; HEATH, 2021). A vida útil, garantida pelo fabricante de módulos FV varia de 20 a 30 anos, porém estudos apontam que o descarte antecipado se tornou algo recorrente em muitos países como Austrália, China, Japão e Estados Unidos (TAN et al., 2022). Um dos fatores decisivos de descarte antecipado é econômico. Na Austrália, em 2011 o governo federal reduziu os custos iniciais para instalação de sistemas FV residenciais em aproximadamente 30%, fazendo com que o número de instalações duplicasse no país. Em 2020, descontos estatais e empréstimos sem juros foram fornecidos e esses incentivos permitiram a substituição dos sistemas antigos (com até nove anos de uso) por novos, desencadeando o descomissionamento precoce de sistemas tecnicamente sólidos e consequentemente um problema socioambiental não previsto pelas autoridades públicas (TAN et al., 2022).

Em Florianópolis, um cenário de benefícios fiscais ocorreu em 2016, no qual a concessionária de energia elétrica da cidade custeou 60% do valor de sistemas fotovoltaicos para 1350 residências, a fim de estimular a instalação de sistemas FV residenciais (FLORIANÓPOLIS, 2023). Desta forma, se em um futuro breve outro benefício financeiro for implementado, há chances de desencadear também um descomissionamento precoce na cidade. Estes são exemplos que mostram que a estimativa da IRENA para 2050 pode acontecer de forma antecipada, e o que parecia ser um problema do futuro, se tornará um problema do presente. No caso de Florianópolis, que é a capital brasileira com o maior número de sistemas fotovoltaicos instalados em residências do país, os bairros da cidade devem estar preparados para lidar com um possível descomissionamento em massa se estes cenários se concretizarem.

A utilização de módulos FV de segunda mão varia conforme o nível de desenvolvimento dos países. Em nações mais avançadas, esses módulos são predominantemente empregados na manutenção de sistemas FV que desfrutam de incentivos governamentais ou na melhoria de sistemas com desempenho insatisfatório. Nos países de baixa renda, esses módulos são utilizados em sistemas FV de pequeno a médio porte que operam de forma independente da rede elétrica. O desafio atual consiste em avaliar a funcionalidade dos módulos, estabelecendo padrões de teste essenciais para assegurar a qualidade e diferenciar aqueles que podem ser reutilizados daqueles que não podem, que neste caso devem seguir para a reciclagem dos materiais que os compõem. Por fim, estima-se que o mercado global de reutilização tenha um tamanho de cerca de 1 GWp/ano, dos quais 0,3 GWp/ano são provenientes da Europa, principalmente da Alemanha. Na Europa, módulos FV usados têm um preço médio de cerca de R\$ 0,53 por watt, em contraste com o valor de aproximadamente R\$ 1,25 por watt para módulos FV novos (VAN DER HEIDE et al., 2020).

Um modelo de negócio descreve o formato das operações de negócios e sua continuidade através do entendimento profundo da lógica de criação, entrega e captura de valor por parte de uma organização. Para compreender plenamente um Modelo de Negócios, uma ferramenta atraente e simples deve ser usada pelas organizações, com o objetivo de criar uma linguagem comum que permita criar estratégias inovadoras e desafiar as suposições sobre determinado modelo (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010). A análise e compreensão eficazes desses segmentos de criação de valor ajudarão uma empresa a se adequar bem às estratégias circulares. Esses componentes estão interligados e são interdependentes

uns dos outros. O Business Model Canvas é uma metodologia que consiste em nove sessões inter-relacionadas que buscam responder quatro questões: “Como?” através dos componentes (1) atividades chave, (2) parcerias chave e (3) recursos chave; “Quanto?” através dos componentes (4) estrutura de custo e (5) fontes de receita; “O que?” através do componente (6) proposta de valor; e, por fim, a questão “Quem?” através dos componentes (7) relacionamento com o cliente, (8) canais de comunicação e (9) segmento de clientes. Além disso, a metodologia possui um formato padrão para guiar a utilização conforme exemplo da Fig. 1 (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010)



Figura 1 - Método Canvas (nove componentes)

Após a definição de Modelo de Negócio e os nove componentes do Canvas, é importante compreender as estratégias de negócio, e para isso uma ferramenta apropriada é o diagrama The Value Hill. O diagrama é uma ferramenta que contempla três fases circulares principais: a subida (pré uso), o topo (durante o uso) e a descida (pós uso). Conforme Fig. 2, o diagrama apresenta o modelo 9R indicando que cada fase possui características únicas e as organizações podem incorporar quantas estratégias circulares forem de seu interesse, a depender dos recursos que possuem. Vale ressaltar que na fase de uso, a filosofia circular implica na maior duração do uso do produto, como mostra o topo da colina as opções de Recusar, Reduzir, Revender e Reutilizar. Já na descida (pós uso) o diagrama manifesta a destruição do valor anteriormente construído, porém indica que é de suma importância incorporar várias medidas de circularidade para manter o valor do produto enquanto ele desce ladeira abaixo (R3 ao R9). A conscientização e compreensão do diagrama circular Value Hill ajuda as empresas a definirem suas estratégias circulares ao longo de toda vida útil do material (UPADHAYAY; ALQASSIMI, 2020).

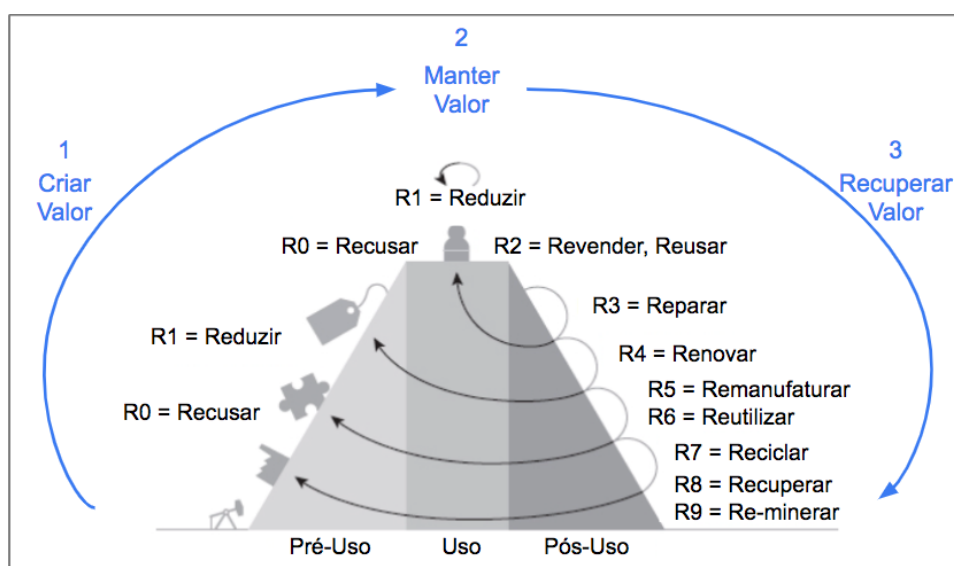


Figura 2 - Diagrama de Value Hill

Com o intuito de exemplificar a Economia Circular através da definição de um Modelo de Negócio que contempla os princípios do diagrama The Value Hill, foi escolhido o método “CE Strategist - KATCH_e” para desenhar o Modelo

de Negócio Circular de Reuso de Módulos Solares Fotovoltaicos em Segunda Vida. Desta forma, o objetivo da ferramenta utilizada foi evitar o desperdício de recursos que, mesmo sem o máximo desempenho, ainda podem ter valor agregado para o mercado e para a sociedade.

3. METODOLOGIA

A ferramenta CE Strategist, desenvolvida pela KATCH_e, surgiu em prol da capacitação para Economia Circular em Setores de Construção e Mobiliário. A ferramenta faz parte de um projeto de 3 anos financiado pela União Europeia (UE) do programa ERASMUS+ da Alianças do Conhecimento. O KATCH_e reuniu 11 parceiros de quatro países da UE para enfrentar o desafio de reforçar as aptidões e competências no domínio do desenvolvimento de produtos-serviços para a economia circular e sustentabilidade. Um dos objetivos da KATCH_e foi desenvolver ferramentas práticas e amigáveis para ajudar o usuário a identificar Oportunidades de Negócios Circulares e fornecer ideias e inspiração ao longo do processo de definição de um Modelo de Negócio Circular (“KATCH-e”, 2017).

O usuário da ferramenta deve ter um produto específico em um contexto específico (empresa, mercado, região, clientes e produção) em mente, que é posteriormente analisado. O resultado esperado é uma descrição do modelo de negócios, com base na Economia Circular. As etapas do método são apresentadas na Tab. 1:

Tabela 1 - Descrição das etapas da metodologia

Etapa	Descrição
1 - Descrever o modelo de negócio atual (linear)	Através do Canvas* fornecido pela plataforma, nesta etapa são identificados os nove componentes do atual, e linear, modelo de negócio: principais parceiros, atividades, recursos chaves, proposta de valor, relacionamento com o cliente, canais de atendimento, segmento de clientes, estrutura de custos e fontes de receita.
2 - Avaliar estratégias de negócios da EC	A plataforma faz várias perguntas que visam fazer o usuário identificar as Estratégias de Negócios da Economia Circular mais adequadas ao negócio escolhido, para capturar novos valores ao longo do ciclo de vida do produto. As perguntas abrangem todo o ciclo de vida do produto, desde as fases de pré-uso, uso até o pós-uso.
3 - Escolher estratégias relevantes de EC	Após identificar quais são as estratégias mais adequadas ao modelo de negócio, nesta etapa o usuário escolhe qual delas faz sentido, no momento atual do mercado e do produto, implementar e acompanhar seus desempenhos.
4 - Projetar seu modelo de negócios circular	Nesta etapa, as estratégias escolhidas serão adicionadas ao Canvas original e com isso é possível editar os nove componentes (identificados na Etapa 1) adicionando para cada componente estratégias circulares.
5 - Comparar e exportar os resultados	Por fim, a plataforma compara o Canvas do modelo linear (criado na etapa 1) com o Canvas Circular (criado na etapa 4). Os resultados podem ser exportados no formato PDF para posterior consulta e implementação.

*Canvas: Uma linguagem comum para descrever, visualizar, avaliar e alterar modelos de negócios.

Além das cinco etapas da ferramenta CE Strategist - KATCH_e, para esta pesquisa adaptou-se a ferramenta CE Strategist adicionando duas sub etapas a fim de identificar o potencial da aplicação do modelo circular no bairro da Lagoa da Conceição. Para isso, durante a etapa 4, foram mapeados potenciais agentes do modelo circular, como por exemplo, parceiros que já conhecem a energia solar no bairro, pontos de coleta e empresas de materiais e serviços. Por fim, também foi feita uma pesquisa de mercado para identificar outros modelos brasileiros ou internacionais com cunho circular e embasar a concepção do trabalho.

4. RESULTADOS

4.1 Estratégias de Negócios para o modelo de negócio circular

Na etapa 2 do método, são respondidas diversas perguntas sobre o modelo de negócios, a fim de que o usuário identifique como capturar valor ao longo da colina (The Value Hill). A Fig. 3 apresenta o resultado das respostas frente ao potencial de captura de valor identificado para as três fases do diagrama: pré-uso (subida), uso (Tophill) e pós uso (ladeira abaixo). Na etapa seguinte, foram escolhidas quatro estratégias (Tab. 2), levando em consideração as características do atual mercado de Módulos Solares Fotovoltaicos do Brasil. Duas estratégias são da fase de Uso: (1) Serviços orientados para resultados e (2) Serviços orientados para o produto. E as outras duas da fase de Pós-Uso: (3)

Reuso e (4) Recaptura de material/reciclagem em circuito fechado. A plataforma KATCH_e apresenta a definição para todas as estratégias possíveis demonstrando como há diversas opções para transformar um modelo de negócio linear em circular.

Você consegue capturar valor por...

subida

... escolher materiais sustentáveis e recuperáveis para o seu produto? alto potencial v

... maximizando a eficiência dos recursos no processo de produção? potencial muito alto v

... antecipando cenários pós-uso no projeto? potencial muito alto v

... fornecendo produtos de longa duração e alta qualidade? potencial médio v

Tophill

... oferecendo serviços que prolongam a vida útil do produto na fase de uso? potencial muito alto v

... adicionando serviços aos produtos vendidos que prolongam sua vida útil? potencial médio v

... manter a propriedade dos produtos e alugá-los? potencial muito alto v

... oferecendo apenas a funcionalidade que os usuários procuram como serviço? alto potencial v

ladeira abaixo

... remarketing de produtos usados? potencial muito alto v

... remarketing de produtos atualizados/remanufaturados/recondicionados? potencial muito alto v

... recapturando materiais de produtos descartados? alto potencial v

Figura 3 - Resumo das respostas para captura de valor nas três fases do diagrama The Value Hill

Tabela 2 - Descrição das quatro estratégias escolhidas

Fase	Estratégia	Descrição
Pós Uso	Reuso	Fornecimento de produtos usados para novos clientes.
Pós Uso	Recaptura de material/reciclagem em circuito fechado	Reciclagem em circuito fechado: recapturar materiais e componentes e/ou transformar resíduos em novos materiais substituindo o uso de materiais virgens
Uso	Serviços orientados para resultados	Clientes e fornecedores alinham-se em torno de um resultado específico, não necessariamente vinculado a um produto predefinido. Todos os recursos empregados para alcançar esse resultado transformam-se em fatores de custo para o provedor, gerando um incentivo financeiro para sua utilização da maneira mais eficiente possível. Exemplos dessa abordagem são altamente personalizados e específicos para setores, como na gestão/terceirização de atividades (por exemplo, contratação de energia por assinatura, aluguel mensal de carros).
Uso	Serviços orientados para o produto	Os produtos são vendidos aos consumidores com serviços extras visando prolongar a fase de uso do produto. Exemplos incluem garantias estendidas, contratos de serviço, fornecimento de consumíveis, acordo de devolução, consultoria, etc.

4.2 Resultados: Modelo de Negócio Circular

Após a seleção das quatro estratégias mais adequadas ao contexto atual do bairro da Lagoa da Conceição e ao mercado de Energia Solar, a ferramenta as relacionou aos nove componentes do Canvas Business Model. Dessa maneira, foi possível desenvolver alternativas para cada um desses componentes e criar soluções práticas para abordar cada desafio. Considerando que o presente estudo focou nos moradores do bairro da Lagoa da Conceição, para este

texto foram escolhidos os componentes que estão diretamente relacionados a responder às perguntas “O que?” através do componente (1) Proposta de Valor e a pergunta “Quem?” através dos componentes: (2) Segmento de Clientes, (3) Canais de Comunicação e (4) Relacionamento com o Cliente. Seguem abaixo os resultados das associações das estratégias e as propostas para a implementação de um modelo circular no bairro:

1 Proposta de valor: Como proposta de valor, a ferramenta indica pensar em desempenho do produto focando no resultado, ou seja, fornecer energia elétrica ao invés do produto “Módulo FV”, trazendo como opção o modelo de cooperativas de energia, onde vários consumidores se reúnem para adquirir um sistema compartilhado a fim de garantir que todos tenham energia solar fotovoltaica a um custo individual menor. Foi utilizado como benchmark a ONG Revolusolar¹ que desenvolveu a primeira cooperativa de energia em uma favela do Rio de Janeiro. Neste sentido, os locais mapeados na Lagoa da Conceição levaram em consideração que nas imagens do Google Maps® o telhado estava livre, apto para instalação de um sistema fotovoltaico, e que estes são espaços públicos com possibilidade de criar uma cooperativa. Estes locais são por exemplo: Terminal de Ônibus, Delegacia de Polícia civil e militar, Laboratório de Cultivo de Algas da UFSC, Laboratório de Piscicultura Marinha – LAPMAR - UFSC, escolinha de Tênis Guga Kuerten, escolas municipais, centro de saúde da Barra da Lagoa e associação de moradores da Lagoa.

Além disso, como proposta de valor é sugerido pensar em sustentabilidade como um produto, neste caso, pode-se usar de exemplo o atual certificado do Instituto Italiano de Plástico, o IIP que certifica o uso de Segunda Vida de plásticos. Desta forma, trazendo para o modelo de negócio de módulos de Segunda Vida pode ser criado um selo de Influência Sustentável e Social na Transição Energética para doadores de módulos fotovoltaicos de Segunda Vida. Ou, conforme benchmark da empresa alemã 2ndlifeSolar² é possível realizar testes elétricos e de segurança nos módulos FV e certificar o produto antes de reutilizar.

Outra estratégia é o gerenciamento de ativos pós-fase de uso para armazenar, remanufaturar, reformar, atualizar e revender produtos. Como por exemplo, as cinco empresas mapeadas que já atuam como instaladores de módulos solares na Lagoa da Conceição podem se tornar pontos de coleta de Módulos Solares usados. Assim que acumulado uma quantidade relevante, podem ser enviados para o reciclador. O reciclador irá avaliar se o módulo FV pode ou não ser reutilizado e enviará para certificação. Após certificado, o produto é enviado novamente para o revendedor para ser vendido como Segunda Vida. Na pesquisa de mercado, foram encontradas cinco empresas no bairro da Lagoa da Conceição que poderiam ser potenciais parceiros de coleta e revenda, uma empresa chamada SunR³ no estado de São Paulo que atua como recicladora e nenhuma empresa de certificação.

2 Segmento de Clientes: No modelo circular a plataforma indica a possibilidade de novos clientes (conscientes da qualidade, clientes ecológicos, conscientes dos custos) e clientes verticais (novos segmentos de clientes fora da cadeia de valor atual como por exemplo: simbiose industrial, recipientes de fluxos de resíduos). Neste caso foi pensado que os novos clientes seriam aqueles que atualmente não possuem condições financeiras para adquirir um sistema fotovoltaico novo, mas que porém, com a utilização de módulos de Segunda Vida, o sistema se torna mais barato e com isso, mais acessível para populações de baixa renda e projetos sociais. Foi utilizado como benchmark o instituto Coldharbour Institute dos Estados Unidos⁴ na qual a missão é levar energia solar onde é mais importante, isto é, em contextos em que ela possa ter alto impacto na vida das pessoas de baixa renda. O instituto utiliza a doação de módulos de segunda vida.

3 Canais de comunicação: No modelo circular, se faz necessário pensar nos canais de retorno, onde se oferece um método para coletar produtos após a fase de uso, e canais de revenda, onde se oferece canais de uso secundário (pode ser ou não um local distinto do canal primário para novos produtos), como estratégias circulares. Para o Modelo de Negócio escolhido, foi utilizado o benchmarking brasileiro de modelos similares existentes como o Repassa das Lojas Renner⁵ (compra e venda de roupas usadas), a plataforma circular da Decathlon⁶ que utiliza o mesmo site de vendas de produtos novos para vender produtos usados. Além disso, foi realizado benchmark em duas plataformas que já atuam com segunda vida de módulos FV, uma americana SolarRecycle⁷ na qual apresenta diversas empresas que atuam no setor, bem como ONGs e recicladoras em todo território norte-americano. Desta forma, a plataforma une a oferta e demanda de forma transparente, e busca viabilizar negócios entre agentes do setor. Além disso, foi realizado *benchmarking* com a plataforma alemã SecondSol⁸ que atua como um *marketplace* efetivando a venda de módulos usados e de produtos novos, assim como a Decathlon.

4 Relacionamento com o cliente: Nesta etapa, se faz necessário pensar em um relacionamento recorrente com o cliente, através de atualizações, manutenção, reparo e complementos. Além disso, relacionamento de longo prazo através de contratos, assinaturas, leasing e serviços. Nestes casos, as mesmas empresas que fazem a venda/instalação, podem manter contato com os clientes através de serviços de manutenção e descarte, como também, podem oferecer contratos de manutenção preventiva (limpeza e reparos), seguros e troca do sistema fotovoltaico quando necessário. Na Lagoa da Conceição, atualmente há cinco empresas que atuam no mercado de energia solar como vendedoras e

¹ <https://revolusolar.org.br>

² <https://2ndlifesolar.de/>

³ <https://sunr.com.br>

⁴ <https://www.coldharbourinstitute.org/>

⁵ <https://www.repassa.com.br/>

⁶ <https://www.decathlon.com.br/>

⁷ <https://www.solarrecycle.org/>

⁸ <https://www.secondsol.com/en/index.htm>

instaladoras de módulos FV novos e considerando o modelo circular, poderiam prestar serviço para todo o bairro bem como coletar os módulos quando os clientes necessitarem descomissionar seus sistemas. Desta forma, no modelo de economia circular o agente “Instalador” passaria a ter um papel muito mais central e importante do que possui atualmente no modelo de economia linear.

O diagrama apresentado na Fig. 4 ilustra o fluxo de materiais no contexto do modelo linear do ciclo de vida do módulo FV em comparação com o fluxo de materiais no modelo de negócio circular. É evidente que o fluxo no modelo circular possui mais agentes envolvidos na cadeia de valor se comparado com o fluxo linear, ou seja, no modelo circular novos negócios são criados. Desta forma, o fluxo circular envolve diversas interações entre os participantes da cadeia em várias etapas e não possui um início e fim bem definidos visto que um dos objetivos da economia circular é proporcionar a circularidade do processo. Além disso, o fluxo circular necessita de uma boa comunicação entre agentes do setor e clientes, fazendo com que o ponto de divulgação se torne altamente relevante neste modelo. Esse fluxo também ressalta a relevância e o desafio logístico, uma vez que manter o material na cadeia por um período prolongado requer movimentações adicionais entre os participantes. Portanto, torna-se fundamental aprimorar a capacidade organizacional das empresas para a implementação do modelo de negócio circular e elaborar estratégias para promover o desenvolvimento de conhecimento técnico entre os participantes.

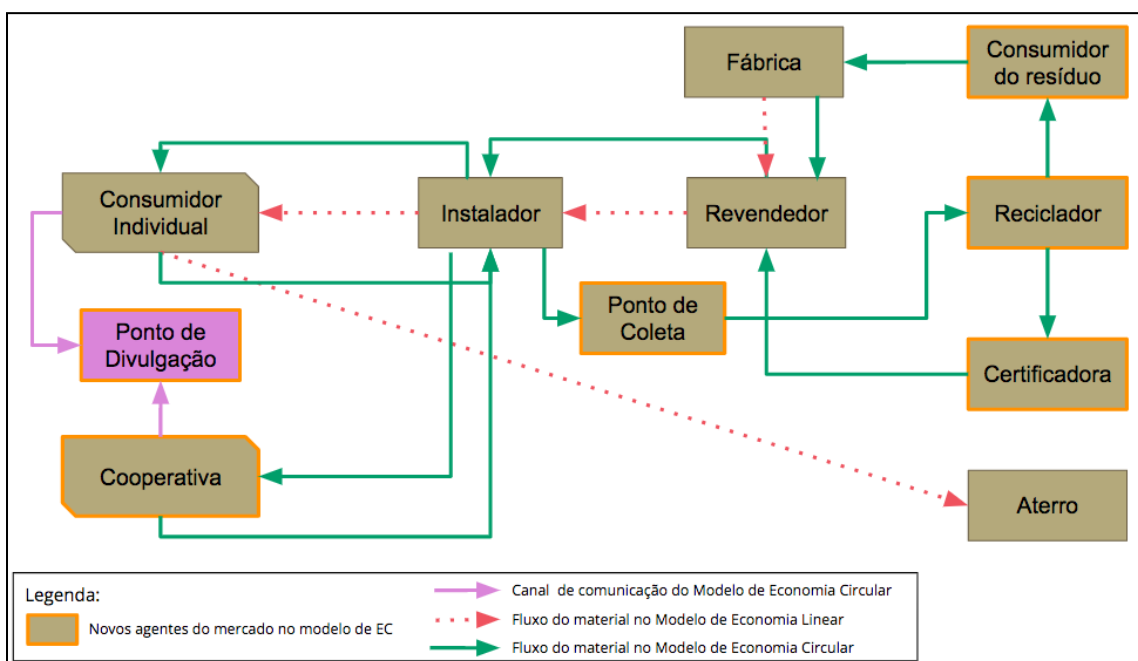


Figura 4 - Fluxo do material entre os agentes da cadeia de valor no modelo de Economia Linear e Economia Circular

Por último, ao aplicar os princípios da economia circular via plataforma KATCH_e, é perceptível uma maior complexidade na cadeia de valor devido à inclusão de novos participantes, bem como um aumento na responsabilidade de outros. No entanto, como contrapartida, o fluxo de materiais no modelo circular se transforma em um ciclo fechado, resultando em um aumento de empregos e transações entre os envolvidos, impulsionando o mercado e evitando que produtos de qualidade sejam desperdiçados em aterros. Além disso, mais clientes têm a oportunidade de acessar a tecnologia devido à redução dos custos dos materiais.

5. CONCLUSÕES

A plataforma KATCH_e foi fundamental e de grande valia para instigar o pensamento circular em um modelo de negócio linear existente. Após a organização das potenciais sugestões para viabilizar um modelo de negócio circular envolvendo módulos fotovoltaicos na região da Lagoa da Conceição, tornou-se evidente que a aplicação dos princípios da Economia Circular resulta em um aumento no número de participantes na cadeia de valor, assim como na atração de novos clientes em comparação com o tradicional modelo de Economia Linear. Através do levantamento realizado no bairro, foi constatado que atualmente existem instaladores, possíveis pontos de divulgação e coleta, bem como potenciais novos clientes que podem se beneficiar com a implementação das sugestões. No entanto, é importante mencionar que ainda não há recicladores em Florianópolis e o descarte de módulos fotovoltaicos ainda não foi iniciado na cidade.

Adicionalmente, na Europa, onde os módulos FV usados são comercializados a uma média de cerca de R\$ 0,53 por watt, em contraste com o valor de aproximadamente R\$ 1,25 por watt para módulos FV novos. Essa disparidade de

preços estimula a aquisição de módulos FV de segunda mão, mas no Brasil não se tem ainda um preço formado para os módulos de segunda vida. No entanto, isso também apresenta um desafio significativo para os vendedores, devido aos custos logísticos elevados e à necessidade de certificação da qualidade do produto. Isso destaca a necessidade real de um modelo de negócios circular bem elaborado, que leve em consideração essas complexidades. Concluindo, o cenário atual sugere que é viável planejar cuidadosamente o modelo circular, implementar soluções e resolver os desafios logísticos antes que a demanda surja, prevenindo assim futuros problemas.

As dificuldades que podem surgir durante a implementação de um modelo circular estão relacionadas a todos os parceiros da cadeia. Portanto, será necessário influenciar a perspectiva dos consumidores em relação aos novos produtos e serviços oferecidos pelo modelo circular, persuadir as autoridades públicas sobre a importância de antecipar-se às exigências legais e motivar as empresas a reconhecerem a necessidade de mudar a forma como produzem, demonstrando que é possível combinar a venda de produtos físicos com a prestação de serviços.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.
- Benachio, G. L. F.; Freitas, M. do C. D.; Tavares, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production* Elsevier Ltd, , 1 jul. 2020.
- Bublitz Bier, F. Caracterização morfométrica e hidrológica da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC. [s.l: s.n.].
- Celades, I. et al. KATCH_e: Introducing circular economy into higher-education design curricula Overview of the training needs, state of the art. 2017.
- EMF. Rumo À Economia Circular : O Racional De Negócio Para Acelerar a Transição. Ellen MacArthur Foundation, p. 22, 2015.
- Florianópolis, E. Eletricista Florianópolis | Desterro Eletricidade. Disponível em: <<https://www.desterroeletricidade.com.br/blog/energia-fotovoltaica/programa-da-celesc-vai-custear-60-da-instalacao-de-sistema-de-energia-solar-em-residencias-catarinenses/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.
- Irena; IEA-PVPS. End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. [s.l: s.n.].
- KATCH-e. Disponível em: <<https://www.katche.eu/pt/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.
- Ndzibah, E.; Pinilla-De La Cruz, G. A.; Shamsuzzoha, A. Collaboration towards value creation for end-of-life solar photovoltaic panel in Ghana. *Journal of Cleaner Production*, v. 333, 20 jan. 2022.
- Osterwalder, A.; Pigneur, Y. Business Model Generation: A Handbook For Visionaries, Game Changers, And Challengers. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.amazon.comsr/>.
- TAN, V. et al. Estimating the Lifetime of Solar Photovoltaic Modules in Australia. *Sustainability (Switzerland)*, v. 14, n. 9, 1 maio 2022.
- Upadhayay, S.; Alqassimi, O. A Study on Assessing a Business Viability for Transition to a Circular Economy. *Westcliff International Journal of Applied Research*, v. 4, n. 1, p. 78–94, 20 nov. 2020.
- Van Der Heide, A., Tous, L., Wambach, K., Poortmans, J., Clyncke, J., & Voroshzi, E. (2021). Towards a successful re-use of decommissioned photovoltaic modules. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. <https://doi.org/10.1002/pip.3490>
- Walberg, J.; Carpenter, A.; Heath, G. A. Role of the social factors in success of solar photovoltaic reuse and recycle programmes. *Nature Energy*, v. 6, n. 9, p. 913–924, 1 set. 2021.

CIRCULAR SOLAR ECONOMY: A BUSINESS MODEL TO EXTEND THE LIFESPAN OF SOLAR MODULES IN AN URBAN CONTEXT

Abstract. *Considering the exponential growth in installed capacity of photovoltaic solar energy and the forecast of 80 million tons of solar waste being discarded globally by 2050, the project aimed to propose a Circular Business Model for the Reuse of Photovoltaic Solar Modules in Second Life in the urban context of a neighborhood. Due to its environmental and social characteristics, the chosen neighborhood was Lagoa da Conceição in Florianópolis. The KATCH_e tool, utilizing the Business Model Canvas with its nine components in the context of Circular Economy and The Value Hill diagram, was employed for this purpose. The Business Model was developed considering the existing local commerce in the neighborhood, and Models of Circular Business already implemented in Brazil and worldwide were used as benchmarks to support the suggestions proposed in this work. The KATCH_e platform was essential in instigating the transition from a linear to a circular business model, especially when considering the integration of photovoltaic modules in the Lagoa da Conceição region. The application of Circular Economy principles revealed benefits such as increased participation in the value chain and the attraction of new customers compared to the*

traditional linear model. The survey in the neighborhood identified installers, potential points for promotion and collection, as well as new interested customers. However, the lack of recyclers in Florianópolis and the absence of disposal practices for photovoltaic modules pose challenges to be overcome.

Keywords: *Photovoltaic Solar Energy, Circular Economy, Reuse*