

Políticas públicas na eletricidade residencial paraense e efeito rebote: um futuro sustentável é possível?

Resumo

O objetivo desse artigo é discutir os riscos de um possível efeito rebote na popularização de sistemas de geração distribuída residenciais no estado do Pará. Realizou-se um levantamento bibliográfico da literatura nacional e internacional sobre (1) o perfil de consumo prosumidor típico de usuários de sistemas fotovoltaicos de energia doméstica, (2) sobre o efeito rebote que tem ocorrido em vários países, conforme relatado na literatura, e (3) sobre políticas públicas criadas para solucionar os impactos da geração de energia residencial e modelos de negócios que promovam a eficiência energética e contenham o efeito rebote dessa modalidade de consumo de energia. Conclui-se que o estado do Pará tem potencial para ampla adoção de geração residencial de energia, mas carece de avanços na legislação do Mercado Livre de Energia para que seu potencial seja plenamente utilizado. A pesquisa contribui para pesquisadores que se dedicam ou estão envolvidos com o desenvolvimento de tecnologias que melhorem a eficiência energética, para profissionais do setor possam compreender a dinâmica do mercado e quais são os riscos potenciais futuros, visando também provocar os agentes públicos a desenvolver políticas públicas para o crescimento energético sustentável do estado.

Proposta/Objetivo: discutir os riscos de um possível efeito rebote na popularização de sistemas de geração distribuída residenciais no estado do Pará.

Método de Pesquisa: Realizou-se um levantamento bibliográfico da literatura nacional e internacional.

Resultados: o Pará tem potencial para ampla adoção de geração residencial de energia, mas carece de avanços na legislação do Mercado Livre de Energia.

Contribuições: para profissionais do setor compreenderem a dinâmica do mercado e quais são os riscos potenciais futuros e para os agentes públicos desenvolverem políticas públicas para o crescimento energético sustentável do estado.

Palavras-Chave: Políticas públicas; Efeito Rebote; Setor Elétrico

1. Introdução

Um fenômeno que vem ganhando força no mundo é o movimento de substituição das matrizes tradicionais de energia elétrica por alternativas sustentáveis, parte dos compromissos internacionais estabelecidos na Organização das Nações Unidas para mitigar os efeitos da mudança climática por meio da redução das emissões de carbono (de Carvalho, 2019).

Nesse sentido, o Brasil é signatário da agenda de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que inclui o fornecimento de energia limpa, sustentável e acessível para todos (ONU Brasil, 2018). Porém, o estado do Pará é o que paga a tarifa média mais alta de todas as unidades da federação (A. N. de E. E. Brasil, 2023), na contramão do ODS 7, pelo menos no que tange ao “preço acessível”.

Em relação ao avanço nas metas energéticas, o governo brasileiro tem fomentado o mercado de Geração Distribuída (GD) de micro e minigeração de energia residencial, em que a primeira é para até 75 KW de geração e a segunda para de 75 MW até 5 GW de energia. Dessa forma, o número de prossumidores (consumidores que passam a produzir parte daquilo que consomem) brasileiros vem aumentando desde a Resolução Normativa 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que permitiu o procedimento de geração de créditos na geração de energia que é inserida no sistema da distribuidora de energia local (Botelho et al., 2022).

Assim, a geração de energia doméstica se apresenta como alternativa para o cidadão paraense reduzir o valor de sua tarifa de energia e ter acesso aos confortos que a vida moderna pode trazer em termos de consumo com eficiência energética. Nesse sentido, o estado do Pará se tornou, em 2020, o primeiro estado brasileiro a ter mais de 50% da energia consumida oriunda do Mercado Livre (ABRACEEL, 2020), em que a geração e comercialização de energia é descentralizada, permitindo ao consumidor escolher outro fornecedor além da concessionária local.

Entre os motivos que levam um consumidor a se tornar prossumidor estão o custo decrescente de instalação de painéis solares, o aumento constante no valor das tarifas de energia e as regras de compartilhamento de crédito, seja de cooperativas de fazendas solares ou da política de compensação pela diferença entre a energia consumida e aquela que os painéis injetam no sistema de distribuição tradicional (Botelho et al., 2022).

Todavia, essa expansão no mercado de prossumidores traz o risco de um efeito rebote, em que o consumo de energia é aumentado com base na redução do custo, o que motiva os usuários a adquirirem mais aparelhos eletrodomésticos que aumentam a demanda energética. Nesse sentido, em vez de se ter um alívio na carga da

rede da distribuidora, há um aumento no fornecimento de energia e consequente necessidade de se aumentar a produção por meio de usinas que utilizam matrizes tradicionais não sustentáveis (Toroghi & Oliver, 2019). Dessa forma, a utilização de painéis solares residenciais e o efeito rebote podem levar a uma crise na eficiência energética e se tornar um problema para os agentes públicos brasileiros, uma vez que o Brasil tem o compromisso de cumprir as metas de desenvolvimento sustentável da ONU. E no caso do Pará essa questão é mais urgente em virtude das altas tarifas de energia servirem como incentivo para a transição de uma população consumidora para um perfil prosumidor.

Portanto, o objetivo desse artigo é discutir os riscos de um possível efeito rebote na popularização de sistemas de geração distribuída residenciais no estado do Pará. O artigo tem caráter teórico, na medida em que busca na literatura temas como políticas públicas para a produção de energia residencial, a discussão sobre o efeito rebote nesse nicho de mercado e quais as características de um perfil diferente de consumidor mediante o problema de eficiência energética para o estado do Pará.

O artigo contribui para pesquisadores que se dedicam ou estão envolvidos com o desenvolvimento de tecnologias que melhorem a eficiência energética, para profissionais do Mercado Livre de Energia paraense possam compreender a dinâmica do mercado e quais são os riscos potenciais futuros, visando também provocar os agentes públicos a desenvolver políticas públicas para o crescimento energético sustentável do estado.

2. Prosumidores pelo mundo

O termo “prosumidor” foi cunhado pela primeira vez por Alvin Toffler, em 1981, ao se referir a uma nova relação de consumo de recursos no qual os indivíduos produzem aquilo que consomem, totalmente ou em parte. No campo da transição energética, o termo é utilizado para se referir a indivíduos que geram sua própria energia por meio de tecnologias de mini e microgeração, como as células fotovoltaicas. Dessa forma, um prosumidor seria alguém que gera parte da energia que pretende consumir em seu próprio estabelecimento (Oberst et al., 2019).

No mercado brasileiro, o prosumidor é aquele que estabelece uma relação contratual de fornecimento e consumo de energia com a distribuidora de energia elétrica local, baseado no princípio de compensação. Nesse sentido, a energia produzida a partir de dispositivos de micro e minigeração é adicionada ao sistema de distribuição da distribuidora (sem custo e podendo ser livremente distribuída a terceiros) e deduzida do

consumo total desse produtor. Se a produção for maior que o consumo, a quantidade de energia em Watts é creditada para abatimento em uma cobrança de energia futura. Do contrário, o total produzido será abatido do total consumido, resultando em diminuição do valor da cobrança de energia consumida (Bassani, 2019). A inserção de prossumidores em mercados locais de energia pode ser benéfica para o sistema de distribuição, em comparação com o isolamento deles (o que reforça a importância do mercado livre brasileiro). Os pequenos mercados podem ser uma alavanca para impulsionar a flexibilização do fornecimento de energia, permitindo que consumidores possam escolher outros fornecedores de energia, além da companhia distribuidora (Kühnbach et al., 2022).

As principais barreiras para os potenciais prossumidores são de natureza regulatória e tecnológica. No campo regulatório, a legislação reconhece a existência do Mercado de Energia Regulado, formado por companhias e consumidores cativos, representando o formato de fornecimento e consumo tradicional; e o Mercado Livre de Energia, que já responde por 36% do consumo geral de energia nacional e é formado por prossumidores, companhias e consumidores livres, que negociam o fornecimento de excedente de energia do sistema energético nacional (Botelho et al., 2022).

Já no campo técnico, Botelho et. al. (2022) reconhecem que a principal barreira é na execução de alguns modelos de negócios com alta dependência de tecnologias confiáveis de mensuração da energia distribuída e consumida, como o modelo de negócios P2P carece de regulamentação e de reestruturação do mercado para ser implantado. Outros modelos mais simples, como o sistema de compensação em vigor, são facilmente aplicáveis. Outros modelos incluem autoconsumo (prossumidor padrão), sistema de cooperativas (em vigor), e Energia como serviço (em vigor, mas descentralizado) (Botelho et al., 2022).

O mercado livre de energia nacional oferece oportunidade de negócios por meio do estabelecimento de microrredes de distribuição em regime Ponto a Ponto (P2P), em que prossumidores e consumidores domésticos possam comercializar energia elétrica entre si e diminuir a carga de distribuição do sistema público. Isso aumenta a segurança no fornecimento de energia por diminuir a distância entre produtores e consumidores, o que reduz o risco de perda de transmissão (Machado & Rampinelli, 2022).

Além disso, o custo de instalação de sistemas fotovoltaicos de geração de energia tem diminuído nos últimos anos, resultado da política pública nacional de energia sustentável, e que tem se tornado mais popular entre

os usuários domésticos (Machado & Rampinelli, 2022). Apesar da motivação ser a mesma pelo mundo afora, que é a redução na tarifa de energia, existem diversos perfis de prosumidores.

A adoção de sistemas de micro e minigeração dependem de diversos fatores a depender das características locais. Na Dinamarca, por exemplo, a tendência por adoção se dá por pessoas mais velhas, com alto nível técnico, com rendas altas, moradores de áreas rurais, com casas novas e utilizam sistemas de aquecimento individual. Outros motivos como a independência da distribuidora, retornos financeiros e ações pró ambientais também animam novos prosumidores (Rhiger et al., 2022).

Na Alemanha não há evidências de que os prosumidores domésticos tenham um perfil de consumo estatisticamente diferente dos consumidores, sendo que a redução de consumo observada nos primeiros está mais relacionada ao tipo de tecnologia de eficiência energética (as placas solares) empregada na geração de energia privada. Dessa forma, não foi identificado efeito rebote nas residências prosumidoras (Oberst et al., 2019).

Já no caso da Austrália, país com clima similar ao brasileiro, a idade e o estar em uma casa alugada são fatores que influenciam negativamente nas intenções de instalação de painéis solares nas residências. Por outro lado, a alta demanda de energia e o retorno de investimento rápido são fatores que impulsionam as pessoas a adquirirem painéis e se tornarem prosumidores, além do incentivo promovido pelo sistema de compensação que é similar ao do Brasil (Zander, 2021).

Apesar desses benefícios, a principal desvantagem de se ser um prosumidor é o risco de efeito rebote (a ser discutido na seção seguinte), que já foi evidenciado nos Estados Unidos. Qiu, Kahn e Xing (2019) relatam que, em Phoenix no Arizona, para cada KWh de energia solar produzida, há um aumento incremental de 18% na energia consumida. Sendo assim, o comportamento do prosumidor pode levar a ineficiência energética, levando ao um prejuízo relacionado a aquisição de um sistema gerador que não se paga ao longo do tempo (Qiu et al., 2019).

O efeito rebote pode ser tão agressivo que, na Jordânia, no Oriente Médio, o consumo de energia por prosumidores chegou a 88% a mais, em geral, após a instalação de placas solares residenciais, ocasionando a sobrecarga do sistema nacional de energia daquele país e levando as autoridades a postergarem a autorização de novos projetos de geração distribuída nas residências (Albatayneh et al., 2022).

Dessa forma, a lição para o Brasil é que a presença da figura do prosumidor pode mudar a configuração do mercado e das políticas públicas, em especial em relação ao acesso à tecnologia necessária para gerar energia individualmente ou para se tornar um micro fornecedor do mercado livre de energia. Nesse sentido, o governo

brasileiro precisa decidir para quem a energia produzida a partir das usinas e distribuídas pelas companhias do mercado tradicional será destinada à medida que o avanço da tecnologia de micro e minigeração pode efetivamente libertar pessoas de classes média e alta do sistema público de energia, ainda mais considerando o desenvolvimento de tecnologias de armazenamento (Costa, Bonatto, et al., 2022).

3. Efeito rebote na geração residencial

Uma definição para o efeito rebote é o processo pelo qual o potencial de economia energética é eclipsado por um aumento na demanda em virtude do custo mais baixo de energia. Dessa forma, o efeito rebote do uso de painéis solares em residências é oriundo de um aumento na eficiência energética em detrimento da alternativa de se utilizar o suprimento tradicional público (Toroghi & Oliver, 2019).

Em termos econômicos, o aumento da eficiência energética em um setor como o de automóveis pode aumentar o consumo de gasolina em outros setores em virtude da redução do preço e aumento da oferta do insumo. Nesse sentido, o uso de veículos com baixo ou zero consumo de gasolina pode levar ao aumento no consumo dela na geração de energia termelétrica, por exemplo. Consequentemente, essa mudança de comportamento não diminuiria a geração de gases poluentes, o que é chamado de efeito rebote indireto e pode acontecer em vários setores econômicos concomitantemente (Brockway et al., 2021).

Mesmo a redução do consumo energointensivo pode gerar um efeito rebote por meio da disponibilização da energia não consumida para outra finalidade, gerando crescimento econômico, mas também aumentando a demanda energética. De qualquer maneira, havendo eficiência energética, há a possibilidade de se aumentar a demanda de energia considerando o insumo remanescente não utilizado (Wei et al., 2019).

Em nível de nação, a intensidade do consumo energético é medida pela relação entre energia consumida por unidade de Produto Interno Bruto (Wei et al., 2019). Porém, com o aumento de equipamentos que entregam mais resultados com menor consumo e consequente aumento da quantidade de equipamentos a serem ativados graças ao barateamento do insumo energético, Brockway et. al. (2021) afirmam que o efeito rebote está modificando essa relação, de modo que o aumento na demanda de energia vai superar a economia dela em mais de 50%.

No cenário doméstico, a vantagem dos painéis solares é que eles têm o potencial de gerar energia livre de emissão de carbono. Além das melhorias tecnológicas, os governos de vários países têm impulsionado a sua

adoção por meio de políticas públicas, linhas de financiamento subsidiadas e incentivos tarifários, medidas que tem provocado uma mudança do perfil consumidor de energia (Beppler et al., 2023).

Entretanto, um dos problemas dessa mudança de perfil é a possibilidade de sobrecarga para a rede elétrica da companhia distribuidora, uma vez que é sua função suprir a demanda de energia que excede àquela que é produzida pelas células fotovoltaicas residenciais. Isso posto, em vez de representar uma solução para sistemas de transmissão de energia sobrecarregados, a popularização de micro e minigeração de energia pode trazer ainda mais desafios para a disponibilidade de energia no futuro (Toroghi & Oliver, 2019).

Outra consequência do efeito rebote ocorre quando há um aumento de consumo de energia elétrica ou em outras formas de energia em função de sistemas fotovoltaicos. Isso força o acionamento de usinas de energia não-renováveis para suprir essa demanda extra e pode representar um problema maior para países cujos governos subsidiam a aquisição e a manufatura de painéis, como Suíça, Taiwan e Coreia do Sul, criando um problema cíclico (Galvin, 2022).

Em relação a geração de energia solar doméstica, o efeito rebote se dá quando, ao se utilizar o equipamento e ter considerável redução na cobrança de energia, os habitantes da residência decidem adquirir mais eletrodomésticos, mudando seu perfil de consumo e aumentando a demanda energética. No caso da Holanda, o aumento provocado por energia solar é de 7,7% em média, sendo o consumo maior durante o período de maior produção, quando há maior radiação solar (Aydın et al., 2023).

Além disso, o efeito rebote da utilização de painéis solares em residências também afetam as metas de redução de carbono, visto que há a necessidade de utilização de fontes não renováveis tradicionais da rede pública. Na cidade de Sydney, na Austrália, por exemplo, a estimativa é que o aumento de consumo provocado pela mudança de comportamento seja de um quinto do benefício de carbono gerado por placas solares (Deng & Newton, 2020).

Por exemplo, nos Estados Unidos, o efeito rebote na demanda de serviços de energia elétrica chegou a 28,5% da produção de energia dos prosumidores, o que levou a um aumento da carga na rede pública de distribuição. Nesse sentido, o aumento na quantidade de prosumidores eleva a demanda de geração de energia no sistema tradicional, em vez de diminuí-la (Beppler et al., 2023).

Por outro lado, na Colômbia, que dispõe de energia de energia solar e eólica acessível à população, o efeito rebote ambiental provocado pelo setor residencial varia entre 1,9% e 8,2% de impacto na mudança climática, a depender da matriz energética. Isso tem representado um desafio para os compromissos do governo

colombiano de redução de carbono e do abandono de matrizes energéticas não renováveis (Vélez-Henao & García-Mazo, 2022).

Além das emissões de carbono, o efeito rebote precisa ser considerado, inclusive, na formulação de políticas públicas para o setor energético e resposta às mudanças climáticas, uma vez que ele pode ser responsável pela superestimação dos benefícios da adoção de geração distribuída e das emissões de poluentes atmosféricos (Kim & Trevena, 2021).

Isso é tão importante que esse problema já foi reportado na Alemanha por Galvin et. al., que identificaram que a regulamentação e os preços de aquisição de painéis solares daquele país acidentalmente privilegiam prossumidores que consomem mais energia do que sua capacidade de geração, comprometendo os objetivos de eficiência energética do governo alemão (Galvin et al., 2022).

4. Políticas públicas para um novo setor elétrico

Em 2022, o governo brasileiro aprovou a lei ordinária 14.300/2022, que diminuiu as compensações financeiras de energia solar adicionadas à rede pública (sistemas on-grid). O objetivo da lei, que foi alcançado, era de diminuir as desigualdades sociais no país por meio da contenção do aumento da tarifa energética. Por outro lado, teve impactos negativos no mercado de energia solar e para o ambiente, uma vez que os prejuízos socioeconômicos são da ordem de 2,12 bilhões de reais e um aumento na emissão de gás CO₂ (Costa, Capaz, et al., 2022).

Assim, os prossumidores brasileiros podem explorar quatro modelos de negócios para comercializar energia elétrica gerada por painéis solares: (a) Consumo próprio, uma vez que a venda do excedente, até o fechamento dessa pesquisa, é proibido por regulação; (b) Consumo próprio remoto, no qual a usina de geração solar não precisa estar no mesmo sítio de consumo, sendo a produção vinculada ao titular da tarifa; (c) Projetos com múltiplos consumidores, para instalação de painéis solares em condomínios; e (d) Geração compartilhada por meio de cooperativas, em que uma fazenda solar é construída e uma cota da produção é vendida e vinculada a um consumidor (similar ao consumo próprio remoto). Em alguns estados existe isenção fiscal na tarifa para incentivar o uso de energia solar (da Silva et al., 2019).

No entanto, existem outros aspectos que interferem na formulação de políticas públicas efetivas na gestão de energia para consumo residencial. Os legisladores precisam levar em consideração as estimativas de danos a rede elétrica provocados pelo efeito rebote na eficiência energética e na energia renovável, uma vez que o

prossumidor é uma pessoa com uma mentalidade diferente em relação ao consumidor: para além da economia na tarifa energética, sua residência ajuda na proteção ao meio ambiente ao produzir energia limpa. Além disso, a energia solar está sujeita às variações de irradiação, o que muda a capacidade de geração de energia e tem impactos na rede pública tradicional por meio de oscilação na demanda (Galvin et al., 2021).

A demanda é volátil conforme o perfil residencial. Na China continental, a principal preocupação dos moradores de casas são custo de vida, riscos na instalação, manutenção e eficiência econômica na hora de decidir pela instalação de sistemas fotovoltaicos. Por outro lado, os moradores de edifícios são muito menos preocupados com essas questões, facilitando o processo de adesão a energia renovável eficiente e áreas de maior densidade habitacional (Wang et al., 2022).

Portanto, uma política pública com propostas além da compensação na tarifa de energia para os prossumidores pode incentivar a transição para um consumo de energia mais verde e aumentar a adesão de novos projetos de painéis fotovoltaicos residenciais (D'Adamo et al., 2022).

Boeck et. al. (2016) compararam políticas de subsídio a sistemas fotovoltaicos residenciais na Europa a fim de identificar quais dessas políticas eram mais vantajosas para os potenciais prossumidores. Considerando os fluxos de caixa descontados dos projetos, a Itália se destaca como tendo a mais vantajosa política de subsídio e a Alemanha se mostra com as propostas mais equilibradas. Além disso, o consumo pessoal mostrou-se fundamental para o aumento do retorno sobre o investimento, o que reforça a necessidade de se evitar o efeito rebote no desenvolvimento do projeto de energia renovável (Boeck et al., 2016).

No caso particular da Itália, a política pública italiana propôs uma dedução de 110%, em 5 anos, nos impostos para aqueles que instalassem sistemas fotovoltaicos residenciais durante a pandemia da COVID-19, o que, na leitura de D'Adamo, Gastaldi e Morone (2020), se mostrou uma oportunidade para os consumidores atacarem o problema das mudanças climáticas obtendo lucros razoáveis (D'Adamo et al., 2020).

Outra preocupação para instalação de projetos em residências é a capacidade espacial que suas casas suportam em termos de número de placas. Como maiores consumidores demandam maior quantidade de placas solares (consequentemente aumentando os custos de instalação dos sistemas), é necessário que haja subsídios governamentais para o financiamento desses projetos e torná-los economicamente viáveis. Nesse sentido, a transição para energia renovável solar é também um problema de espaço e planejamento urbano (Shao & Fang, 2021).

Para tal, é necessário que o custo de instalação de painéis fotovoltaicos seja justo o suficiente para permitir a otimização da ocupação do telhado das residências, maximizando a produção e diminuindo o efeito rebote.

Consequentemente, o subsídio governamental para financiamentos de projetos solares constitui um incentivo para a mudança de comportamento do consumidor de energia (Galvin, 2022).

Porém, esse incentivo precisa ser dado de acordo com as capacidades da rede elétrica do país e seu sistema tarifário. No Irã, o principal incentivo para adoção de energia solar se dá pela compensação de tarifa de energia, mas quando comparado com os custos de instalação, o sistema de compensação se mostra ineficiente. Portanto, só haveria benefício econômico para os habitantes, mantidas as condições de compensação, se houvesse aumento na tarifa de energia pública (Sheikhhoseini et al., 2018).

Essa situação é um exemplo da necessidade de subsidiar os custos de instalação de projetos solares tende a diminuir conforme o custo natural (não subsidiado) se parear com o custo da energia pública distribuída tradicional, o que é chamado de grid parity. Como o Brasil tem grande potencial de irradiação solar, é possível que o país alcance essa paridade antes da maioria dos países industrializados, garantindo uma participação maior para a energia solar no conjunto de matrizes energéticas nacionais (Mitscher & Ricardo, 2012).

Sendo assim, os legisladores que pretendem formular políticas que incentivem o consumo de energia sustentável residencial precisam ter em mente que sistemas fotovoltaicos requerem alto investimento inicial, e esse é um dos principais motivos que impactam a tomada de decisão sobre sua instalação em residências, em que os usuários precisam avaliar seu nível de consumo, o valor da tarifa atual, e a viabilidade econômica de empreender nesse tipo de projeto vislumbrando a economia no prazo mais curto possível (Ellabban & Alassi, 2019).

5. As consequências para o Pará

Por ser o estado com tarifa média de energia mais alta do Brasil (A. N. de E. E. Brasil, 2023), os habitantes do Pará podem se beneficiar da transição de um perfil consumidor de energia para um perfil produtor e consumidor, ao mesmo tempo, por meio da utilização de painéis solares residenciais acessíveis no Mercado Livre de energia, seja ao adquirir o insumo de outros produtores, seja pela geração doméstica.

Um dos potenciais identificados para o fomento dessa transição está no próprio valor da tarifa energética, a exemplo do que deveria ocorrer no Irã (Sheikhhoseini et al., 2018). Outro potencial está no custo de instalação,

que está aumentando a adesão dos paraenses a essa nova modalidade de consumo, colocando o estado em primeiro lugar no ranking nacional de consumidores de energia livre (ABRACEEL, 2020).

Porém, é importante destacar que isso vale para fora da região metropolitana e fora de outras áreas densamente povoadas do estado onde não existam edifícios altos, em que os usuários podem estar mais preocupados com questões relacionadas ao custo de instalação e os riscos da utilização de painéis nos telhados das casas, como acontece na China continental (Wang et al., 2022). Uma solução para isso tem sido a utilização de sistemas fora do sistema de distribuição da concessionária (*off-grid*), com a utilização de baterias de armazenamento e o posicionamento das células fotovoltaicas no terreno das casas, solução essa adotada em virtude das distâncias entre os assentamentos paraenses (Eletrobrás, 2020).

O Pará também poderá se beneficiar da regularização de outros modelos de negócios que ampliam as opções do Mercado Livre de Energia, como a gestão de micro redes de consumo (sistema P2P). Nessas redes, um ou mais prosumidores residenciais vendem seu excedente de energia para residências adjacentes, sem intermediadores, diminuindo a demanda da concessionária e auxiliando na eficiência energética (Botelho et al., 2022).

Essas atitudes podem aumentar o desenvolvimento econômico do estado em virtude do barateamento do insumo energético e fomentando o consumo de eletrodomésticos e de outros serviços energéticos, gerando empregos e novos negócios. Esse crescimento precisa ser monitorado e mensurado adequadamente a fim de se evitar um efeito rebote, devido ao crescimento no consumo de energia dos paraenses: em 2012 o consumo foi de 16.648,088 GWh, e aumentou para 21.136,22082 em 2021, uma variação superior a 21% no período (M. de M. e E. Brasil, 2022).

Para que isso avance, é preciso que os agentes públicos e legisladores criem e fomentem políticas públicas que levem em consideração o perfil de consumo do paraense e identifiquem adequadamente a capacidade de fornecimento de energia a ser distribuída no estado com o objetivo de evitar um possível efeito rebote, que pode ser prejudicial para a gestão pública de energia elétrica no estado (Ellabban & Alassi, 2019).

Como limitações da pesquisa, não se objetivou identificar, na literatura, situações em que modificações na estrutura das edificações como forma de melhorar a eficiência energética (para aquecimento ou resfriamento) que não utilizam energia elétrica (Albatayneh et al., 2022) são benéficas ou não para a formulação de políticas públicas que visem a eficiências energética por meio da redução do efeito rebote.

Também não foi objetivo dessa pesquisa discutir com profundidade os modelos de negócios relacionados a distribuição de energia em redes ou mesmo em sistemas P2P. a literatura é rica em apresentar esses modelos

que são aplicados em diversos países, mas como a legislação brasileira ainda não avançou nesse sentido e há a necessidade de uma mudança cultural profunda na sociedade brasileira para tornar esses modelos reais, ainda é muito cedo para se discutir essas questões.

Como sugestão de pesquisas futuras, propõe-se investigar, por meio de modelos computacionais, se pode haver um limite para esse aumento da demanda provocado pelo efeito rebote em observação ao aumento da capacidade de eficiência energética dos eletrodomésticos disponibilizados ao mercado consumidor. Se tal limite existir, pode ser possível prever qual seria a demanda máxima em um dado momento considerando variáveis como população e o consumo em Watts dos equipamentos eletroeletrônicos.

Além disso, os estudos consultados não mencionam a utilização de energia solar em condomínios verticais, possivelmente em virtude do desafio de se abastecer as unidades consumidoras com pouco espaço para colocação de placas eficientes. Nesse sentido, a tecnologia solar precisaria avançar para poder atender a esse público e representará um desafio para os legisladores definirem limites e incentivos para essa modalidade.

Referências

- ABRACEEL, A. B. dos C. de E. (2020). *Pará é o primeiro Estado brasileiro com mais de 50% de energia livre*. Pará é o Primeiro Estado Brasileiro Com Mais de 50% de Energia Livre. <https://abraceel.com.br/press-releases/2020/01/para-e-o-primeiro-estado-brasileiro-com-mais-de-50-de-energia-livre/>
- Albatayneh, A., Tarawneh, R., Dawas, A., Alnajjar, M., Juaidi, A., Abdallah, R., Zapata-sierra, A., & Manzano-agugliaro, F. (2022). The installation of residential photovoltaic systems : Impact of energy consumption behaviour. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54(October), 15. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102870>
- Aydın, E., Brounen, D., & Ergün, A. (2023). The rebound effect of solar panel adoption : Evidence from Dutch households. *Energy Economics*, 120, 12. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106645>
- Bassani, M. L. (2019). *A proteção do prosumidor na geração distribuída de energia elétrica*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Beppler, R. C., Matisoff, D. C., & Oliver, M. E. (2023). Electricity consumption changes following solar adoption: Testing for a solar rebound. *Economic Inquiry*, 61, 58–81. <https://doi.org/10.1111/ecin.13031>
- Boeck, L. De, Asch, S. Van, Bruecker, P. De, & Audenaert, A. (2016). Comparison of support policies for residential photovoltaic systems in the major EU markets through investment profitability. *Renewable*

- Energy*, 87, 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.063>
- Botelho, D. F., Oliveira, L. W. De, Dias, B. H., Soares, T. A., & Moraes, C. A. (2022). Prosumer integration into the Brazilian energy sector : An overview of innovative business models and regulatory challenges. *Energy Policy*, 161(December 2021), 13. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112735>
- Brasil, A. N. de E. E. (2023). *Ranking de tarifas*. <https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/rankingtarifas>
- Brasil, M. de M. e E. (2022). *Sistema de Informações Energéticas*. Sistema de Informações Energéticas. <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/default.aspx>
- Brockway, P. E., Sorrell, S., Semieniuk, G., Kuperus, M., & Court, V. (2021). Energy efficiency and economy-wide rebound effects: A review of the evidence and its implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141(August 2020), 20. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110781>
- Costa, V. B. F., Bonatto, B. D., & Silva, P. F. (2022). Optimizing Brazil's regulated electricity market in the context of time-of-use rates and prosumers with energy storage systems. *Utilities Policy*, 79(October), 23. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101441>
- Costa, V. B. F., Capaz, R. S., Silva, P. F., Doyle, G., Aquila, G., Coelho, O., Lorenci, E. De, Pereira, L. C., Maciel, L. B., Balestrassi, P. P., Bonatto, B. D., & Luiz, C. (2022). Socioeconomic and environmental consequences of a new law for regulating distributed generation in Brazil : A holistic assessment. *Energy Policy*, 169(August), 23. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113176>
- D'Adamo, I., Gastaldi, M., & Morone, P. (2020). The post COVID-19 green recovery in practice : Assessing the profitability of a policy proposal on residential photovoltaic plants. *Energy Policy*, 147(June), 11. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111910>
- D'Adamo, I. D., Gastaldi, M., Morone, P., & Ozturk, I. (2022). Economics and policy implications of residential photovoltaic systems in Italy's developed market. *Utilities Policy*, 79(September), 13. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101437>
- da Silva, P. P., Dantas, G., Pereira, G. I., Câmara, L., & de Castro, N. J. (2019). Photovoltaic distributed generation – An international review on diffusion, support policies, and electricity sector regulatory adaptation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103(April 2018), 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.028>
- de Carvalho, F. T. (2019). A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável da ONU e seus autores: o impacto do desenvolvimento sustentável nas relações internacionais. *Confluências*, 21(3).

- Deng, G., & Newton, P. (2020). Assessing the impact of solar PV on domestic electricity consumption : Exploring the prospect of rebound effects. *Energy Policy*, 110(January 2017), 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.08.035>
- Eletrobrás. (2020). *Programa Mais Luz para a Amazônia*. <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Mais-Luz-para-a-Amazonia.aspx>
- Ellabban, O., & Alassi, A. (2019). Integrated Economic Adoption Model for residential grid-connected photovoltaic systems : An Australian case study. *Energy Reports*, 5, 310–326. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.02.004>
- Galvin, R. (2022). Why German households won't cover their roofs in photovoltaic panels : And whether policy interventions , rebound effects and heat pumps might change their minds. *Renewable Energy Focus*, 42, 236–252. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.07.002>
- Galvin, R., Dütschke, E., & Weiß, J. (2021). A conceptual framework for understanding rebound effects with renewable electricity : A new challenge for decarbonizing the electricity sector. *Renewable Energy*, 176, 423–432. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.074>
- Galvin, R., Schuler, J., Tugba, A., Schmitz, H., Pfaff, M., & Kegel, J. (2022). A health research interdisciplinary approach for energy studies : Confirming substantial rebound effects among solar photovoltaic households in Germany. *Energy Research & Social Science*, 86(November 2021), 13. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102429>
- Kim, J. D., & Trevena, W. (2021). Measuring the rebound effect : A case study of residential photovoltaic systems in San Diego. *Utilities Policy*, 69(December 2020), 10. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2020.101163>
- Kühnbach, M., Bekk, A., & Weidlich, A. (2022). Towards improved prosumer participation : Electricity trading in local markets. *Energy*, 239, 15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122445>
- Machado, A. B., & Rampinelli, G. A. (2022). Avaliação de modelos energéticos para comercialização de energia elétrica ponto a ponto entre consumidores e prosumidores residenciais. *Revista Brasileira de Energia Solcar*, XIII, 103–112.
- Mitscher, M., & Ricardo, R. (2012). Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil. *Energy Policy*, 49, 688–694. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.009>
- Oberst, C. A., Schmitz, H., & Madlener, R. (2019). Are Prosumer Households That Much Different ?

- Evidence From Stated Residential Energy Consumption in Germany. *Ecological Economics*, 158(March 2018), 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.12.014>
- ONU Brasil, O. das N. U. B. (2018). Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos. *PNUD No Mundo*, 34. <https://nacoesunidas.org/pos2015/ods7/>
- Qiu, Y., Kahn, M. E., & Xing, B. (2019). Quantifying the rebound effects of residential solar panel adoption. *Journal of Environmental Economics and Management*, 96, 310–341. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.06.003>
- Rhiger, A., Hove, M., & Gram-hanssen, K. (2022). Characterizing the Danish energy prosumer : Who buys solar PV systems and why do they buy them ? *Ecological Economics*, 193(December 2021), 10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107333>
- Shao, X., & Fang, T. (2021). Performance analysis of government subsidies for photovoltaic industry : Based on spatial econometric model. *Energy Strategy Reviews*, 34, 7. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100631>
- Sheikh Hoseini, M., Rashidinejad, M., Ameri, M., & Abdollahi, A. (2018). Economic analysis of support policies for residential photovoltaic systems in Iran. *Energy*, 165, 853–866. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.217>
- Toroghi, S. H., & Oliver, M. E. (2019). Framework for estimation of the direct rebound effect for residential photovoltaic systems. *Applied Energy*, 251(April), 16. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113391>
- Vélez-Henao, J.-A., & García-Mazo, C.-M. (2022). Environmental rebound effect of wind and solar technologies in. *Industrial Ecology*, 2023, 1784–1795. <https://doi.org/10.1111/jiec.13326>
- Wang, S., Wu, J., Peng, Y., Xu, J., Leinonen, L., Wang, Y., & Meng, Z. (2022). Influence of Residential Photovoltaic Promotion Policy on Installation Intention in Typical Regions of China. *Sustainability*, 1–30.
- Wei, T., Zhou, J., & Zhang, H. (2019). Rebound effect of energy intensity reduction on energy consumption. *Resources, Conservation & Recycling*, 144(December 2018), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.012>
- Zander, K. K. (2021). Adoption behaviour and the optimal feed-in-tariff for residential solar energy production in Darwin (Australia). *Journal of Cleaner Production*, 299(December 2018), 11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126879>