

MODELO DE NEGÓCIO PARA ATENDER À DEMANDA DE PEQUENOS GERADORES DE RESÍDUOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA RECICLAGEM

Laura Zambotto Olbrich – laura.zolbrich@gmail.com

Láís Cassanta Vidotto

Sebastião Roberto Soares

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental

7.2. Impactos sociais, econômicos e ambientais de energias renováveis

Resumo. A composição da matriz elétrica brasileira está passando por mudanças significativas devido ao crescente potencial de geração de energia solar nos últimos anos. Com esse rápido avanço, espera-se um aumento contínuo no número de módulos solares atingindo o fim de vida útil, impulsionando o surgimento de empresas de reciclagem para atender essa demanda emergente. Um grande desafio de transporte identificado no setor de reciclagem fotovoltaica no Brasil é a disparidade significativa entre clientes com volumes de descarte menores e aqueles com volumes maiores. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um modelo de negócio capaz de atender às pequenas demandas de coleta de módulos fotovoltaicos para a reciclagem, dentro do contexto de uma empresa de reciclagem de módulos fotovoltaicos do país. Para isso foram segmentados os municípios brasileiros, por meio de levantamento e normalização de dados, utilizando a metodologia de matriz de decisão. Essa análise levou à identificação do município mais vantajoso para uma implementação teste do modelo de negócio proposto. Para desenvolver a estratégia foi utilizado a premissa dos quatro elementos de elaboração de modelos de negócios do British Standards Institution, juntamente com a elaboração de um mapa mental e com a ferramenta Business Model Canvas. Florianópolis emergiu como o município mais favorável para a aplicação do modelo de negócio proposto, estendendo-se futuramente aos municípios brasileiros com alta concentração de geração distribuída de energia solar. A estratégia desenvolvida envolve o estabelecimento de um Ponto de Entrega de Módulo Solar. Este artigo descreve as etapas envolvidas no modelo de negócio proposto. Embora o estudo apresente uma estratégia abrangente, há limitações como a falta de dados específicos sobre custos médios de transporte dos módulos e lucratividade por material reciclado vendido.

Palavras-chave: Módulo Fotovoltaico, Modelo de Negócio, Economia Circular.

1. INTRODUÇÃO

A energia solar ocupa a segunda posição em termos de capacidade de geração na matriz elétrica nacional, sendo superada apenas pela energia produzida por usinas hidrelétricas (ABSOLAR, 2023). A rápida ascensão experimentada nos últimos cinco anos desse modelo de energia, deve se manter em ritmo acelerado nos próximos anos (MME, 2023). Tendo em vista essa expansão da energia solar no Brasil, o número de módulos solares que vão atingir o estágio de fim de vida aumentará constantemente. Esses módulos fotovoltaicos, quando descartados de forma inadequada, podem representar um sério risco ambiental, tornando-se resíduos perigosos (CHOWDHURY et al., 2020). Segundo a revista PV Magazine (2023), nos primeiros seis meses daquele ano a SunR, empresa especializada na logística reversa e reciclagem de equipamentos fotovoltaicos, já havia recebido pelo menos 200 toneladas de módulos para recuperação, e em seus 3 anos de funcionamento recebeu 723 toneladas.

Essas práticas de reciclagem dos módulos estão diretamente associadas aos princípios da economia circular. A definição deste conceito estabelecida por Figgie et al. (2023) diz que: A economia circular é um sistema de múltiplos usos de recursos que estipula o fechamento completo de todos os ciclos de insumos. Práticas como reciclagem e outras estratégias que otimizam a escala e a direção dos fluxos de recursos, contribuem para a economia circular. Em sua forma conceitual perfeita, todos os ciclos de recursos serão fechados. Em sua forma realista imperfeita, algum uso de recurso virgem é inevitável.

Uma transição global para uma economia circular oferece oportunidades para todas as empresas desenvolverem novos negócios, expandirem em novos mercados e alcançarem um crescimento sustentável (SITRA, 2023). Tendo isso em vista, realizou-se um estudo de caso com a empresa SunR, especializada na gestão integrada de resíduos provenientes de sistemas fotovoltaicos. A empresa identificou uma preocupante disparidade entre clientes com demandas por serviços de coleta e destinação de resíduos fotovoltaicos menores e aqueles com demandas maiores. Isso ocorre devido ao custo do frete que é arcado pelos clientes. Consequentemente, o custo por material descartado torna-se significativamente maior para clientes com volumes menores de descarte, ao considerar o cálculo do frete convencional.

Neste contexto, visto que esta questão de transporte é um grande desafio para o setor, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de negócio que seja capaz de atender às pequenas demandas de coleta e

reciclagem de módulos fotovoltaicos do país, proporcionando soluções inovadoras e sustentáveis que beneficiam as empresas de reciclagem e os pequenos integradores fotovoltaicos, contribuindo para a melhoria do cenário de gestão de resíduos de sistemas fotovoltaicos no Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia adotada neste trabalho consiste em desenvolver os passos para criar um modelo de negócio que atenda à pequena demanda de coleta e destinação dos resíduos fotovoltaicos do setor de energia solar, solucionando a problemática de transporte enfrentada por empresas de reciclagem do setor. Os passos empregados estão descritos nos próximos tópicos.

2.1 Segmentação dos municípios

Para a identificação dos municípios alvo no âmbito do modelo de negócio proposto, foi conduzido um levantamento baseado na capacidade solar instalada no Brasil. Esses dados foram extraídos do infográfico disponibilizado mensalmente pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), que utiliza dados da Aneel, portanto é uma fonte reconhecida de informações no contexto do setor fotovoltaico nacional. O infográfico apresenta informações acerca da capacidade instalada em megawatt (MW) de geração distribuída, categorizando por estado e fornecendo um ranking municipal que enumera os municípios brasileiros com a maior potência instalada. Essa última informação foi utilizada como base para identificação das localidades potenciais de aplicação. A partir desses dados, desenvolveu-se um índice de potencial que quantifica numericamente a potência dos municípios listados. Este índice varia de 0 a 1, em que o valor 1 representa a maior potência instalada em MW, e quanto mais próximo de 0, menor é a quantidade de potência instalada apresentada pelo município. O cálculo desse índice foi realizado conforme a Eq. (1), avaliando o potencial de um município em relação à capacidade máxima identificada entre todas as localidades.

$$Ip = \frac{P}{P_{m\acute{a}x.}} \quad (1)$$

Onde, Ip é o índice de potência, P é a potência instalada em geração distribuída em um município, em MW, e $P_{m\acute{a}x.}$ é a potência máxima instalada dentre os municípios listados, em MW. Ao dividir a potência instalada de um município pela potência máxima instalada entre os municípios, obtém-se um índice normalizado que indica a proporção da capacidade instalada desse município em comparação com o máximo possível. Após o cálculo do índice de potencial, procedeu-se ao cálculo do índice de distância. Esse cálculo considerou a distância dos municípios listados no ranking até Valinhos – SP, onde está localizado o centro de reciclagem da empresa. A Eq. (2) foi utilizada para o cálculo do índice de distância.

$$Id = 1 - \frac{(dv - dm\acute{i}n)}{(dm\acute{a}x - dm\acute{i}n)} \quad (2)$$

Onde, Id é o índice de distância, dv é a distância de um município até Valinhos, em km, $dm\acute{i}n$ é a distância mínima dentre os municípios ranqueados até Valinhos, também em km, e $dm\acute{a}x$ é a distância máxima dentre os municípios ranqueados até Valinhos, em km. A Eq. (2) busca normalizar as distâncias entre os municípios listados e Valinhos, criando um índice de distância que varia de 0 e 1. Um índice mais próximo de 0 indica que o município listado está mais próximo da distância máxima considerada no conjunto, enquanto um índice mais próximo de 1 sugere que o município está mais próximo da distância mínima dentro do conjunto de municípios listados. Essa normalização ajuda na compreensão relativa das distâncias em relação aos limites mínimo e máximo estabelecidos entre os municípios e Valinhos.

Adicionalmente aos indicadores mencionados, a análise considerou o Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC -BR), o qual classifica os municípios por meio de uma pontuação geral, avaliando o progresso global em direção aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Esta pontuação é representada em uma escala de 0 a 100, sendo 100 a pontuação máxima, indicando um progresso otimizado rumo ao cumprimento integral dos referidos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Instituto Cidades Sustentáveis, 2023). Foi considerado que cidades que incorporam a sustentabilidade como uma prioridade e implementam práticas sustentáveis demonstram uma inclinação significativa para apoiar ativamente iniciativas que tenham como alicerce a sustentabilidade.

Para normalizar os índices de sustentabilidade dos municípios fornecidos pelo Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades (IDSC -BR), pegou-se os valores disponíveis para os municípios do ranking, cada um com índice variando de 0 a 100. Identificou-se o maior valor dentre esses índices, e em seguida, foi dividido os valores dos índices dos municípios listados pelo valor máximo encontrado, resultando em um novo conjunto de índices normalizados. Essa normalização permitiu expressar os índices em uma escala uniforme de 0 a 1, onde 1 representa o desempenho máximo em sustentabilidade, facilitando a comparação relativa entre os diferentes municípios. Os índices

de potência e de distância também estão em uma escala de 0 a 1, facilitando a comparação. A Eq. (3) foi utilizada para calcular o índice ODS.

$$I(ods) = \frac{i(ods)}{imáx(ods)} \quad (3)$$

Onde, $I(ods)$ é o índice de ODS, $i(ods)$ é a pontuação conforme a classificação de 0 a 100 estabelecida pelo Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades, e $imáx(ods)$ é a pontuação máxima de acordo com a classificação do ODS dentre os municípios ranqueados.

Para uma avaliação e comparação mais amplas dos municípios, foram conduzidos três alternativas distintas, cada uma aplicando diferentes ponderações aos índices de potência, distância e ODS. Essa metodologia é conhecida como matriz de decisão e possibilitou identificar quais municípios se destacaram como parcerias mais promissoras para a empresa de reciclagem, considerando a relevância relativa atribuída a esses índices. Os indicadores utilizados possuem unidades de medida distintas, e a normalização é o procedimento empregado para transformar as medidas destes indicadores em escalas similares ou em medidas livres de unidades (POLLESCH; DALE, 2016).

2.2 Desenvolvimento da Estratégia

Para o desenvolvimento da estratégia, levou-se em conta a premissa descrita no The British Standards Institution (2017), que diz que metodologias de modelos de negócios geralmente consistem em quatro elementos interconectados: Quem, O Quê, Como e Quando. Esses elementos apoiam o desenvolvimento da proposição de valor da organização, como demonstra a Fig. 1.

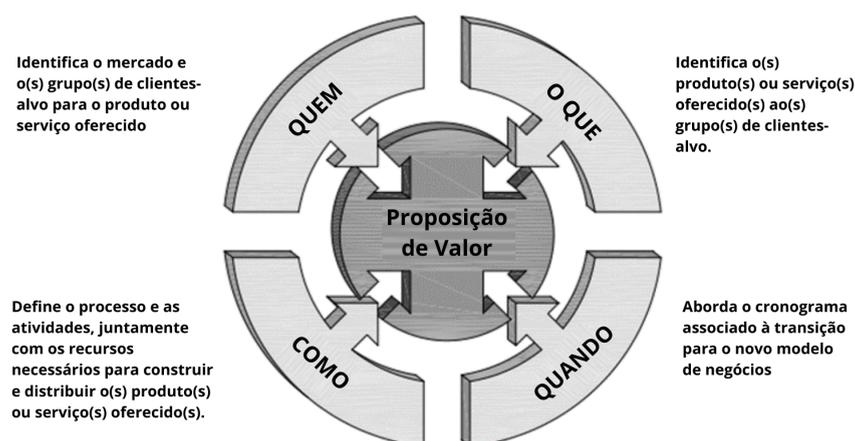


Figura 1 - Visão geral do desenvolvimento do modelo de negócios

Além dessa premissa, foi utilizada a ferramenta Canva para elaboração de um mapa mental. Esse recurso proporcionou um ponto de partida primordial na delineação do modelo de negócio. Durante a criação do mapa mental, foram formuladas quatro questões orientadoras. Dentro desse contexto, foram considerados quatro elementos essenciais para o funcionamento eficaz da estratégia, a saber: parceria estratégica, incentivo, canal de comunicação e transporte.

2.3 Estruturação do modelo de negócio

Determinada a estratégia para solucionar a demanda dos clientes com volumes menores de descarte de módulos fotovoltaicos, iniciou-se a estruturação do modelo de negócio. Para isso, foi utilizado a metodologia Business Model Canvas, desenvolvida por Alexander Osterwalder e Yves Pigneur (2010), autores do livro Business Model Generation, que definem modelo de negócio como uma ferramenta que descreve a forma como uma organização cria, entrega e captura valor. O Business Model Canvas é uma metodologia que define nove blocos de construção de um negócio que são essenciais para a criação e captação de valor. O fluxograma das atividades está representado na Fig. 2.

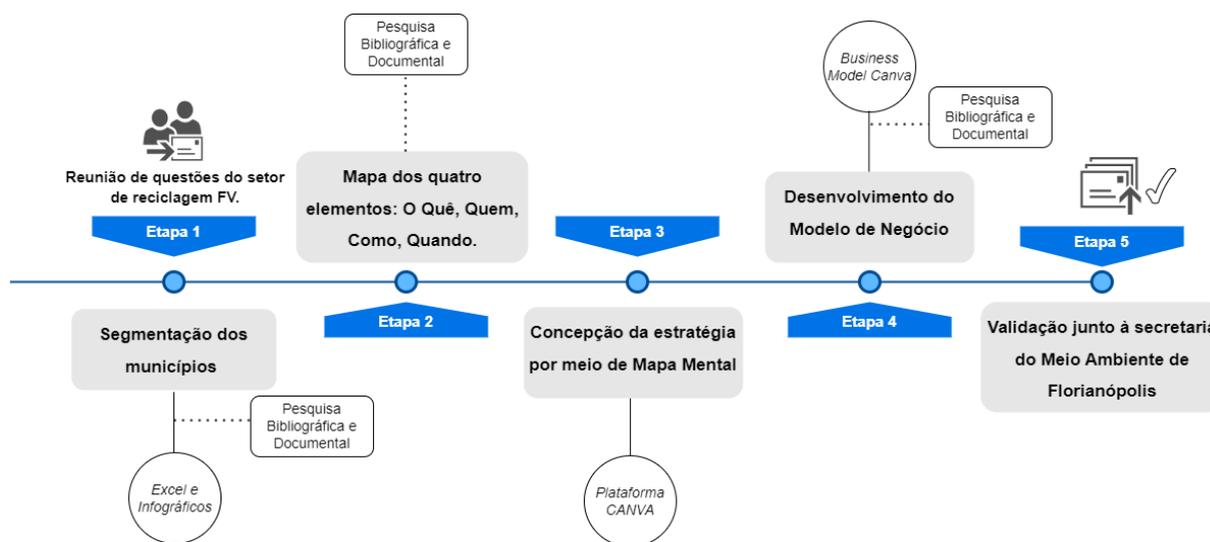


Figura 2 - Fluxograma metodológico

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Identificação dos municípios e definição dos cenários

De acordo com o infográfico disponibilizado pela ABSOLAR (2023a) foi possível identificar os municípios que apresentam maior potência instalada em geração distribuída. Dessa forma, foi estabelecido uma condição de contorno do estudo, listando os municípios representados na Tab. 1. O ranking dos municípios disponibilizado pelo infográfico da Absolar, não apresenta municípios do estado de São Paulo. No entanto, no ranking estadual de geração distribuída, disponibilizado também pelo infográfico da Absolar, o estado de São Paulo se encontra em primeiro lugar, como o estado com mais potência instalada em geração distribuída em energia solar. Dessa forma, levando em conta que o local onde ocorre a reciclagem é em Valinhos -SP, foram selecionadas as três cidades com maior geração distribuída do estado de São Paulo, que são: São Paulo, Campinas e Ribeirão Preto.

Tabela 1 - Municípios brasileiros com maior geração distribuída

Municípios geração distribuída	Potência Instalada [MW]
Florianópolis - SC	762,3
Brasília - DF	294
Cuiabá - MT	217,9
Campo Grande - MS	213,3
Teresina - PI	197,9
Rio de Janeiro - RJ	197,1
Fortaleza - CE	192,1
Goiânia - GO	182,9
Uberlândia - MG	135,2
Manaus - AM	129,7
São Paulo - SP	109,2
Ribeirão Preto - SP	84,1
Campinas - SP	75,4

A definição das alternativas e os pesos estabelecidos estão descritos abaixo com as respectivas justificativas.

- Alternativa 1: Potência 0,4; Distância: 0,3; ODS: 0,3. Nesta alternativa, atribuiu-se o maior peso ao índice de potência, indicando uma maior importância dada à capacidade de potência dos municípios. Distância e ODS

têm pesos menores, sugerindo que, embora importantes, não são tão decisivos quanto o potencial de potência na avaliação global. A Fig. 3 representa a alternativa 1.

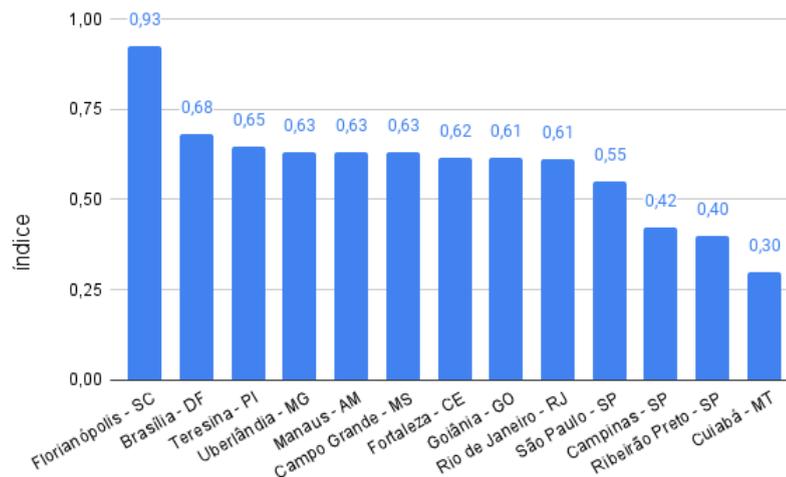


Figura 3 - Gráfico da Alternativa 1

- Alternativa 2: Potência: 0,3; Distância: 0,4; ODS: 0,3. Aqui, o índice de Distância recebe um peso mais alto, indicando uma maior consideração dada à localização ou distância dos municípios. A Fig. 4 demonstra o resultado obtido.

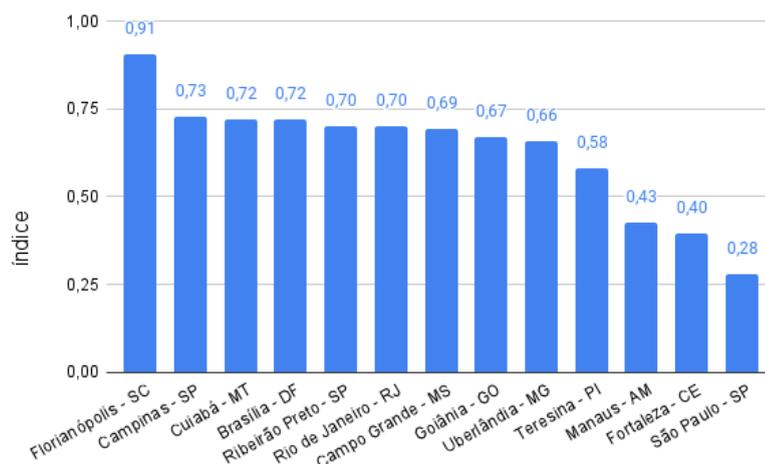


Figura 4 - Gráfico da Alternativa 2

- Alternativa 3: Potência: 0,3; Distância: 0,3; ODS: 0,4. Nesta alternativa, o índice ODS é atribuído o maior peso, sugerindo uma ênfase maior na sustentabilidade dos municípios medido pelo Índice de Desenvolvimento Sustentável, indicando que as cidades que apresentam um índice relevante em ODS serão mais receptivas a iniciativa proposta no modelo de negócio. A Fig. 5 representa o resultado da alternativa 3.

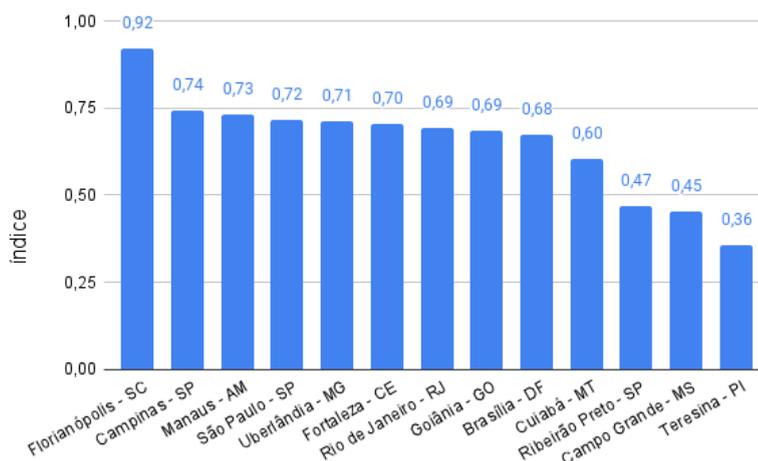


Figura 5 - Gráfico da Alternativa 3

Diante das alternativas expostas, Florianópolis demonstrou ser o município com mais vantagens para aplicação do modelo de negócio proposto neste trabalho. Ela apresentou vantagens mesmo em um cenário onde a distância tem um peso maior, devido à grande potência instalada. Verificar essas variantes permite explorar como diferentes prioridades atribuídas a esses índices podem influenciar os resultados da análise e proporcionar uma visão mais abrangente sobre quais aspectos são mais críticos na avaliação da validação dos municípios em estudo.

3.2 Ponto de Entrega de Módulo Solar (PEMS)

A estratégia proposta envolve o estabelecimento de um Ponto de Entrega de Módulo Solar em Florianópolis e futuramente nos municípios brasileiros com maior geração distribuída, permitindo que pequenas empresas integradoras possam facilmente encaminhar seus módulos solares sem a necessidade de percorrer longas distâncias para descarte apropriado. Neste contexto, a Secretaria do Meio Ambiente colabora na identificação e disponibilização de um local no município para o recebimento temporário e armazenamento desse material, visando sua posterior coleta pela empresa de reciclagem, transportadora parceira ou cooperativa. A Fig. 6 apresenta uma seção do mapa mental elaborado com as quatro perguntas.



Figura 6 - Seção do mapa mental elaborado

A coleta dos módulos é programada de forma a ocorrer somente quando há uma quantidade suficiente para torná-la viável do ponto de vista financeiro para a empresa de reciclagem. A responsabilidade de disponibilizar esses locais é atribuída a órgãos ambientais, como Secretarias do Meio Ambiente Municipais ou Estaduais, que devem fornecer espaço e um servidor para registrar e armazenar temporariamente os módulos. É importante enfatizar que o local disponibilizado pela Secretaria do Meio Ambiente deve ter capacidade suficiente para o armazenamento dos módulos, os quais medem em média 2 x 1, totalizando 2 m² de área, podendo ser empilhados em fardos com até 30 módulos, com uma altura de 1,35 metros de altura, padrão esse estabelecido pela própria empresa de reciclagem,

considerando o peso do material para transporte, portanto cada fardo ocupará em torno de 2 m². Considerando que a maior parte da produção global do mercado fotovoltaico corresponde a tecnologia de módulos FV de silício cristalino (c-Si) (MAHMOUDI et al.,2019), levou-se em conta a composição desses módulos, conforme ilustrado na Fig. 7.

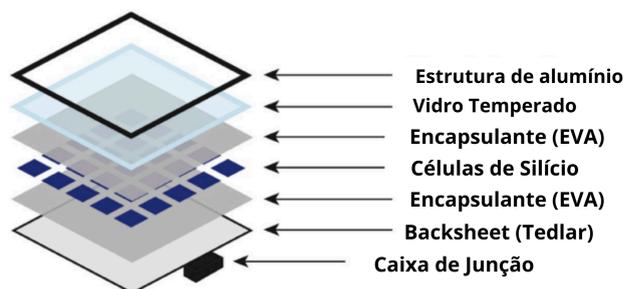


Figura 7 - Disposição dos componentes do módulo FV de silício cristalino.

Embora os módulos não sejam considerados resíduos perigosos devido aos componentes principais de vidro, alumínio e silício, podem conter substâncias potencialmente tóxicas. Um estudo de Petrolí (2023) classificou os painéis policristalinos de silício como perigosos por conterem níveis elevados de chumbo, conforme normas NBR 10004, TCLP 1311 e GB 5085.3, com concentrações de 8,68 mg/L, 8,68 mg/L e 7,35 mg/L, respectivamente. Dessa forma, destaca-se a necessidade de locais de armazenamento com piso impermeável para evitar contaminações ambientais, especialmente em módulos danificados, além da implementação de medidas de segurança, como cercamento, para prevenir possíveis riscos. A Fig. 8 exemplifica o fluxo de operações do Ponto de Entrega de Módulo Solar.

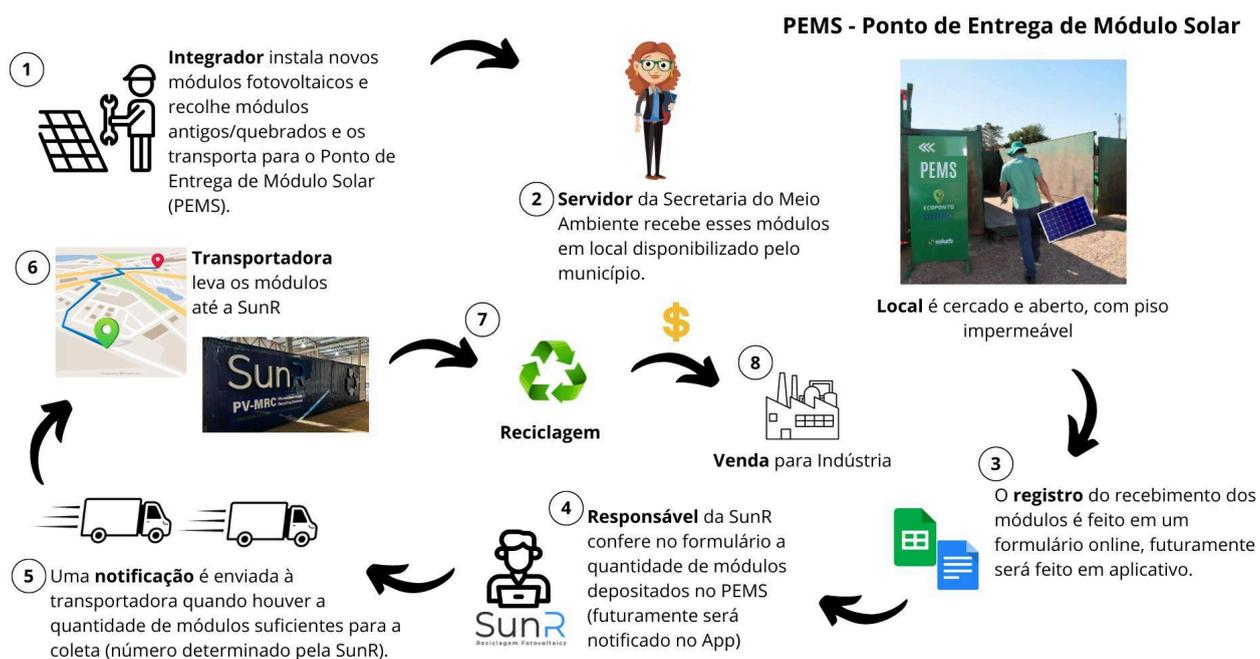


Figura 8 - Fluxograma de operação do Ponto de Entrega de Módulo Solar

3.3 Modelo de Negócio

A ferramenta utilizada, o Business Model Canvas, é composta por 9 blocos, como mostra a Fig. 9.

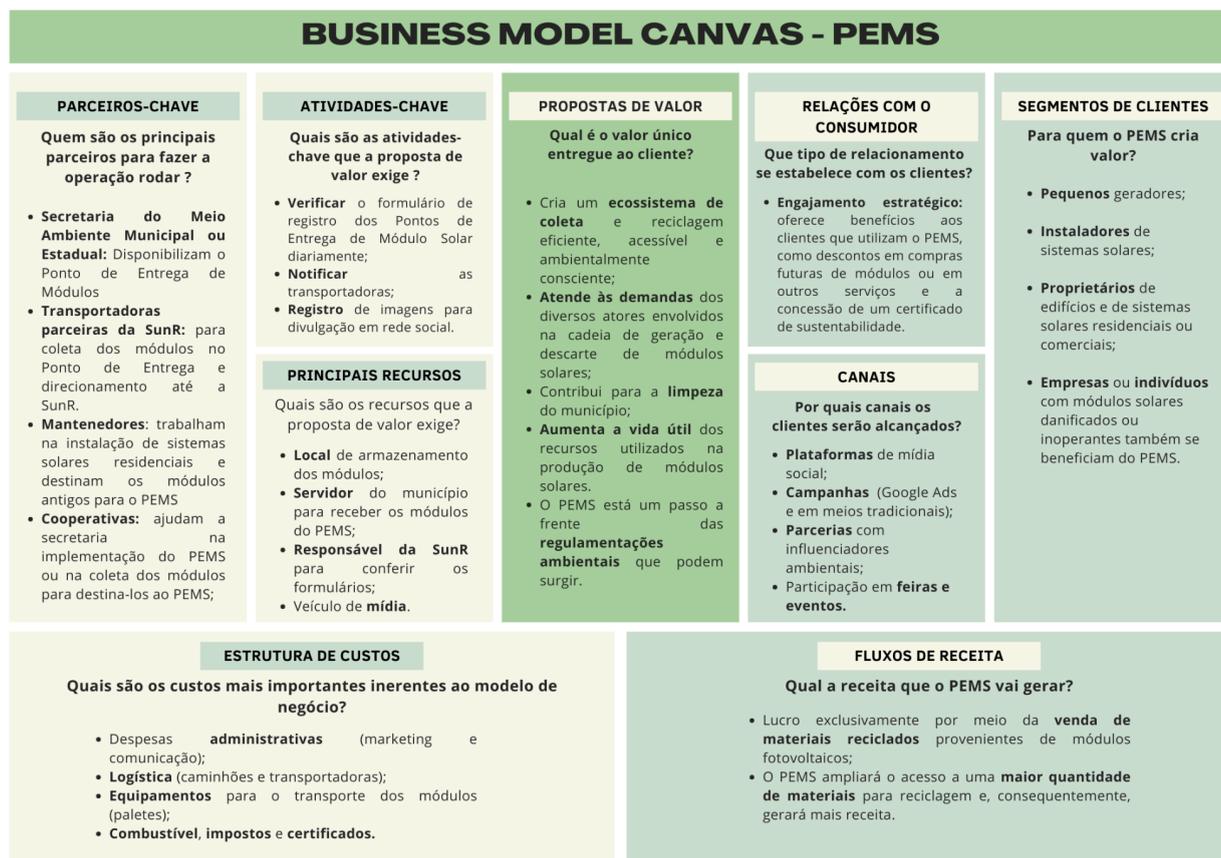


Figura 9 - Business Model Canvas: Ponto de Entrega de Módulo Solar

Os parceiros estratégicos identificados compreendem as Secretarias do Meio Ambiente Municipais, as transportadoras, as cooperativas e os integradores. As Secretarias Municipais do Meio Ambiente atuam como agentes de suporte, disponibilizando um local no município para o recebimento e armazenamento temporário dos módulos solares para posterior coleta pela empresa de reciclagem. Ademais, a Secretaria também vai disponibilizar um servidor para o recebimento do material, programado de acordo com a demanda de descarte para otimizar o tempo desse servidor. Em parceria com o município, as cooperativas podem atuar como pontos de recebimento e armazenamento temporário dos módulos fotovoltaicos. Os integradores, que são profissionais ou empresas especializadas na manutenção de sistemas de energia solar, realizam o transporte desses módulos até o Ponto de Entrega de Módulo Solar. As transportadoras, por meio de parcerias com a empresa de reciclagem, podem coletar os módulos do PEMS e transportá-los para o local onde ocorre a reciclagem. Em se tratando das atividades-chave do modelo de negócio proposto, tem-se:

1. Como parte da rotina diária, verificar o formulário de registro dos Pontos de Entrega Solar com o objetivo de identificar o momento em que atinge a quantidade mínima de módulos solares necessária para realizar a coleta e verificar sua localização;
2. Notificar as transportadoras responsáveis pela realização da coleta. Essa notificação será feita pela empresa de reciclagem após conferir o formulário de movimentações. Futuramente, essa notificação será automatizada por meio de aplicativo, eliminando a necessidade de verificação e notificação manual;
3. Registrar imagens do PEMS, documentação do funcionamento e de todas as etapas do processo para divulgação em mídias sociais. Esse registro permitirá informar as pessoas sobre a importância da reciclagem.

Os recursos necessários para operar o Ponto de Entrega de Módulo Solar envolvem o local de armazenamento dos módulos. Cada fardo de módulos demandará aproximadamente 2m² de espaço e serão empilhados em paletes. Junto ao local de armazenamento, será imprescindível a disponibilização de um servidor pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente. Outro recurso fundamental é o formulário online, que será preenchido pelo servidor da Secretaria Municipal do Meio Ambiente ao receber os módulos. Ademais, será necessário utilizar veículos de mídia para documentar o processo do PEMS, envolvendo parceiros locais e promovendo a participação da sociedade como um todo.

A proposta de valor do Ponto de Entrega de Módulo Solar reside em criar um ecossistema de coleta e reciclagem eficiente, acessível e ambientalmente consciente, atendendo às demandas dos diversos atores envolvidos na cadeia de geração e descarte de módulos solares. Dessa forma, o valor único entregue pelo PEMS está fundamentado na sua

capacidade de fornecer uma solução abrangente que atende às demandas de diferentes participantes da cadeia de geração e descarte de módulos solares, destacando-se pela eficiência, acessibilidade e consciência ambiental e social.

Ao fornecer um produto sob a forma de serviço, cria-se uma relação mais estreita com o cliente durante todo o ciclo de vida do produto (SITRA, 2023). Oferecer benefícios ou recompensas aos integradores que utilizam o PEMS, são boas estratégias de fidelização.

O Ponto de Entrega de Módulo Solar promove sua missão por meio de diferentes canais, incluindo plataformas de mídia social (como Instagram, LinkedIn e Facebook), campanhas, anúncios em meios tradicionais e digitais, como o Google Ads, e comunicação verbal. Colaborar com influenciadores ambientais pode ser uma abordagem eficaz para promover a reciclagem de módulos solares. Além disso, a organização e participação em eventos comunitários locais, feiras e congressos é essencial para sensibilizar o público sobre a importância da reciclagem de módulos solares.

Em relação aos clientes ideais para o PEMS, pode-se citar os pequenos geradores, instaladores de sistemas solares, proprietários de edifícios e de sistemas solares residenciais ou comerciais que buscam descartar módulos antigos de maneira responsável. Empresas ou indivíduos com módulos solares danificados ou inoperantes também podem se beneficiar do PEMS.

A estrutura de custo inicial é categorizada em custos fixos e custos variáveis, conforme discutido por Daou et al. (2020). Exemplos de custos fixos para a operação do Ponto de Entrega de Módulo Solar (PEMS) incluem despesas administrativas (marketing e comunicação) e logística (caminhões ou transportadoras). Já os custos variáveis incluem itens como equipamentos para o transporte dos módulos (paletes), combustível, impostos e certificados.

Por fim, a empresa de reciclagem obtém lucro exclusivamente por meio da venda de materiais reciclados provenientes de módulos fotovoltaicos. Com a implementação do Ponto de Entrega de Módulo Solar (PEMS), a empresa ampliará o acesso aos materiais para reciclagem, resultando em um aumento nas receitas geradas por vendas. Será necessário estabelecer a quantidade mínima de módulos para coleta no PEMS, assim como definir os métodos de coleta.

4. CONCLUSÕES

A composição da matriz energética brasileira está passando por uma transformação significativa, impulsionada pelo crescente potencial de geração de energia solar nos últimos anos. Essa mudança está levando ao surgimento de empresas de reciclagem no setor solar, impulsionando iniciativas sustentáveis. Este estudo atendeu o objetivo de desenvolver um modelo de negócio capaz de solucionar a problemática de coleta e destinação de pequenos volumes de descarte de módulos fotovoltaicos.

Para isso, foram identificados os municípios brasileiros com maior adoção de geração distribuída, com o intuito de iniciar a implementação da proposta na localidade que apresenta a maior demanda e viabilidade para a empresa de reciclagem deste estudo de caso. Paralelamente, foi realizado o mapeamento de outros municípios potenciais para uma futura aplicação do modelo de negócio, permitindo que as empresas de reciclagem atinjam uma escala mais ampla. A análise do município mais vantajoso foi realizada através de uma matriz de decisão, concluindo-se que o município mais favorável para implementação do modelo de negócio é Florianópolis. Para solucionar a problemática de destinação adequada de resíduos fotovoltaicos dos clientes com pequenas demandas, foi desenvolvido o Ponto de Entrega de Módulo Solar (PEMS), permitindo que pequenos integradores possam facilmente encaminhar seus módulos solares sem a necessidade de percorrer longas distâncias para descarte apropriado.

Além dos integradores, a solução proposta neste estudo engloba as Secretarias Municipais do Meio Ambiente, cooperativas e empresas de reciclagem, envolvendo vários agentes na cadeia. Isso beneficia a sociedade e promove um município mais limpo, evitando que os módulos sejam descartados de maneira inadequada.

É importante ressaltar que este trabalho apresenta algumas limitações. Não foram fornecidos pela empresa de reciclagem dados de custos médios do transporte dos módulos, nem o lucro por cada material reciclado vendido. O desafio foi limitado somente à área de logística. Portanto, não foi possível realizar uma projeção do custo do transporte do Ponto de Entrega de Módulo Solar (PEMS) até a empresa de reciclagem e nem o cálculo de quantos módulos devem ser acumulados para que compense financeiramente a empresa de reciclagem coletá-los e, conseqüentemente, não foi possível estabelecer um tamanho de área exato para o PEMS. Portanto, as recomendações para as etapas futuras para aplicação do modelo de negócio estão relacionadas a mensuração de custos, a projeção das dimensões adequadas para o PEMS e estabelecer parcerias com os órgãos públicos.

Agradecimentos

Agradecimentos à empresa de reciclagem de módulos fotovoltaicos SunR pela oportunidade de estudar os desafios existentes da cadeia logística do setor de energia solar do país.

REFERÊNCIAS

ABSOLAR. Capacidade de produção da energia solar no primeiro semestre de 2023 supera todo o resultado de 2022. São Paulo, 10 jul. 2023. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/capacidade-de-producao-da-energia-solar-no-primeiro-semester-de-2023-supera-todo-o-resultado-de-2022/>>. Acesso em: 13 set. 2023

- ABSOLAR. Infográfico nº 59 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. 19 set. 2023a. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 15 out. 2023
- BSI. Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. 2017
- CHOWDHURY, Md. Shahariar; RAHMAN, Kazi Sajedur; CHOWDHURY, Tanjia; NUTHAMMACHOT, Narissara; TECHATO, Kuaanan; AKHTARUZZAMAN, Md.; TIONG, Sieh Kiong; SOPIAN, Kamaruzzaman; AMIN, Nowshad. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. *Energy Strategy Reviews*, [S.L.], v. 27, p. 100431, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431>
- DAOU, Alain et al. The Ecocanvas as a business model canvas for a circular economy. *Journal of Cleaner Production*. v. 258, p. 10 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620309859?via%3Dihub>>. Acesso em: 16 nov. 2023
- FARREL, C.C.; OSMAN, A. I.; DOHERTY, R.; SAAD, M.; ZHANG, X.; MURPHY, A; ROONEY, D.W. Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 128, p. 109911, 1 ago. 2020. Disponível em: <Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules - ScienceDirect>. Acesso em: 24 nov. 2023
- FIGGIE, Frank; THORPE, Andrea Stevenson; GUTBERLET, Melissa. Definitions of the circular economy: circularity matters. *Ecological Economics*, [S.L.], v. 208, p. 107823, jun. 2023. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.107823>
- INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS. Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil: Classificação para os municípios brasileiros. [S.l.], 2023. Disponível em: <<https://idsc.cidadessustentaveis.org.br/rankings/>>. Acesso em: 17 nov. 2023
- MAHMOUDI, S. et al. End-of-life photovoltaic modules: A systematic quantitative literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, v.146, p. 1-16, jul. 2019.
- MME. Brasil supera marca de 5 GW de capacidade instalada de usinas solares com geração centralizada. 30 maio 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-supera-marca-de-5-gw-de-capacidade-instalada-de-usinas-fotovoltaicas-com-geracao-centralizada>>. Acesso em: 27 nov. 2023
- NEVES, L. Sun R já recebeu 723 toneladas de módulos fotovoltaicos no Brasil. PV magazine. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-brasil.com/2023/06/27/sun-r-ja-recebeu-723-toneladas-de-modulos-fotovoltaicos-no-brasil/>>. Acesso em: 5 ago. 2023
- OSTERWALDER, A.; PGNEUR, Y. Business Model Generation – Inovação em Modelos de Negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários. Rio de Janeiro, RJ. Alta Books, 300 p., 2011
- POLLESCH, N.L.; DALE, V.H. Normalization in Sustainability assessment: Methods and implications. *Ecological Economics*, v. 130, p. 195 – 208, out. 2016. Disponível em: <Normalization in sustainability assessment: Methods and implications - ScienceDirect>. Acesso em: 17 nov. 2023
- PETROLI, Pedro Amado. Avaliação da Periculosidade de Resíduos de Módulos Fotovoltaicos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Porto Alegre. 31 ago. 2023
- SITRA. Sustainable Growth with Circular Economy Business Models. Finlândia. 3 Jan, 2023.

BUSINESS MODEL TO ADDRESS THE DEMAND OF SMALL GENERATORS OF PHOTOVOLTAIC MODULE WASTE FOR RECYCLING

Abstract. *The composition of the Brazilian electric matrix is undergoing significant changes due to the growing potential of solar energy generation in recent years. With this rapid advancement, a continuous increase in the number of solar modules reaching the end of their useful life is expected, driving the emergence of recycling companies to meet this emerging demand. A major transport challenge identified in the photovoltaic recycling sector in Brazil is the significant disparity between customers with smaller disposal volumes and those with larger volumes. This work aims to develop a business model capable of addressing the small collection demands of photovoltaic modules for recycling, within the context of a photovoltaic module recycling company in the country. Brazilian municipalities were segmented through data collection and normalization, using the decision matrix methodology. This analysis led to the identification of the most advantageous municipality for a test implementation of the proposed business model. To develop the strategy, the premise of the four elements of business model development from the British Standards Institution was used, along with the creation of a mind map and the Business Model Canvas tool. Florianópolis emerged as the most favorable municipality for the application of the proposed business model, extending in the future to Brazilian municipalities with a high concentration of distributed solar energy generation. The developed strategy involves the establishment of a Solar Module Delivery Point. This article describes the steps involved in the proposed business model. Although the study presents a comprehensive strategy, there are limitations such as the lack of specific data on average module transportation costs and profitability per recycled material sold.*

Keywords: Photovoltaic Module, Business Model, Circular Economy.