

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

DIEGO FRAGOSO DANTAS

**UMA ANÁLISE ECONÔMICA DO COMPORTAMENTO DO PROSSUMIDOR POR
MEIO DAS TEORIAS DA PERSPECTIVA E DO COMPORTAMENTO
ECONÔMICO**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLÓGICA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

DIEGO FRAGOSO DANTAS

**UMA ANÁLISE ECONÔMICA DO COMPORTAMENTO DO PROSSUMIDOR POR
MEIO DAS TEORIAS DA PERSPECTIVA E DO COMPORTAMENTO
ECONÔMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, Dr.Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Dantas, Diego Fragoso
Uma Análise Econômica do Comportamento do Prosumidor
por Meio das Teorias da Perspectiva e do Comportamento
Econômico / Diego Fragoso Dantas; orientação de Everthon
Taghori Sica. - Florianópolis, SC, 2022.
53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Prosumidor. 2. Resposta da Demanda. 3. Teoria
Econômica Comportamental. 4. Teoria da Perspectiva. 5.
Engajamento. I. Sica, Everthon Taghori. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. Uma Análise Econômica
do Comportamento do Prosumidor por Meio das Teorias
da Perspectiva e do Comportamento Econômico.

UMA ANÁLISE ECONÔMICA DO COMPORTAMENTO DO PROSSUMIDOR POR MEIO DAS TEORIAS DA PERSPECTIVA E DO COMPORTAMENTO ECONÔMICO

DIEGO FRAGOSO DANTAS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista em 2022 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 14 de março, 2022.

Banca Examinadora:



Assinado de forma digital por
Everthon Taghori Sica
Localização: Florianópolis
Dados: 2022.03.28 16:37:05 -03'00'

Prof. Everthon Taghori Sica, Dr Eng.



Documento assinado digitalmente
Rubipiara Cavalcante Fernandes
Data: 17/03/2022 09:17:56-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Rubipiara Cavalcante Fernandes, D. Eng.

EDGAR FELLIPE DA
SILVA:05233688956

Assinado de forma digital por
EDGAR FELLIPE DA
SILVA:05233688956
Dados: 2022.03.27 22:35:43 -03'00'

Edgar Silva, Eng.

DEDICATÓRIA

À minha família, pelo apoio incondicional, pelo suporte, educação, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Cleonice de Lima Fragoso Dantas e Everardo da Silva Dantas por todo apoio, paciência e carinho incondicional durante esses anos.

A minha namorada, atual noiva e futura esposa pelo amor, carinho, apoio, paciência, companheirismo que me proporciona a cada dia e por suportar meus altos e baixos e por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientar, Prof. Everthon Taghori Sica, Dr.Eng, pela oportunidade e comprometimento, ensinamentos, incentivo, por acreditar em mim em momento de baixa autoestima e dedicação excepcional durante não só o desenvolvimento desse trabalho, mas em todo o curso de engenharia elétrica.

Agradeço aos amigos que fiz na faculdade e levarei para a vida pelo companheirismo e parceria durante o curso e fora dele.

Agradeço as pessoas que também me acompanharam ao longo desta longa caminhada e de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

– Nikola Tesla

Resumo

O consumidor, sobretudo aquele conectado junto à rede secundária, é afetado pelo crescente desenvolvimento das formas de geração distribuídas e pela evolução das estruturas econômicas de mercado. Assim, é desejável aprofundar as formas de gerenciamento eficiente e de engajamento do prossumidor. Este trabalho visa apresentar uma análise da teoria da perspectiva e do comportamento econômico para interpretação e modelagem, considerando o comportamento e o bem-estar econômico do prossumidor frente à tomada de decisão. Serão explorados a compreensão dos processos de decisão e da economia comportamental, e como essas teorias auxiliam no incentivo e engajamento dos prossumidores sobre o consumo e oferta de energia, gamificação e na modelagem dos programas de resposta da demanda.

Palavras-chave: Prossumidor. Resposta da demanda. Teoria Econômica Comportamental. Teoria da Perspectiva. Engajamento.

ABSTRACT

The consumer, especially the one connected with the secondary network, is affected by the increasing development of distributed forms of generation and the evolution of economic market structures. Thus, it is desirable to deepen the ways of efficient management and engagement of the prosumer. This paper aims to present an analysis of the theory of perspective and economic behavior for interpretation and modeling, considering the behavior and economic well-being of the prosumer in the face of decision making. The understanding of decision processes and behavioral economics will be explored, and as auxiliary theories in the incentive and engagement of prosumers on energy consumption and supply, gamification and modeling of demand response programs.

Keywords: Prosumer. Demand Response. Economic Theory. Behavioral Economic Theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estratégias de GLD	9
Figura 2 - Benefícios dos programas de resposta da demanda	12
Figura 3 – Curva da oferta e demanda.....	14
Figura 4 - Exemplo do <i>script</i> da ligação utilizada no PER.	17
Figura 5 – Modelo de carta enviada ao cliente na utilização do HER.	18
Figura 6: Função de valor subjetivo e de ponderação das probabilidades da teoria da perspectiva.....	28
Figura 7: Comparação das quatro soluções de negociação.....	29

Lista de abreviaturas e siglas

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A

CPP - *Critical Peak Pricing*

DR – *Demand Response*

EHP – *Electric Heat Pump*

GD – Geração Distribuída

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

HER – *Home Energy Report*

PCH – Pequenas Centrais Hidrelétricas

PER - *Peak Energy Report*

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RPT – *Real Time Price*

TOU - *Time-of-Use*

Sumário

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Definição do Problema	4
1.2	Justificativa	5
1.3	Objetivos.....	5
1.4	Metodologia	5
1.5	Estrutura do trabalho.....	6
2	GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA	7
2.1	Resposta da Demanda.....	9
3	TEORIAS DA ESCOLHA ECONÔMICA	13
3.1	Teoria Econômica Comportamental	15
3.2	Teoria da Perspectiva	24
4	CONCLUSÃO	39
5	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Para um prosumidor, a Resposta da Demanda (DR) pode ser interpretada como uma alternativa econômica para reduzir a demanda no horário de pico ou minimizar contingências ou mesmo para criar ou induzir um novo nicho econômico, como um mercado local. A DR é uma das alternativas econômicas evolutivas em que os consumidores podem se engajar e desempenhar um papel ativo. Nesse sentido, existe uma mudança de papel no qual os consumidores, considerados como agentes econômicos passivos, tornam-se clientes, ou seja, agentes econômicos ativos no mercado de distribuição de energia elétrica – prosumidores. E, considerando o advento da internet das coisas e das redes elétricas inteligentes, as concessionárias de energia podem ter uma atuação maior sobre o comportamento dos prosumidores. Desse modo, o impacto do gerenciamento da DR e o comportamento dos prosumidores poderiam ser modelados, assim como os contratos de prestação de serviços para a rede com agregadores de demanda, para determinados períodos e condições que podem ser incorporados em algoritmos de modelagem econômica e previsão de carga.

Os programas econômicos, que influenciam o comportamento dos prosumidores, podem ser planejados e modelados pelo o viés econômico neoclássico, pautado na teoria da utilidade esperada. Considerando essa teoria, o processo de escolha do prosumidor sob incerteza é modelado por meio de um conjunto lógico de procedimentos matemáticos baseados em axiomas e preferências monotônicas. Desse modo, os planos de ação e as técnicas de modelagem utilizadas na construção desses programas econômicos consideram que os prosumidores são seres racionais e sempre tomarão decisões que irão produzir resultados ideais. Entretanto, o ser humano é dotado de subjetividades que influenciam o seu processo de decisão. Os planos de ação ou os programas econômicos que negligenciam esta subjetividade podem resultar em decisão racional falaciosa por parte dos prosumidores.

Entender o comportamento econômico é um desafio crucial para compreensão sobre o modo de consumo e a resposta econômica da demanda. Neste

trabalho serão explorados a compreensão da teoria da decisão e da economia comportamental e como estas teorias auxiliam no incentivo e engajamento dos prosumidores sobre o consumo e oferta de energia e a gamificação. Por fim, são apresentadas análises interpretativas da teoria da perspectiva aplicada ao engajamento do prosumidor e um modelo matemático aproximativo pautado na teoria do comportamento econômico.

A teoria da perspectiva, assim como a teoria econômica comportamental, foi proposta como uma forma de amenizar a lacuna econômica na interpretação e na elaboração do planejamento e da modelagem de programas econômicos que objetivam, diante de uma estrutura de mercado, conduzir os agentes sociais e econômicos na direção da eficiência e eficácia econômicas. Este trabalho pretende contribuir para melhorar as formas de modelagem e procedimentos de premiação de prosumidores de energia elétrica que se caracterizam por heurísticas de decisão.

1.1 Definição do Problema

O Gerenciamento pelo Lado da Demanda (GLD), segundo Gellings (1985), é o planejamento, a implementação e o monitoramento de ações da concessionária destinadas a influenciar o uso de energia elétrica dos consumidores de forma a produzir alterações desejadas na curva de carga. Dentro do contexto do GLD umas das estratégias utilizadas é a Resposta da Demanda (DR) que se caracteriza pela resposta econômica sob a curva da oferta de energia elétrica por parte do consumidor de energia elétrica dotado de mini ou microgeração ou por um controle da carga por parte da concessionária de distribuição de energia elétrica local.

A resposta da demanda, de um lado, é uma alternativa econômica para reduzir a demanda no horário de pico ou evitar uma emergência no sistema (EARLE; KAHN; MACAN, 2009). Por outro lado, a resposta da demanda, sob uma estrutura de mercado que proporcione o *Net Metering*, é uma alternativa de ampliar a oferta de eletricidade local e distribuída por parte dos que usualmente são apenas agentes passivos da demanda: os consumidores. Os modelos matemáticos existentes de DR utilizam como referência a teoria econômica clássica e não consideram o comportamento e a satisfação do consumidor, sendo que em muitos casos as modelagens são baseadas em modelos ortodoxos (SORRELL, 2015).

Assim, como poderiam os resultados das estratégias de DR serem confiáveis e satisfatórios se os mesmos não consideram o processo de tomada de decisão do usuário, sua satisfação e seu bem-estar?

Tendo em vista tal questão, as teorias da perspectiva e do comportamento econômico são utilizadas para compreender e modelar o comportamento social com a intenção de serem implementadas nas modelagens matemáticas e econômicas de resposta da demanda.

1.2 Justificativa

Segundo Silva (2013), a resposta da demanda é uma estratégia utilizada para diminuir o consumo nos momentos críticos. Entretanto, sem uma consideração dos comportamentos dos prossumidores, tal estratégia pode se apresentar insuficiente para entregar a transformação necessária (SORRELL, 2015), visto que as técnicas de modelagem usuais são pautadas unicamente que os agentes econômicos são seres racionais e que sempre tomarão decisões que irão produzir resultados ideais (CAMARA; XU; BINYET, 2017).

Nesse sentido, a teoria da perspectiva foi proposta como uma contribuição para a solução para esse problema, pois a mesma utiliza de *insights* psicológicos, sociais, cognitivos, emocionais e dos fatores da decisão de um indivíduo na modelagem de um problema (GOOD, 2019).

1.3 Objetivos

Apresentar uma análise da teoria da perspectiva e da teoria de comportamento econômico para interpretação e modelagem, considerando o comportamento e o bem-estar econômico do prossumidor frente à tomada de decisão.

1.4 Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi a pesquisa qualitativa de caráter exploratório, dado que muitas informações, estudos, teorias e métodos foram levantados, servindo de base e suporte para o alcance dos objetivos pretendidos. Com

base nas pesquisas realizadas, foram realizadas interpretações, análises e conclusões a respeito do assunto abordado permitindo o pesquisador se envolver no contexto. Para aplicação dos estudos realizados e a concretização dos objetivos, foi utilizado a metodologia econômica de caráter matemático, que consiste basicamente na construção/representação de teorias econômicas utilizando modelos matemáticos, além de, permitir e/ou auxiliar na formulação do comportamento humano.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está organizado em seis capítulos. O primeiro capítulo é destinado a apresentação, introdução, definição, justificativa do problema e objetivos. O segundo contempla a definição do GLD, as estratégias, os possíveis programas de DR e seus benefícios. O terceiro é centrado na análise das teorias das escolhas econômicas, diga-se teoria do comportamento econômico e teoria da perspectiva, com o objetivo de serem utilizados como referência para a modelagem da resposta da demanda considerando o comportamento, a satisfação e bem-estar do prosumidor. São nesses capítulos em que são apresentadas as modelagens incluindo as teorias supracitadas. Finalizando, o quarto e quinto capítulos apresentam a conclusão e as referências bibliográficas, respectivamente.

2 GERENCIAMENTO PELO LADO DA DEMANDA

Gellings (1985) conceitua GLD como sendo intervenções deliberadas de uma empresa de energia no mercado consumidor com o objetivo de alterar seu consumo de energia. O GLD busca garantir o atendimento da demanda por eletricidade com qualidade, confiabilidade, economia, segurança e de forma ambientalmente sustentável (GUIMARÃES JUNIOR, 2016). A implementação de atividades, através de programas de GLD, que influenciam os consumidores a realizar mudanças na sua curva de carga e que consequentemente resulte em um uso eficiente de recursos e reduz custos para a empresa elétrica e para o consumidor, envolve planejamento e análise (LIMAYE, 1985).

Garcia (2018) afirma que o GLD ocorre por duas vias: o direto e o indireto. O GLD direto ocorre quando a própria concessionária através de contrato de interrupção com o consumidor, defini quando e quais cargas serão desligadas ou reduzidas. O GLD indireto ocorre quando o próprio consumidor altera seu consumo em resposta a algum incentivo da concessionária.

Como exemplo de GLD direto tem-se a implementação de dispositivos eletrônicos nas residências, que se comunicam com a concessionária e permitem o controle das cargas, a ele conectadas, por parte da concessionária. Já no GLD indireto, como exemplo, tem-se a tarifa branca que incentiva, por parte da concessionária, o deslocamento do pico de demanda do consumidor para horários onde o preço da energia é reduzido (CUNHA, 2016).

As estratégias para moldar a curva de carga independem da categoria do GLD, direto ou indireto. Gellings (1985) descreveu seis estratégias, ver figura 1, para tal solução:

- a) **Redução do pico (*Peak clipping*):** O rebaixamento do pico diz respeito a redução da carga na ponta. A redução obtida ocorre devido um controle direto da carga por parte da concessionária de energia. Como exemplo, o rebaixamento do pico seria o desligamento automático de chuveiros no horário de ponta a fim de preservar e garantir a operação do sistema.

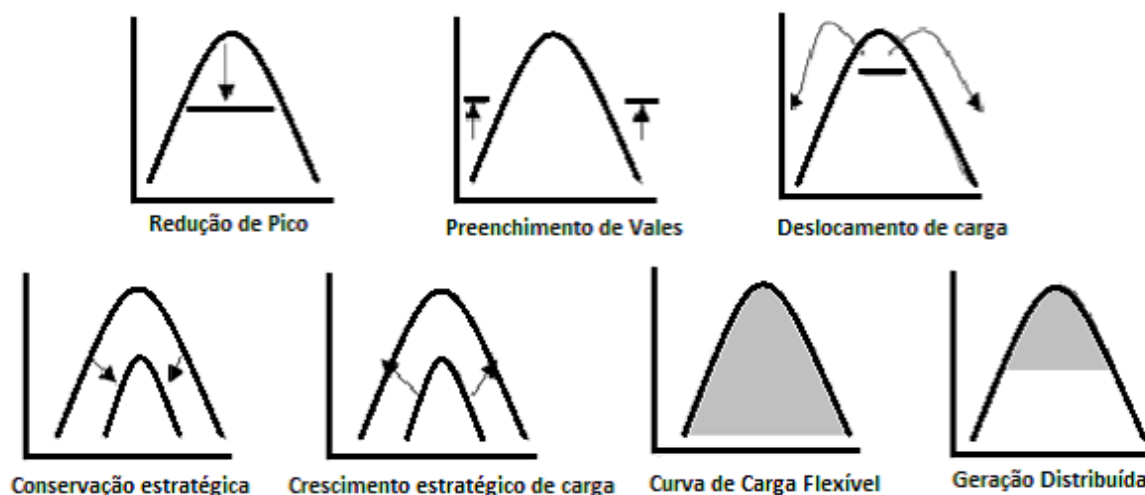
- b) **Preenchimento de vales (*Valley filling*):** Essa estratégia incentiva os consumidores a utilizar mais energia elétrica fora do horário de pico, no período onde a energia está mais barata.
- c) **Deslocamento na carga (*Load shifting*):** Estratégia utilizada quando se deseja mover a carga do horário de pico para o horário fora de pico de pico. Essa estratégia combina os efeitos do rebaixamento do pico e preenchimento de vales.
- d) **Conservação estratégica (*Strategic conservation*):** É uma mudança na curva de carga através do incentivo à troca de equipamentos de uso final por equipamentos mais eficientes. Tal incentivo é realizado pelas concessionárias de energia com o intuito de diminuir o consumo de energia.
- e) **Crescimento estratégico da carga (*Strategic load growth*):** É um crescimento da carga que incentiva a substituição de equipamentos ineficientes por equipamentos mais eficientes, como por exemplo, a substituição de carros movidos a combustíveis fósseis por carros elétricos.
- f) **Curva de carga flexível (*Flexible load shape*):** É uma estratégia relacionada à confiabilidade. No planejamento futuro, que deve englobar o estudo da oferta e demanda, a carga poderá ser flexível se forem dadas aos consumidores opções de qualidade do serviço, que variam conforme o preço. Este programa envolve carga interruptível, gerenciamento integrado da energia e aparelhos individuais de controle.

Além das estratégias propostas por Gellings, este trabalho apresenta mais uma estratégia para moldar a curva da carga, a geração distribuída (GD) por parte do prosumidor.

- g) **Geração Distribuída (*Distributed Generation*):** Se caracteriza como uma estratégia que pode ser utilizada pela concessionária para suprir a energia fornecida no momento em que é mais cara ou na sua falta. É uma geração próxima a carga e independe da tecnologia de geração. Como exemplo, a energia solar fotovoltaica.

Na Figura 1 são apresentadas de forma gráfica cada uma as estratégias.

Figura 1 - Estratégias de GLD



Fonte: Adaptado de Gellings (1985).

2.1 Resposta da Demanda

Com o advento da internet das coisas, revolução industrial 4.0 e das redes elétricas inteligentes (do inglês *Smart Grid*), as concessionárias de energia possuem uma atuação maior sobre a carga dos consumidores. Com isso, programas como a resposta da demanda (DR) são uma excelente oportunidade de aplicação com o objetivo de redução da demanda de pico e evitar emergências no sistema (EARLE; KAHN; MACAN, 2009). São diversos os programas de DR e Delgado (1985) apresenta algumas alternativas:

- a) **Controle de Equipamentos Utilitários (*Utility Equipment Control*)**: Essa é uma alternativa utilizada com maior frequência no setor residencial, podendo também ser empregada no setor comercial e industrial. Se caracteriza pelo controle individual de aparelhos de grande consumo, de forma local ou remota. No Brasil, uma das melhores cargas para controle é o aquecimento de água, que segundo o estudo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), “[...] dos sistemas que usavam energia elétrica como fonte de aquecimento, o chuveiro elétrico respondeu

pela quase totalidade, com a parcela de 99,6%.” (PROCEL, 2007, p.49).

- b) **Armazenamento de Energia (*Energy Storage*):** Essa técnica consiste no armazenamento de energia sob a forma de calor. Os programas de RD utilizam a energia fora do horário de pico para armazená-la na forma de calor e posteriormente utilizá-la no horário de pico. Pode ser aplicada em aparelho de ar-condicionado e aquecedores.
- c) **Geração Distribuída (*Distributed Generation*):** A GD só pode ser considerada uma alternativa de programa de DR quando a própria concessionária exerce o controle, direto ou indireto. A geração eólica, solar, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), cogeração e outros tipos de geração, podem ser coordenadas pelas concessionárias de energia a fim de atender os objetivos de um programa de DR. Na maioria dos casos, a GD é considerada fora do escopo de um programa de DR, através de consumidores individuais ou empresas: o prosumidor
- d) **Promoções junto aos Consumidores (*Customer DSM Promotions*):** Ocorre através da conscientização das concessionárias junto as pessoas de uma comunidade. Tem por objetivo promover uma discussão aprofundada do valor da energia dentro da comunidade para motivar as ações dos consumidores na direção dos objetivos do programa de DR. Tendo a comunidade alcançado o objetivo do programa desenvolvido especificamente para ela, a concessionária pode fornecer recompensas e/ou serviço que beneficiarão a todos.
- e) **Melhoria de Desempenho – Equipamentos e Sistemas (*Performance Improvement - Equipment and Systems*):** Consiste em programas das concessionárias que visam a substituição de equipamentos menos eficientes por mais eficientes e que consomem menos energia. Aparelhos como geladeira e ar-condicionado, são exemplos de aparelhos passíveis de compor este programa. Como exemplo, a CELESC no mês de maio de 2019, deu início a segunda

etapa do bônus eficiente, o qual disponibiliza mais 2.692 equipamentos entre freezers, refrigeradores e ar condicionados. A energia economizada com essa edição do projeto é de 3.700 MWh/ano e uma redução de demanda de 865 kW no horário de ponta, o equivalente ao abastecimento de 1.541 residências durante um ano (CELESC, 2019).

- f) **Tarifas de Incentivo (*Incentive Rates*):** Essa alternativa “consiste na definição de tarifas diferenciadas com base nos custos de geração de energia em determinado horário” (SILVA, 2013). Segundo Faria e Vale (2011), as variações nos preços de compra de energia estão diretamente relacionadas com as mudanças de consumo por parte do consumidor. A demanda tende a subir quando o preço diminui e o contrário também ocorre, quando o preço sobe o consumo tende a descer (PINDICK; RUBINFELD, 2002 apud SILVA, 2013). Existem algumas maneiras de aplicar os programas de DR utilizando tarifas de incentivo, em especial, três: Real Time Price (RPT), Time-of-use (TOU) e Critical Peak Pricing (CPP).
- **Real Time Price (RPT):** Esse tipo de precificação varia a cada hora, sendo que os consumidores podem ser notificados com uma hora ou um dia de antecedência (DOE, 2006). Os consumidores devem pagar os preços que reflitam as condições de oferta e demanda do sistema, em determinado período (BORENSTEIN; JASKE; ROSENFELD, 2002), sendo incentivados a alterar sua demanda de energia o tempo todo (SOUZA, 2010).
 - **Time-of-Use (TOU):** Segundo Souza (2010), envolve a definição de preços diferenciados por períodos de tempo pré-definidos: sejam horas do dia, dias da semana ou períodos do ano. A TOU pode ser definida como uma taxa com diferentes preços durante diferentes blocos de tempo de forma a refletir o custo médio de geração, transmissão e distribuição da energia durante o período do bloco (DOE, 2006). Como exemplo desse tipo de precificação, tem-se a

tarifa branca. Ela é composta por três postos tarifários: pico, intermediário e fora de pico. O horário de pico são três horas consecutivas, geralmente entre 18h e 21h. O horário intermediário é uma hora anterior ao horário de ponta e uma hora logo após. Já o horário fora de pico são as demais horas do dia (GUIMARÃES JUNIOR, 2016).

- **Critical Peak Pricing (CPP):** É um tipo de precificação que utiliza os métodos TOU e RPT, sendo que a estrutura base é a da TOU. Em períodos críticos de pico do sistema, é adicionada uma taxa extra a uma tarifa do tipo TOU, sendo que os consumidores são avisados em curtíssimo prazo pela distribuidora (SOUZA, 2010).

Os benefícios dos programas de resposta da demanda são inúmeros. Faria e Vale (2011) informam alguns benefícios, como por exemplo, aumento da confiabilidade, redução do consumo em horários pré definidos, aumento da eficiência e segurança do sistema e redução nos investimentos em novas instalações. Já Aghaei e Alizadeh (2013) dividem os benefícios dos programas de DR, conforme pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Benefícios dos programas de resposta da demanda



Fonte: Adaptado de Aghaei e Alizadeh (2013).

Para os resultados dos programas de DR serem ainda mais precisos é necessário levar em consideração o comportamento do consumidor. Referente a esse assunto, Leite (2015) afirma:

O impacto do gerenciamento da DR e o comportamento dos consumidores devem ser modelados e previstos pelas regras de preço e procedimentos de premiação para determinados períodos de tempo que podem ser incorporados em algoritmos de modelagem e previsão de cargas [...].(LEITE, 2015,p. 35).

Dessa forma, os tópicos seguintes irão fornecer uma introdução que irá auxiliar na compreensão do comportamento do consumidor e na modelagem da DR.

3 TEORIAS DA ESCOLHA ECONÔMICA

A teoria econômica ou economia, segundo Vasconcellos (2002) “pode ser definida como a ciência social que estuda como o indivíduo e a sociedade decidem utilizar recursos produtivos escassos [...], com a finalidade de satisfazer às necessidades humanas”. Uma das melhores definições foi dada por Samuelson e Nordaus (2001) que definiram a economia como sendo “uma ciência social que estuda a administração dos recursos escassos entre usos alternativos e fins competitivos”.

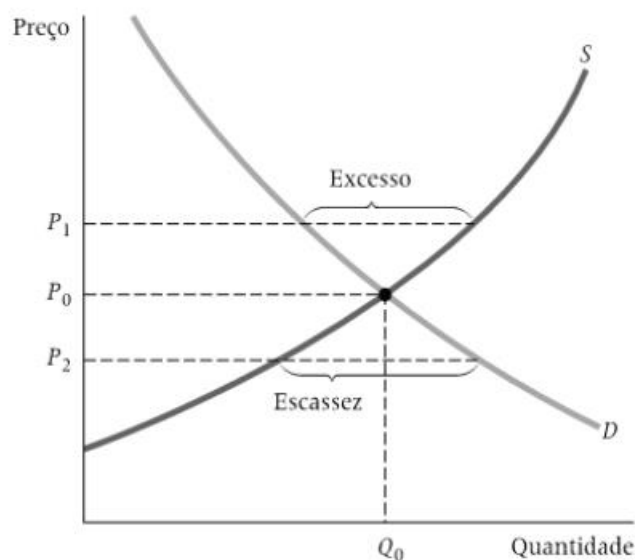
Segundo Rossetti (2003) “a economia é um estudo da humanidade nas atividades correntes da vida, examina a ação individual e social em seus aspectos mais estreitamente ligados à obtenção e ao uso das condições materiais do bem-estar”.

A economia divide-se em duas vertentes: microeconomia e macroeconomia. A microeconomia diz respeito ao comportamento de qualquer indivíduo ou entidade que tenham participação no funcionamento da economia (PINDYCK; RUBINFELD, 2002). Conhecida também como teoria de preços, é a parte da teoria econômica que estuda o comportamento entre empresa e consumidor e como interagem (VASCONCELLOS, 2002). É na microeconomia que é abordado o conceito de oferta e demanda, que segundo Pindyck e Rubinfeld (2002), é um modelo que “ajuda a compreender por que e como os preços mudam e o que acontece quando um governo intervém em um mercado”. Na Figura 3 é possível analisar a curva da

oferta (S) e da demanda (D) e o ponto de equilíbrio (Q_0, P_0) entre ambas. Nota-se que se o preço subir a P_1 haverá um excesso de oferta e se o oposto ocorrer e o preço cair para P_2 haverá uma escassez de oferta. Em ambos os casos o mercado se ajustaria a fim de manter o equilíbrio entre oferta e demanda, considerando nesse caso um mercado competitivo e auto regulado (PINDYCK; RUBINFELD, 2002).

Com o questionamento sobre até onde o consumidor pagaria por tal produto, surgiu dentro da microeconomia a teoria do comportamento do consumidor, que segundo Pindyck e Rubinfeld (2002), explica “como os consumidores alocam sua renda para aquisição de mercadoria e serviços diversos”.

Figura 3 – Curva da oferta e demanda



Fonte: Adaptado de Pindyck e Rubinfeld (2002).

A macroeconomia trata os mercados de forma global. Ela não analisa individualmente o comportamento das unidades econômicas, ela concentra-se no estudo agregado das principais tendências como renda e produto nacionais, investimento, poupança, emprego, desemprego, estabilidade de preços e o controle inflacionário (VASCONCELLOS, 2002).

Dentro da microeconomia, ao longo de décadas, surgiram estudos que uniam a economia clássica com a psicologia e “[...] que incorporam premissas mais

realistas sobre a racionalidade e tomada de decisão” (PINDYCK, ROBERT S., RUBINFELD, 2002). Tais estudos e seus avanços são conhecidos como economia comportamental ou teoria econômica comportamental.

3.1 Teoria Econômica Comportamental

Os primeiros estudos relacionados com o que chamamos hoje de teoria econômica comportamental surgiu em meados da década de 50 proveniente de estudos da psicologia que buscavam descrever de maneira mais realista o processo de decisão dos indivíduos. Foi nessa década que alguns autores começaram a defender o uso de modelos que analisavam o comportamento individual. Mas foi somente na década de 70 que a economia comportamental ganhou destaque quando os psicólogos cognitivos deram início ao estudo do processo de decisão e comportamento dos agentes sociais e com isso começaram a relacionar tais estudos ao campo da economia (ÁVILA, F.; ÁVILA, M, 2002).

Richard Thaler é um economista que contribuiu expressivamente para a economia comportamental. Junto com Cass R. Sunstein, escreveu o livro *Nudge: Improving Decisions, about Health, Wealth and Happiness*. Foi através da elaboração desse livro que Thaler e Sunstein deram início ao conceito de *Nudge*. A obra trouxe a ideia de como um empurrão ou um gatilho pode influenciar a decisão de um consumidor (FRABASILE, 2017). Segundo Thaler e Sunstein (2009):

Uma cutucada ou orientação é qualquer aspecto da arquitetura de escolhas que altera o comportamento das pessoas de maneira previsível sem proibir nenhuma opção nem mudar significativamente seus incentivos econômicos. Para ser considerada uma mera cutucada ou orientação, uma intervenção deve ser fácil e barata de evitar. As cutucadas não são ordens. (THALER; SUNSTEIN, 2009, p.6).

Para Hansen (2016), *Nudge* pode ser conceituado como:

Uma função de qualquer tentativa de influenciar o julgamento, escolha ou comportamento das pessoas de uma forma previsível, que é (1) possibilitada em virtude de limites cognitivos, vieses, rotinas e hábitos na tomada de decisão individual ou social, que impõem barreiras para que as pessoas ajam racionalmente em seu próprio auto interesse; e que (2) funcionam valendo-se desses limites, vieses, rotinas e hábitos como parte integrante de tais tentativas. (HANSEN, 2016, p.158).

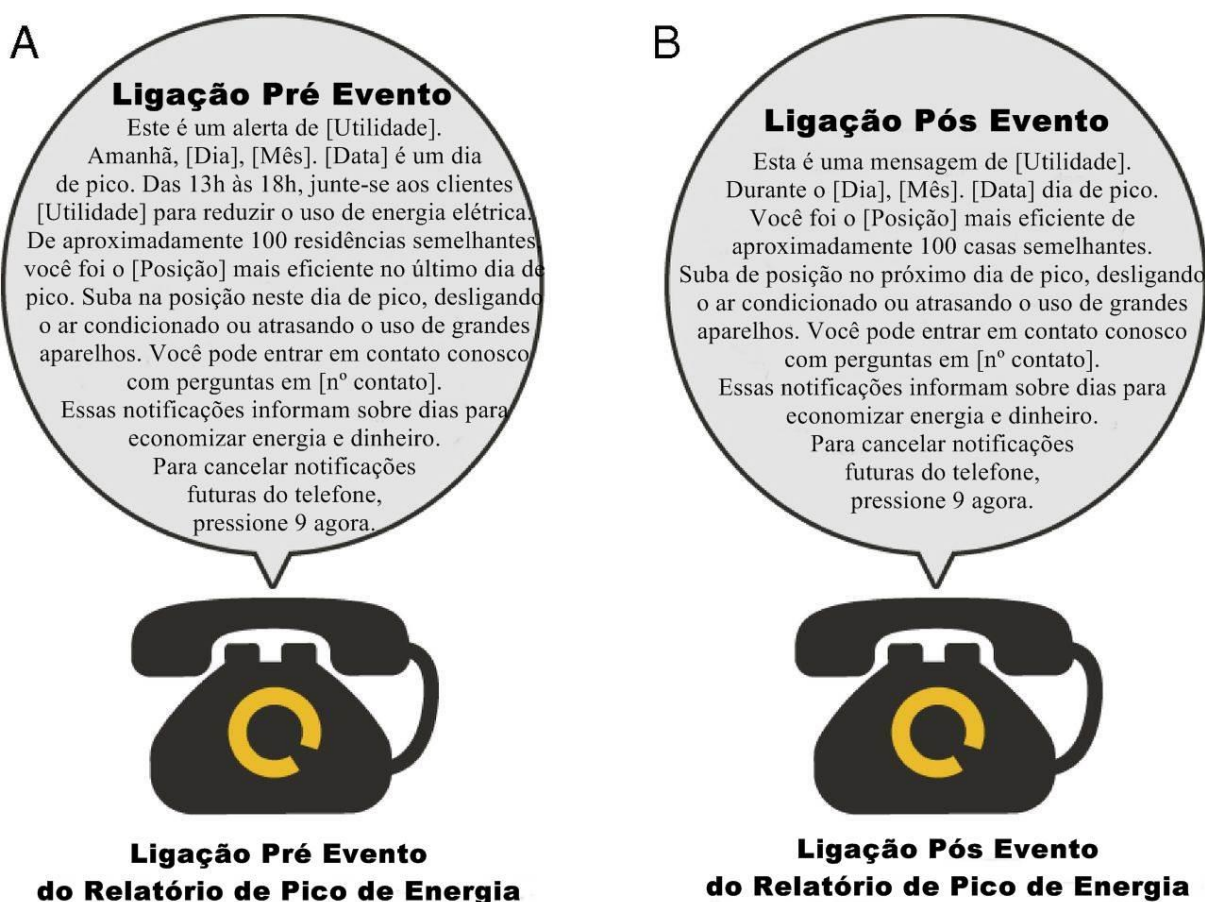
Assim, nota-se que *Nudge* consiste em um conceito de incentivo que busca fazer com que o agente alcance determinado objetivo. A ideia é induzir e não coagir (DUMONEY, 2018). A teoria *nudge* pode ser aplicada em diversas áreas, desde a gestão de negócios, políticas públicas, propaganda e até no consumo de energia. Em entrevista à revista Época Negócios, o professor da Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, Joelson Sampaio, informou que no Rio de Janeiro a prefeitura utilizou essa estratégia ao ligar para os moradores e dizer que o bom cidadão paga suas contas. Consequentemente, o número de pessoas que pagaram o IPTU foi maior (FRABASILE, 2017). A Espanha é líder mundial na doação de órgãos visto que toda a população é registrada automaticamente como doadora, a menos que decidam por um motivo ou outro não se incluir (DUMONEY, 2018). Percebe-se em ambos os casos, que foram dados incentivos a fim de se alcançar determinado resultado, em nenhum momento os cidadãos foram coagidos a pagarem suas contas ou serem doadores de órgãos. Outros exemplos são observados nas vitrines das lojas, onde as empresas sabem que se colocarem um anúncio de desconto em determinado produto, as pessoas provavelmente irão comprar mais, mesmo que o preço final seja o mesmo do que era antes (FRABASILE, 2017). De modo geral, os impactos da teoria de *nudge* foi maior nas políticas públicas visto que diversos países criaram departamentos em seus governos a fim de utilizar incentivos que beneficiam a população. O próprio autor, Cass R Sunstein, foi chefe do Escritório de Informações e Assuntos Regulatórios no governo de Barack Obama e tinha como objetivo promover incentivos para melhorar os regulamentos americanos (SAMY, 2018).

No mercado de eletricidade também é possível encontrar casos onde o conceito de *nudge* foi utilizado. Na Califórnia, um grupo de pesquisadores em conjunto com uma concessionária de energia, se propuseram a verificar “se a eficácia de um estímulo social é atenuada pelo recebimento anterior de um estímulo social distinto.” (BRANDON *et al.*, 2018, p.5293). O estudo se deu da seguinte forma, 42.100 domicílios, selecionados de forma aleatória, foram divididos em 4 grupos. O primeiro grupo recebeu o incentivo chamado de *Peak Energy Report* (PER), o segundo grupo recebeu o incentivo chamado de *Home Energy Report* (HER), o terceiro grupo recebeu os dois incentivos e o quarto grupo não recebeu nenhum incentivo.

O PER tinha como objetivo o consumo de energia no horário pico. Os consumidores integrantes desse grupo recebiam uma ligação na qual era informado

que naquele dia haveria um momento de pico de energia, então, era solicitado que fosse reduzido o consumo durante o período pré-definido. Depois do momento de pico, o consumidor recebia uma segunda ligação em que era informado a posição em que ele ficou em relação ao uso de energia naquele período em comparação com as outras residências (BRANDON *et al.* 2019). A Figura 4 ilustra as ligações recebidas pelos consumidores.

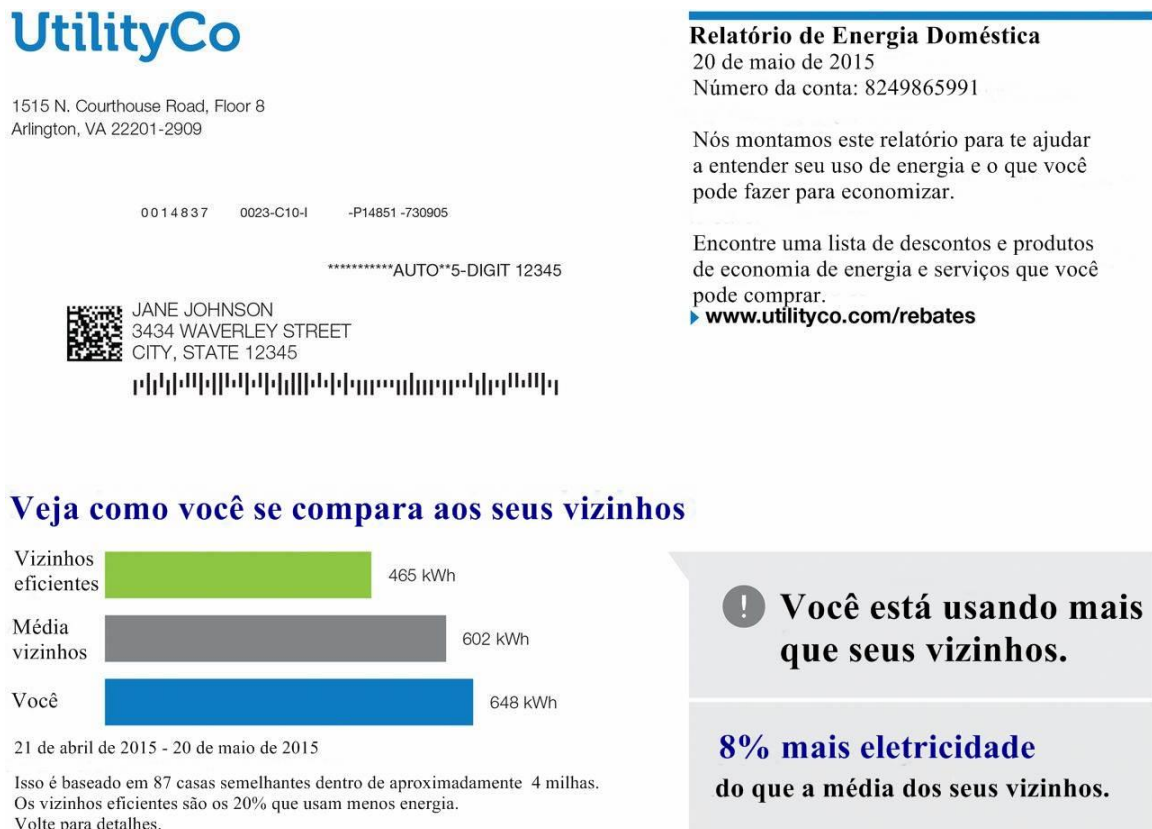
Figura 4 - Exemplo do script da ligação utilizada no PER.



Fonte: Adaptado de BRANDON *et al.* (2019)

O HER teve como objetivo o consumo total de energia dos consumidores. Nesse incentivo, os clientes recebiam cartas da concessionária de energia em que constava um gráfico que mostrava o gasto de energia de energia da sua residência em comparação com os seus vizinhos (BRANDON *et al.* 2019). A Figura 5 ilustra o modelo de carta recebida pelos consumidores.

Figura 5 – Modelo de carta enviada ao cliente na utilização do HER.



Fonte: Adaptado de BRANDON *et al.* (2019)

Os resultados obtidos mostraram que os consumidores submetidos ao incentivo PER, reduziram em 3,8% seu consumo de energia. Já os consumidores submetidos ao incentivo HER reduziram seu consumo em cerca de 2,1%. Os consumidores que foram expostos aos dois incentivos, reduziram o consumo em 6,8%. Dessa forma, os pesquisadores concluíram que a combinação dos incentivos superou os resultados dos incentivos individuais, contudo, foi deixado esclarecido que “seria ingênuo acreditar que essa dinâmica iria se manter para qualquer combinação possível de incentivos” (BRANDON *et al.* 2019).

A empresa *Opower*, especialista em *software* que analisa o consumo de energia de um domicílio e incorpora técnicas da ciência comportamental, verificou resultados excelentes nos programas pilotos de resposta comportamental da demanda, que culminou na expansão da empresa nos Estados Unidos. Empresa de serviços públicos dos Estados Unidos, como a *Commonwealth Edison*, *Glendale Water & Power*, *Baltimore Gás & Electric* e *Consumers Energy*, aderiram à resposta comportamental da demanda. O objetivo é evitar a construção de novas usinas de

geração de preço elevado e a resposta comportamental à demanda indica ser uma solução acessível com benefícios em potencial. Por não ser necessário a instalação de uma infraestrutura adicional, a solução da *Opower* possui a possibilidade de ser escalável, podendo atingir assim uma grande parcela de consumidores. Os programas pilotos funcionavam da seguinte maneira, quando o cliente assinava a plataforma da *Opower*, a empresa coletava os dados dos medidores de energia e utilizava estas informações para desenvolver incentivos aos clientes a fim de que os mesmos reduzissem seu consumo de energia nos dias de pico. Os resultados mostraram que mesmo sem avisos de alteração de preços na energia, a redução do consumo foi de 3% e esse número subiu para 5% em determinados períodos do ano. No ano seguinte, em 2015, os resultados dos programas foram os mesmos, mas dessa vez sendo aplicado a 1,5 milhões de consumidores, em contrapartida aos 800 mil do primeiro ano. A *Opower* definiu os resultados como excelentes, visto que o ceticismo é elevado em relação a coisas novas. Com os resultados apresentados, as concessionárias estão avaliando que na economia comportamental um complemento aos seus portfólios para os programas tradicionais de resposta da demanda (EPE, 2018).

Na França, a economia comportamental foi utilizada em união a gamificação no mercado de energia elétrica. A gamificação consiste basicamente em utilizar características de jogos, mas não para entretenimento, mas para engajar e motivar comportamentos e para facilitar o entendimento de determinado assunto. O projeto que durou 3 anos, tinha como objetivo reduzir o consumo de energia nos horários de pico. O aplicativo disponibilizado fornecia informações sobre o consumo de energia e como ele poderia ser reduzido. Participando do programa, o consumidor recebia pontos pela redução e podia alocá-los para alguma instituição de caridade que receberia um pagamento da concessionária de energia. Os resultados mostraram que das 140 famílias que participaram do programa, 80% reduziram seu consumo no horário de pico (EPE, 2018).

Analisando os estudos e resultados obtidos, fica evidente que nem sempre os consumidores são seres totalmente racionais que irão decidir pela melhor opção. Rogers (2003) em sua Teoria da Difusão de Inovações, afirmou que o processo de adesão de uma inovação, é um processo social, e não exato. Diversos estudos têm verificado que os incentivos podem influenciar no processo de decisão. Sudarshan (2017) demonstrou a aplicabilidade na esfera do consumo residencial, já Momsen e

Stoerk (2014) analisaram o processo de decisão do consumidor na escolha por fontes renováveis.

Good (2019) apresentou um estudo em que é incorporado “várias ideias da economia comportamental em um modelo de DR técnico-econômico existente”. A Equação 1, é a função objetivo do modelo, que ao menor custo, visa garantir o fornecimento de energia aos clientes e o conforto térmico.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{l=1}^{N_l} (\lambda_{i,l}^{imp} (E_{i,l}^{load} + P_{i,l}^{EHP} t) + \varsigma_i^+ T_{i,l}^+ + \varsigma_i^- T_{i,l}^-) \right\} \quad (1)$$

Em que:

$\lambda_{i,l}^{imp}$: Preço de importação de eletricidade no mercado [£/kWh_e];

$E_{i,l}^{load}$: Carga de eletricidade [kWh_e];

$P_{i,l}^{EHP}$: Energia elétrica da bomba de calor elétrica-EHP [kW_e];

$\varsigma_i^- / \varsigma_i^+$: Penalidade por déficit / excesso de temperatura [£/°C h];

$T_{i,l}^- / T_{i,l}^+$: Déficit de temperatura / Excesso de temperatura [$^{\circ}\text{C}$];

l : Índice de localização, 1 para N_l ; e

t : Índice de período de liquidação, 1 para N_t ;

Dada a função objetivo, Good (2019) apresenta algumas restrições a fim de modelar os recursos considerados. A Equação 2 define a temperatura do edifício, sendo que a perda de calor para o meio ambiente e o ganho de calor interno e solar são definidos pelas variáveis $Int_{i,l}$ e $Sol_{i,l}$. O efeito causado pelas ações do ocupante para reduzir a temperatura é modelado por $\alpha_{i,l}$.

$$T_{i+1,l} = T_{i,l} + (P_{i,l}^{EHP} \gamma_{i,l}^{EHP} t + (1 - \alpha_{i,l})(Int_{i,l} + Sol_{i,l}) - (T_{i,l} - T_i^{out})tR_l^{b-1})C_l^1 \quad (2)$$

Para todo $i = 1$ para N_i , $l = 1$ para N_l

Em que:

$T_{i,l}$: Temperatura interna [$^{\circ}\text{C}$]

$P_{i,l}^{EHP}$: Energia elétrica da EHP [kW_e];

$\gamma_{i,l}^{EHP}$: Coeficiente de performance da bomba de calor elétrica;

$\alpha_{i,l}$: Porcentagem do calor ventilado;

$Int_{i,l}/Sol_{i,l}$: Ganho de calor metabólico / Solar;

T_i^{out} : Temperatura externa [°C];

t : Período de tempo [h];

R_l^h : Resistência térmica da construção [kWh_{th}/°C];

C_l^h : Capacitância térmica da construção [kWh_{th}/°C];

l : Índice de localização, 1 para N_l ; e

i : Índice de período de liquidação, 1 para N_i .

Para detalhar os limites operacionais da bomba de calor elétrica, Good (2019) apresenta a Equação 3.

$$P_l^{EHPmin} \leq P_{i,l}^{EHP} \leq P_l^{EHPmax} \quad (3)$$

Para todo $i = 1$ para $N_{i,l} = 1$ para N_l

Em que:

$P_{i,l}^{EHP}$: Potência elétrica da EHP [kW_e]; e

$P_l^{EHPmax}/P_l^{EHPmin}$: Potência elétrica máxima / Mínima da EHP [kW_e];

As Equações 4 e 5 apresentam a restrição de temperatura do edifício, que quando ocupado e com a temperatura exterior acima de um limiar definido ($O_{i,l}$), deve permanecer na temperatura alvo, $T_{i,l}^{set}$. As variáveis $T_{i,l}^-$ e $T_{i,l}^+$, permitem que a temperatura oscile além dos limites pré-definidos.

$$O_{i,l}(T_{i,l} - T_{i,l}^+) \leq O_{i,l}T_{i,l}^{set} \quad (4)$$

$$O_{i,l}T_{i,l}^{set} \leq O_{i,l}(T_{i,l} + T_{i,l}^-) \quad (5)$$

Para todo $i = 1$ para $N_{i,l} = 1$ para N_l

Em que:

$T_{i,l}^{set}$: Temperatura definida da construção [°C];

$T_{i,l}$: Temperatura interna [°C];

$O_{i,l}$: Ocupação ativa; e

$T_{i,l}^-/T_{i,l}^+$: Déficit de temperatura / Excesso de temperatura [°C].

A Equação 6 define a inicialização da formulação que, para não distorcer os resultados apresentados, ajusta o intervalo de tempo inicial como sendo igual ao último intervalo de tempo em cada dia.

$$T_{1,l} = T_{N_i+1,l} \quad (6)$$

Para todo $l = 1$ a N_l .

Em que:

$T_{i,l}$: Temperatura interna [°C]; e

$T_{N_i+1,l}$: Temperatura interna do intervalo anterior [°C].

Após a definição da função objetivo e suas restrições, Good (2019) ajusta a função objetivo a fim de modelar o efeito de dotação do consumidor. Basicamente, é aplicado um fator de ajuste (θ) à penalidade de déficit de temperatura (ς_i^-). Considerando que o consumidor possa sentir o conforto térmico e que o mesmo valoriza, ele poderá ser penalizado através de ς_i^- a fim de reduzir seu consumo de energia. A Equação 7 apresenta a função objetivo ajustada considerando o efeito de dotação.

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left(\lambda_{i,l}^{imp} (E_{i,l}^{load} + P_{i,l}^{EHP} t) + \varsigma_i^+ + \sum_{l=1}^{N_l} (\varsigma_i^+ T_{i,l}^+ + \theta \varsigma_i^- T_{i,l}^-) \right) \right\} \quad (7)$$

Em que:

$\lambda_{i,l}^{imp}$: Preço de importação de eletricidade no mercado [€/kWh_e];

$E_{i,l}^{load}$: Carga de eletricidade [kWh_e];

$P_{i,l}^{EHP}$: Energia elétrica da bomba de calor elétrica-EHP [kW_e];

$\varsigma_i^- / \varsigma_i^+$: Penalidade por déficit / excesso de temperatura [£/°C h];

$T_{i,l}^- / T_{i,l}^+$: Déficit de temperatura / Excesso de temperatura [°C];

l : Índice de localização, 1 para N_l ;

i : Índice de período de liquidação, 1 para N_i ; e

θ : Fator “dotação”.

Good (2019) ainda em seu estudo, apresenta uma modelagem considerando o efeito de desconto no tempo. Para modelar esse efeito é considerado na função objetivo um fator de desconto de tempo (φ) sobre os preços. Tal efeito é considerado, visto que a perda de conforto térmico experimentada pelo usuário tem efeito imediato, contudo, o pagamento pela energia consumida é realizado em um momento posterior, conforme Equação 8:

$$\text{Min} \left\{ \sum_{i=1}^{N_i} \left((1 - \varphi) \lambda_{i,l}^{imp} (E_{i,l}^{load} + P_{i,l}^{EHP} t) + \sum_{l=1}^{N_l} (\varsigma_i^+ T_{i,l}^+ + \varsigma_i^- T_{i,l}^-) \right) \right\} \quad (8)$$

Em que:

$\lambda_{i,l}^{imp}$: Preço de importação de eletricidade no mercado [£/kWh_e];

$E_{i,l}^{load}$: Carga de eletricidade [kWh_e];

$P_{i,l}^{EHP}$: Energia elétrica da bomba de calor elétrica-EHP [kW_e];

$\varsigma_i^- / \varsigma_i^+$: Penalidade por déficit / excesso de temperatura [£/°C h];

$T_{i,l}^- / T_{i,l}^+$: Déficit de temperatura / Excesso de temperatura [°C];

l : Índice de localização, 1 para N_l ;

i : Índice de período de liquidação, 1 para N_i ; e

φ : Fator de desconto no tempo.

Good (2019) afirma que as concessionárias de energia devem se interessar pelas ideias e resultados obtidos e projetar estudos para “determinar valores para o efeito de dotação e efeito de desconto de tempo para diferentes grupos de consumidores”.

Os formuladores de políticas devem apoiar tais estudos experimentais, já que a falha em desenvolver uma compreensão adequada dos aspectos comportamentais na resposta da demanda, pode prejudicar o seu desenvolvimento bem-sucedido, resultando em custos mais altos de gerenciamento do sistema e restrições de rede. (GOOD, 2019, p. 114)

Por fim, Good (2019) conclui seu estudo indicando que conforme a DR se torne mais cada vez mais utilizada, a modelagem das preferências dos consumidores é uma área promissora para estudo tanto na modelagem da DR como na modelagem de sistemas de energia.

3.2 Teoria da Perspectiva

Kahneman e Tversky (1979) elaboraram de forma notória a teoria da perspectiva e afirmaram que os indivíduos tem aversão a perda 2,25 vezes maior que a um ganho da mesma proporção, ou seja, o sofrimento por uma perda é maior que a satisfação de um ganho. De acordo com (BARBERIS, 2013) a racionalidade limitada dos decisores e a incerteza das situações para a tomada de decisão são colocadas em destaque na teoria da perspectiva. Cheng, Long e Chen (2020) afirmam que “a teoria da perspectiva pode descrever o comportamento de tomada de decisão mais eficaz de acordo com as características do comportamento e a preferência psicológica dos decisores”. Essa teoria é pautada em cinco princípios: (i) dependência de referência; (ii) sensibilidade em declínio; (iii) aversão a perdas; (iv) ponderação não linear de probabilidades; e (v) suscetibilidade a efeitos de enquadramento (KAHNEMAN; TVERSKY, 1979), (DHAMI; AL-NOWAIHI, 2007), (HÄCKEL; PFOSSER; TRÄNKLER, 2017).

A teoria da perspectiva iniciou novas linhas de pesquisa sobre o comportamento humano. Cheng, Long e Chen, (2020) realizaram um estudo com foco em políticas públicas, que fornece subsídios para estimular estilos de vida de baixo carbono. Häckel, Pfosser e Tränkler (2017) utilizaram-na para explicar as lacunas na eficiência energética.

Kyle, Ou-Yang e Xiong (2006) desenvolveram um modelo com a finalidade de explorar o efeito da teoria da perspectiva nas decisões de liquidação dos agentes econômicos.

Apesar da teoria da perspectiva ser utilizada para explicar determinados estudos baseados em experimentos sobre a liquidação dos agentes econômicos, as bibliografias não fornecem um modelo explícito para analisar as decisões de liquidação sob a teoria da perspectiva. Para tal, foi classificado quatro cenários que utilizam o índice Sharpe como referência.

$$IS = \frac{R_i - R_f}{\sigma_i} \quad (9)$$

Em que:

IS : índice Sharpe;

R_i : Retorno do ativo analisado, pode ser fundo de investimento ou carteira;

R_f : Retorno livre de risco; e

σ_i : Risco do ativo.

O índice Sharpe é um indicador de desempenho baseado no histórico do investimento. O modelo foi desenvolvido levando em consideração os cenários apresentados e correlacionando com a função de utilidade exponencial e a teoria da perspectiva. Por fim, concluíram que as preferências da teoria da perspectiva induzem o agente a atrasar ou acelerar a liquidação de um projeto se o mesmo estiver com perdas ou ganhos, respectivamente

Com base em um modelo de aversão a perdas de precificação de ativos, Wenlag e Semmler (2009) investigaram, utilizando dados de séries temporais, indícios empíricos sobre a teoria da perspectiva com o mercado de ações. Os modelos existentes demonstraram possuir dificuldades para combinar dados de séries temporais com as características do mercado financeiro, como por exemplo, taxa de juros livre de risco e índice de Sharpe. Foi apresentado um esboço do modelo de aversão à perdas de precificação de ativos estruturado por Barberis *et al.* (2001) e com ele exploraram a diferença entre as condições de primeira ordem do modelo tradicional, que considera apenas o consumo na função de utilidade e o modelo de aversão à perda que também considera os efeitos das mudanças na riqueza sobre o bem-estar.

Concluíram, por fim, que o resultado anterior no mercado de ações, ganhos ou perdas, podem ter efeitos assimétricos sobre o comportamento do investidor dado a possibilidade do efeito de equilíbrio que induz a busca pelo risco a fim de obterem um ganho mesmo tendo perdas anteriores.

Brunner et al. (2019) propuseram e aplicaram um modelo teórico de jogo dinâmico que avalia o risco, oriundo de maneira externa, que surge da iteração entre pessoas e usa a teoria da perspectiva para descrever o comportamento em uma tomada de decisão sob risco. A tomada de decisão sob risco não é descrita adequadamente pela teoria da utilidade esperada visto que a prescrição da soberania do consumidor, incluindo a racionalidade e a transitividade entre bens e serviço não é imperativo para todos os bens e serviços. A teoria da perspectiva é uma opção popular, entretanto, ela praticamente não é aplicada em situações estratégicas nos quais os riscos surgem por meio de interações individuais. Brunner et al. (2019) utilizaram um conjunto de dados de campos provenientes de inúmeros leilões online e aplicaram no modelo proposto com as preferências da teoria da perspectiva. Os resultados indicaram que a teoria da perspectiva além de ser uma teoria eficaz para descrever o comportamento das pessoas, ela descreve adequadamente situações em que o risco, em uma tomada de decisão, surge mediante da relação de diferentes pessoas.

Berger e Pessali (2010) realizaram uma identificação metodológica da teoria da perspectiva a partir do esquema analítico lakatoseano¹, esquema conhecido como programa de pesquisa e que foi desenvolvido por Lakatos que defendia a ideia de não pensar em teorias únicas, mas sim em um pluralismo teórico. O objetivo foi identificar melhor o envolvimento da teoria da perspectiva num momento de aparente mudança na ciência econômica e cujo resultado final não se faz previsível. O estudo começou por fazer uma breve apresentação da teoria da perspectiva seguido pelas práticas experimentais da mesma. Em seguida, foi realizada uma caracterização dos modelos racionais de tomada de decisão e da teoria da perspectiva utilizando o esquema proposto. Ademais, concluíram que ainda é difícil avistar qual será a tendência econômica em um futuro próximo e que o papel da teoria da perspectiva irá

¹ Conhecido também como Programa de pesquisa, termo introduzido por Irme Lakatos.

depender de como os mais novos irão avaliar o que for exposto pelos acadêmicos da atual geração referente as conquistas e potencialidades da mesma.

Pasquariello (2014) apresenta uma análise teórica que investiga os efeitos da teoria da perspectiva e suas principais características, aversão à perda e busca por risco na qualidade do mercado financeiro. Versões modificadas e argumentos da teoria da perspectiva foram propostos para explicar processos referente a precificação de ativos, volatilidade de ações, previsibilidade de retorno e estratégias de negociação. Contudo ainda existe uma lacuna nesse tema dado que a literatura não abordou tais questões quando os investidores tomam suas decisões de acordo com a teoria da perspectiva. Dessa forma, foi apresentado um modelo de equilíbrio de expectativas racionais na presença de especuladores informados com preferências inspiradas na teoria da perspectiva. Para simplificar tal modelo, foram feitas suposições de que os especuladores são competitivos e se submetem a ordens de limite em vez de ordens de mercado. Ademais, concluíram que o estudo produz previsões importantes para o mercado de equilíbrio, volatilidade e informatividade de preços, produção de informações e volume de negociações. Instintivamente foi possível detectar que a busca de risco em perdas induz os especuladores a negociar mais. Já com aversão a perdas eles são induzidos a negociar menos.

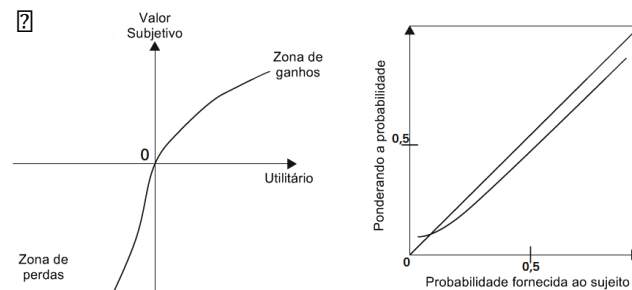
Azevedo e Gottlieb (2012) apresentam um problema de uma empresa neutra ao risco que oferece uma aposta aos consumidores com preferências dadas pela teoria da perspectiva. Apesar da teoria da perspectiva ser uma opção que explica com sucesso regularidades empíricas, ela é raramente utilizada em ambientes estratégicos e de mercado. Utilizando como referência a função de valor sugerida por Kahneman e Tversky (1992), Azevedo e Gottlieb (2012) realizaram suposições e proposições por meio de funções de ponderação de probabilidade para realizar tal estudo. Por fim, concluíram que os resultados sugerem que o comportamento de busca de risco possivelmente não se manterá em todo o domínio das perdas. Azevedo e Gottlieb (2012) mencionam que seja “improvável que os indivíduos estivessem dispostos a pagar quantias arbitrariamente grandes por loterias com valores esperados finitos e com probabilidades de ganhar arbitrariamente pequenas”.

Os autores Kahneman e Tversky (1992) propuseram em seu estudo “que os indivíduos avaliem situações em termos relativos em relação a um ponto de

referência que pode ser subjetivo”. O ponto de referência depende da posição do indivíduo na classe socioeconômica e na sua perspectiva de crescimento econômico.

O histórico social e a situação econômica eminentemente pregressa do consumidor são um aspecto importante no contexto e tem influência direta na tomada de decisão e na exposição ao risco. Outro fato relevante, Figura 6, no processo de decisão é o efeito do foco atencional que indica “detalhadamente as consequências que um risco geralmente aumenta a probabilidade subjetiva associada a esse risco, sendo o contrário verdadeiro por igual” (SAWA, 2021).

Figura 6: Função de valor subjetivo e de ponderação das probabilidades da teoria da perspectiva



Fonte: SAWA (2021).

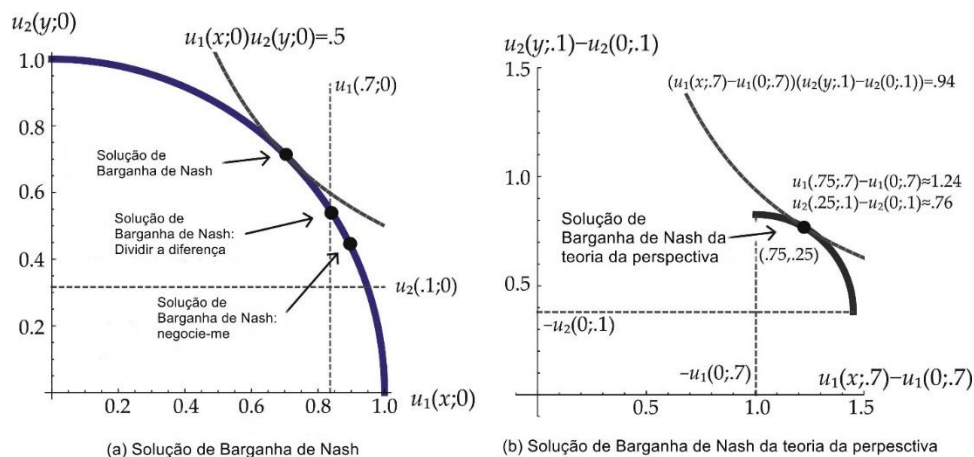
A Figura 6 mostra que os indivíduos são mais avessos ao risco, sendo que o efeito de uma perda é maior que de um ganho de mesma proporção. O gráfico da função de ponderação da probabilidade apresenta que os indivíduos são propensos a pagarem mais por algo que, hipoteticamente, irá reduzir a zero um risco, do que pagar por algo que reduza o risco na mesma proporção (SAWA, 2021)

Sawa (2021) apresentou um estudo do jogo da barganha de Nash combinando a análise de estabilidade estocástica com a teoria da perspectiva (Figura 7). Sabe-se que as situações de negociação podem apresentar uma determinada incerteza em seu resultado devido a percepção dos negociadores, que podem vir a desempenhar um papel importante sobre a situação. Em um processo de negociação, com o objetivo de reduzir a dificuldade, pode-se utilizar estratégias para tornar a escolha mais fácil e rápida, entretanto, tais estratégias podem por influenciar as decisões do negociador.

Kahneman e Tversky (1979) citam que avaliações dependentes de referência levam a vieses de decisão em situações de risco, como por exemplo, o viés

de aversão à perda. Nesse contexto, o prossumidor, dado um ponto de referência em T_0 , pode por negociar em T_1 e abrir mão de incentivos ou de serviços energéticos que podem acarretar em perdas financeiras, como por exemplo, a decisão de não entrada em um programa de DR.

Figura 7: Comparação das quatro soluções de negociação



Fonte: Adaptado de SAWA (2021).

A Figura 7(a) apresenta um exercício econômico hipotético entre os bens ou serviços u_1 e u_2 , em que o resultado considerado ótimo (Solução de barganha de Nash) pode não ser prescrito como o habitual, em que a taxa de marginal de substituição sobre a utilidade econômica não é igual a taxa de preço entre os bens e serviços comparados. Neste caso, o agente econômico percorre a função de utilidade pela taxa marginal substituição escolhendo posições de indiferença distintas daquela considerada ótima. Por sua vez, a Figura 7(b) apresenta a possível solução do mesmo exercício sobre a teoria da perspectiva (SAWA, 2021).

Dhami e Al-Nowaihi (2007) apresentaram um estudo sobre a evasão fiscal sob a teoria da utilidade esperada e sob a teoria da perspectiva. Para isso, realizaram quatro proposições a fim de validar evidências empíricas e intuições sob o olhar da teoria da utilidade esperada e sob a teoria da perspectiva referente a evasão fiscal.

Para o modelo e as Equações que serão apresentadas a seguir, destaca-se o que cada variável representa.

W : Renda tributável do contribuinte;

X_i : Ganho ou perda;

R : Receita pós impostos;

i : C ou NC indicaram os estados;

v : Função de valor ou de utilidade econômica;

β : parâmetro de referência;

θ : Coeficiente de aversão à perda;

t : taxa marginal;

$p(D)$: Probabilidade;

λ : taxa de punição sobre os impostos sonegados;

s : taxa de estigma;

ω^+ : Função de ponderação de probabilidade para domínios de ganho;

ω^- : Função de ponderação de probabilidade para domínios de ganho;

Y_C : Rendimento do contribuinte quando for pego;

Y_{NC} : Rendimento do contribuinte quando não for pego; e

$A(Y)$: Coeficiente absoluto da aversão ao risco.

O modelo da evasão fiscal sob a teoria da utilidade esperada indica que um contribuinte tem um renda tributável $W > 0$ e que o mesmo pode optar por declarar uma quantia $D \in [0, W]$. O imposto sobre a renda é cobrado pelo governo a uma taxa marginal t , $0 < t < 1$. Se o contribuinte deixar de declarar, $0 \leq D < W$, ele é pego com probabilidade $p(D) \in [0, 1]$. Foi definido que $p(D)$ é continuamente diferenciável e $p'(D) \leq 0$. Se o contribuinte for punido, ele deve pagar pelas obrigações fiscais $t(W - D)$, uma penalidade $\lambda t(W - D)$ sendo que $\lambda > 0$ é a taxa de penalidade sobre impostos sonegados. Ainda se o contribuinte for punido, ele sofre um estigma $s(W - D)$ sendo que s é a taxa de estigmas sob a receita evitada.

As Equações (10) e (11) apresentam o rendimento (Y) quando ele for “punido”, (Y_C), e quando “não for punido”, (Y_{nc}).

$$Y_C = (1 - t)W + (s + \lambda t)(W - D) \quad (10)$$

$$Y_{NC} = W - tD \quad (11)$$

A função de utilidade do contribuinte é definida conforme Equação 12. Dhami e Al-Nowaihi (2007) informam que a função é estritamente crescente,

estritamente côncava e duas vezes continuamente diferenciável. Definem também que " $U(D; t, s, \lambda, W)$ é uma função contínua de D no intervalo compacto não vazio $[0, W]$, atinge um ponto máximo em $D^*(t, s, \lambda, W) \in [0, W]$ " (DHAMI; AL-NOWAIHI, 2007).

$$U(D; t, s, \lambda, W) = p(D) u(Y_C) + [1 - p(D)] u(Y_{NC}) \quad (12)$$

Na primeira proposição, Dhami e Al-Nowaihi (2007) concluem que a evasão fiscal sob a teoria da utilidade esperada, em um interior regular ótimo, é estritamente decrescente na taxa de punição (λ) e a taxa de estigma (s). Já em um ótimo no limite ($D^* = 0$ ou $D^* = W$), a evasão fiscal não é crescente na taxa de punição (λ) e a taxa de estigma (s). O resultado obtido indica que a evasão fiscal está diminuindo a taxa de punições (λ) e a taxa de estigma (s), o que está de acordo com intuições e evidências. Entretanto, Dhami e Al-Nowaihi (2007) deixam claro que alguns pontos são necessários serem analisados a fim de verificar o efeito da mudança na alíquota do imposto sobre o imposto sonegado.

A primeira proposição pode ser acompanhada a seguir. Das Equações 10, 11 e 12 obtêm-se:

$$\frac{\partial U}{\partial D} = (s + \lambda t) p u'(Y_C) - t(1 - p) u'(Y_{NC}) - p' [u(Y_{NC}) - u(Y_C)] \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U}{\partial D^2} = & p'' [u(Y_C) - u(Y_{NC})] + 2(s + \lambda t) p' u'(Y_C) + 2 t p' u'(Y_{NC}) + (s + \lambda t)^2 p u''(Y_C) + \\ & t^2 (1 - p) u''(Y_{NC}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial s} = p u'(Y_C) - (s + \lambda t)(W - D) p u''(Y_C) - (W - D) p' u'(Y_C) > 0 \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial \lambda} = t p u'(Y_C) - t(s + \lambda t) p u''(Y_C)(W - D) - t(W - D) p' u'(Y_C) > 0 \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} = & \{ \lambda t + [W + \lambda(W - D)] [(s + \lambda t) p A(Y_C) - p'] \} u'(Y_C) - \{ (1 - p) [1 + \\ & t D A(Y_{NC})] - D p' \} u'(Y_{NC}) \end{aligned} \quad (17)$$

$A(Y) = -u(Y)/u(Y)$ é o coeficiente absoluto de aversão ao risco. Como exceção do primeiro termo, todos os demais, na Equação 14, são negativos. Se $p''(D) \geq 0$, então o primeiro termo será não positivo. Assim sendo, $p''(D) \geq 0$ é suficiente, mas não

necessário, para que $\frac{\partial^2 U}{\partial D^2}$ seja negativo. $D^*(t, s, \lambda, W)$ maximiza a função de utilidade do contribuinte dados os valores de parâmetros t, s, λ, W .

(a) Considerando um máximo interior (i.e., $0 < D^* < W$). Portanto, em $D = D^*$, $\frac{\partial U}{\partial D} = 0$ e $\frac{\partial^2 U}{\partial D^2} \leq 0$.

Se $\frac{\partial^2 U}{\partial D^2} = 0$, então D^* é um ponto crítico de $\frac{\partial U}{\partial D}$. Se $\frac{\partial^2 U}{\partial D^2} \neq 0$, então D^* é um ponto regular de $\frac{\partial U}{\partial D}$. Suponha que D^* é um ponto regular, então $\frac{\partial^2 U}{\partial D^2} < 0$ em $D = D^*$. Portanto, a partir do teorema da função implícita, $D^*(t, s, \lambda, W)$ é única, continuamente diferenciável com

$$\frac{\partial D^*}{\partial s} = -\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial s} / \frac{\partial^2 U}{\partial D^2}; \quad \frac{\partial D^*}{\partial \lambda} = -\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial \lambda} / \frac{\partial^2 U}{\partial D^2}; \quad \frac{\partial D^*}{\partial t} = -\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} / \frac{\partial^2 U}{\partial D^2},$$

pelo menos localmente. Segue que os sinais de $\frac{\partial D^*}{\partial s}$, $\frac{\partial D^*}{\partial \lambda}$ e $\frac{\partial D^*}{\partial t}$ são aqueles de $\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial s}$, $\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial \lambda}$ e $\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t}$, respectivamente. Segue então que das Equações 16 e 17 que, $\frac{\partial D^*}{\partial s} > 0$ e $\frac{\partial D^*}{\partial \lambda} > 0$.

(b) Suponha que o máximo esteja na fronteira. Se D^* está no limite inferior (i.e., $D^* = 0$), então, claramente, D^* não é decrescente. Supondo D^* no limite superior (i.e., $D^* = W$). Então, em $D = D^*$, $\frac{\partial U}{\partial D} \geq 0$, mas das Equações 15 e 16 vemos que $\frac{\partial U}{\partial D}$ é uma função estritamente crescente de cada s e λ . Assim, um aumento em s ou λ fará $\frac{\partial U}{\partial D}$ estritamente positivo. Com isso, uma redução em D reduziria o bem-estar. Logo, D^* não pode diminuir como resultado de um aumento em s ou λ .

(c) O primeiro termo da Equação 17 é positivo, mas o segundo é negativo. Assim, $\frac{\partial D^*}{\partial t}$ é ambíguo.

Dhami e Al-Nowaihi (2007) apresentam uma segunda proposição em que os resultados obtidos sugerem que a evasão diminui com o aumento da alíquota do imposto. Entretanto, as evidências empíricas e experimentais evidenciam o efeito contrário, a evasão tende a aumentar conforme os impostos aumentam.

Definindo $p''(D) = p'(D) = 0$ e $s = 0$ nas Equações 14, 14 e 17, obtêm-se

$$\frac{\partial U}{\partial D} = \lambda t p u'(Y_C) - t(1 - p) u'(Y_{NC}) \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D^2} = \lambda^2 t^2 p u''(Y_C) + t^2(1-p) u''(Y_{NC}) < 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} = \lambda p \{1 + t[W + \lambda(W - D)] A(Y_C)\} u'(Y_C) - (1-p)[1 + tDA(Y_{NC})] u'(Y_{NC}) \quad (20)$$

(a) Considerando um máximo interior (i.e., $0 < D^* < W$). Portanto, em $D = D^*$, $\frac{\partial U}{\partial D} = 0$.

Definindo $\frac{\partial U}{\partial D} = 0$ na Equação 18, obtêm-se

$$1 - p = \frac{\lambda p u'(Y_C)}{u'(Y_{NC})} \quad (21)$$

Substituindo a Equação 19 na Equação 21, obtêm-se

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} = \lambda t p u'(Y_C) \{(1 + \lambda)(W - D)A(Y_C) + D[A(Y_C) - A(Y_{NC})]\} \quad (22)$$

Assumindo a aversão ao risco absoluto não crescente, resulta $A(Y_C) \geq A(Y_{NC})$. Dá Equação 22 tem-se que $\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} > 0$. Portanto, é a luz da Equação 19, $\frac{\partial D^*}{\partial t} > 0$.

(b) Suponha que o máximo esteja no limite. Se D^* , está no limite inferior (i.e., $D^* = 0$), logo, D^* não é decrescente. Supondo que D^* esteja no limite superior (i.e., $D^* = W$), então, em $D = D^* = W$, $\frac{\partial U}{\partial D} \geq 0$. Assim, da Equação 18 obtêm-se

$$1 - p \leq \frac{\lambda p u'(Y_C)}{u'(Y_{NC})} \quad (23)$$

Das Equações 11 e 23, obtêm-se

$$\frac{\partial^2 U}{\partial D \partial t} \geq \lambda t p W u'(Y_C) [A(Y_C) - A(Y_{NC})] > 0 \quad (24)$$

Assim, na Equação 24, tem-se que $\frac{\partial U}{\partial D}$ é uma função estritamente crescente de t . Portanto, um aumento de t vai fazer $\frac{\partial U}{\partial D}$ estritamente positivo. Com isso, uma redução em D reduziria o bem-estar. Consequentemente, D^* não pode diminuir como resultado de um aumento em t .

Após as duas proposições realizadas e validadas, Dhami e Al-Nowaihi (2007) utilizaram a teoria da perspectiva para validar os pontos que a teoria da utilidade esperada não conseguiu.

Inicialmente, Dhami e Al-Nowaihi (2007) apresentaram a utilidade de ganho ou perda sob a teoria da perspectiva.

$$X_i = Y_i - R \quad (25)$$

A utilidade associada a um ganho ou perda X_i é definida por Tversky e Kahneman (1992).

$$v(X_i) = \begin{cases} X_i^\beta & \text{if } X_i \geq 0 \\ -\theta(-X_i)^\beta & \text{if } X_i < 0 \end{cases} \quad (26)$$

O ponto de referência sob a teoria da perspectiva é uma lacuna experimental. Apesar da teoria da perspectiva não explicar como determinar o ponto de referência ele é essencial em aplicação que envolvem tal teoria (DHAMI; AL-NOWAIHI, 2007). Para o modelo apresentado, utilizaram a receita pós impostos como ponto de referência, Equação 27.

$$R = (1 - t)W \quad (27)$$

Assim, o intuito é que o contribuinte esteja no domínio das perdas se fugir e for punido e no domínio dos ganhos se não for punido. A Equação 27 é validada conforme proposição a seguir.

Das Equações 10, 11 e 12 obtém-se:

$$X_{NC} = W - tD - R, \quad 0 \leq D \leq W \quad (28)$$

$$X_C = (1 - t)W - (s + \lambda t)(W - D), \quad 0 \leq D \leq W \quad (29)$$

Para que o contribuinte esteja sempre no domínio de ganhos se não for punido, deve-se ter:

$$X_{NC} \geq 0 \text{ para todo } D \in [0, W]. \quad (30)$$

Da mesma forma, para que o contribuinte esteja no domínio das perdas se for punido, deve-se ter:

$$X_C \leq 0 \text{ para todo } D \in [0, W]. \quad (31)$$

Comparando as Equações 28 e 30 e considerando $D = W$, obtém-se:

$$R \leq (1 - t)W \quad (32)$$

Da mesma, comparando-se as Equações 29 e 31, considerando $D = W$, obtém-se:

$$R \geq (1 - t)W \quad (33)$$

Assim, verifica-se que o ponto de referência é validado ao se comparar as Equações 32 e 33, onde obtém-se $R = (1 - t)W$ como único ponto de referência.

Para a proposição 4, Dhami e Al-Nowaihi (2007) avaliam a decisão de evasão fiscal sob a teoria da perspectiva. Nas Equações 10, 11, 25 e dado que $0 \leq D \leq W$, se obtém a Equação 34 e 35.

$$X_{NC} = t(W - D) \geq 0 \quad (34)$$

$$X_C = (s + \lambda t)(W - D) \leq 0 \quad (35)$$

Dessa forma, se o contribuinte for punido, ele estará no domínio de perdas e no domínio de ganhos se não for pego.

Deste modo, analogamente para um prossumidor, tem-se ao deixar que v seja a função de valor do prossumidor e ω^+ , ω^- a função de ponderação de probabilidade para os domínios de ganhos e perdas, obtém-se a Equação 36.

$$V(D; t; s; \lambda, \theta, W) = \omega^- [p(D)] v(X_C) + \omega^+ [1 - p(D)] v(X_{NC}) \quad (36)$$

Ao compararmos a Equação 12 com a Equação 36, nota-se algumas diferenças.

Dhami e Al-Nowaihi (2007) concluem que na teoria da perspectiva são utilizados ganhos e perdas em relação a um ponto de referência e não níveis. Enquanto na teoria da perspectiva se utiliza pesos de decisão para agregar resultados, a teoria da utilidade esperada utiliza probabilidades objetivas.

Das Equações 26, 28, 29 e 30 obtém-se:

$$V(D; t, s, \lambda, \theta, W) = [t(W - D)]^\beta \omega^+ [1 - p(D)] - \theta [(s + \lambda t)(W - D)]^\beta \omega^- [p(D)]. \quad (37)$$

Sendo,

$$h(D; t, s, \lambda, \theta) = t^\beta \omega^+ [1 - p(D)] - \theta [(s + \lambda t)^\beta \omega^- [p(D)]]. \quad (38)$$

é possível reescrever a Equação 37, conforme:

$$V(D; t, s, \lambda, \theta, W) = (W - D)^\beta h(D; t, s, \lambda, \theta) \quad (39)$$

$V(D; t, s, \lambda, \theta, W)$ é uma função continua no intervalo não-vazio $[0, W]$, atingindo um ponto máximo em $D^*(t, s, \lambda, \theta, W) \in [0, W]$

A proposição 4, apresentada por Dhami e Al-Nowaihi (2007), chega a duas conclusões referente a evasão fiscal sob a teoria da perspectiva. Em um interior regular ótimo, à evasão fiscal é estritamente decrescente na taxa de punição (λ), a taxa de estigma (s) e ao coeficiente de aversão à perdas (θ). Contudo, a evasão fiscal é estritamente crescente na taxa de imposto (t). Já para um ótimo no limite ($D^* = 0$ ou $D^* = W$), a evasão fiscal não aumenta a taxa de punição (λ), a taxa de estigma (s) e ao coeficiente de aversão à perdas (θ). No entanto, a evasão fiscal não é decrescente na taxa de imposto (t).

Da Equação 37 obtêm-se:

$$\frac{\partial V}{\partial D} = (W - D)^{\beta-1} \{ \theta (s + \lambda t)^{\beta} [\beta w^- - (W - D)(w^-)' p'] - t^{\beta} [\beta w^+ + (W - D)(w^+)' p'] \} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 V}{\partial D^2} = & 2\beta(W - D)^{\beta-1} [t^{\beta}(w^+)' + \theta(s + \lambda t)^{\beta}(w^-)'] p' \\ & + \beta(1 - \beta)(W - D)^{\beta-2} [\theta(s + \lambda t)^{\beta} w^- - t^{\beta} w^+] \\ & + (W - D)^{\beta} [t^{\beta}(w^+)' - \theta(s + \lambda t)^{\beta}(w^-)'] (p')^2 \\ & - (W - D)^{\beta} [t^{\beta}(w^+)' - \theta(s + \lambda t)^{\beta}(w^-)'] p'' \end{aligned} \quad (41)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \theta} = \beta(s + \lambda t)^{\beta} (W - D)^{\beta-1} w^- - (s + \lambda t)^{\beta} (W - D)^{\beta} (w^-)' p' > 0 \quad (42)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial s} = \beta^2 \theta (s + \lambda t)^{\beta-1} (W - D)^{\beta-1} w^- - \beta \theta (s + \lambda t)^{\beta-1} (W - D)^{\beta} (w^-)' p' > 0 \quad (43)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \lambda} = \beta^2 \theta t (s + \lambda t)^{\beta-1} (W - D)^{\beta-1} w^- - \beta \theta t (s + \lambda t)^{\beta-1} (W - D)^{\beta} (w^-)' p' > 0 \quad (44)$$

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t} = \beta(W - D)^{\beta-1} \{ \lambda \theta (s + \lambda t)^{\beta-1} [\beta w^- - (W - D)(w^-)' p'] - t^{\beta-1} [\beta w^+ + (W - D)(w^+)' p'] \} \quad (45)$$

Em que w^- é avaliado em $p(D)$ e w^+ é avaliado em $1 - p(D)$. O primeiro termo na Equação 41 é negativo. Os outros três termos são ambíguos. Assim, o sinal de $\frac{\partial^2 V}{\partial D^2}$ também é ambíguo. Deixando que $D^*(t, s, \lambda, \theta, W)$ maximize a Equação 38 dados os valores dos parâmetros t, s, λ, θ, W .

(a) Considerando um máximo interior (i.e., $0 < D^* < W$). Portanto, em $D = D^*$, $\frac{\partial U}{\partial D} = 0$.

Definindo $\frac{\partial V}{\partial D} = 0$ na Equação 40, obtêm-se:

$$t^{\beta-1} [\beta w^+ + (W - D)(w^+)' p'] = t^{-1} \theta (s + \lambda t)^{\beta} [\beta w^- - (W - D)(w^-)' p'] \quad (46)$$

Das Equações 45 e 46, obtêm-se:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t} = \frac{\beta \theta s(s + \lambda t)^{\beta-1}}{t(W-D)^{1-\beta}} [\beta w^- - (W-D)(w^-)' p'] < 0 \quad (47)$$

Com $\beta > 0$, $w^- > 0$, $W \geq D$, $p' \leq 0$, $(w^-)' > 0$, segue que $\beta w^- - (W-D)(w^-)' p' > 0$. Portanto, da Equação 47, fica claro que $\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t}(D; t, s, \lambda, \theta, W) < 0$.

Se $\frac{\partial^2 V}{\partial D^2} = 0$, então D^* é um ponto crítico de $\frac{\partial V}{\partial D}$. Se $\frac{\partial^2 V}{\partial D^2} \neq 0$, então D^* é um ponto regular de $\frac{\partial V}{\partial D}$. Suponha que D^* é um ponto regular, então $\frac{\partial^2 V}{\partial D^2} < 0$ em $D = D^*$.

Portanto, a partir do teorema da função implícita, $D^*(t, s, \lambda, \theta, W)$ é única, continuamente diferenciável com

$$\frac{\partial D^*}{\partial \theta} = -\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \theta} / \frac{\partial^2 V}{\partial D^2}; \frac{\partial D^*}{\partial s} = -\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial s} / \frac{\partial^2 V}{\partial D^2}; \frac{\partial D^*}{\partial \lambda} = -\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \lambda} / \frac{\partial^2 V}{\partial D^2}; \frac{\partial D^*}{\partial t} = -\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t} / \frac{\partial^2 V}{\partial D^2},$$

pelo menos localmente. Segue que os sinais de $\frac{\partial D^*}{\partial \theta}$, $\frac{\partial D^*}{\partial s}$, $\frac{\partial D^*}{\partial \lambda}$ e $\frac{\partial D^*}{\partial t}$ são aqueles de $\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \theta}$, $\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial s}$, $\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial \lambda}$ e $\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t}$, respectivamente. Segue então que das Equações 42, 43, 44 e 46 que $\frac{\partial D^*}{\partial \theta} > 0$, $\frac{\partial D^*}{\partial s} > 0$, $\frac{\partial D^*}{\partial \lambda} > 0$ e $\frac{\partial D^*}{\partial t} < 0$.

(b) Suponha que o máximo esteja no limite. Se D^* , está no limite superior (i.e., $D^* = W$), logo, D^* é uma função não-crescente de t . Suponha D^* no limite inferior (i.e., $D^* = 0$). Então, em $D = D^* = 0$, $\frac{\partial V}{\partial D} \leq 0$. Com isso, da Equação 40, obtêm-se:

$$t^{\beta-1} [\beta w^+ + W(w^+)' p'] \geq t^{-1} \theta (s + \lambda t)^{\beta} [\beta w^- - W(w^-)' p'] \quad (48)$$

Da Equação 44 e 48 obtêm-se:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial D \partial t} \leq -\frac{\beta \theta s(s + \lambda t)^{\beta-1}}{t W^{1-\beta}} [\beta w^- - W(w^-)' p'] < 0 \quad (49)$$

Da Equação 49, nota-se que a $\frac{\partial V}{\partial D}$ é uma função estritamente decrescente de t . Portanto, um crescimento em t faz $\frac{\partial V}{\partial D}$ estritamente negativo. Assim, um aumento em D reduziria o bem-estar. Logo, D^* não pode aumentar como resultado de um aumento em t . Um argumento semelhante mostra que D^* é função não decrescente de cada um de s, λ e θ .

Por fim, ao comparar as proposições apresentadas por Dhimi e Al-Nowaihi (2007), verifica-se que a teoria da perspectiva apresentou resultados condizentes com as evidências empíricas e intuições, resultados esses as vezes controversos ao ser analisado via teoria da utilidade esperada.

Este estudo pode corroborar com o equacionamento para a interpretação da teoria da perspectiva para um prosumidor. Adaptando o modelo, tem-se um prosumidor com uma demanda, $Z > 0$. O mesmo pode por decidir por declarar uma meta de demanda reduzida, $Q \in [0, Z]$. Sobre o valor declarado, a concessionária pode aplicar uma taxa constante c , $0 < c < 1$. Se o prosumidor não atingir a meta de demanda reduzida, $0 \leq Q < Z$, ele é associado a uma probabilidade $b(Q) \in (0, 1)$. Foi assumido que $b(Q)$ é continuamente diferenciável, $b'(Q) \leq 0$, acarretando em que caso o prosumidor se afaste mais da meta de demanda reduzida, maior será a probabilidade. Caso o prosumidor além de não atingir a meta demanda reduzida, ele supere a demanda, Z , ele deve arcar com a consequência $c(Z - Q)$, uma penalidade $\lambda c(Z - Q)$ em que $\lambda > 0$ é a taxa de penalidade sobre a demanda e também sobre uma estigma $g(Z - D)$, em que g é taxa de estigma da demanda excedida.

As Equações (50) e (51) podem representar a demanda do prosumidor (T) quando ele “atingir” a meta de demanda reduzida, (T_c), e quando “não atingir”, (T_{nc}), respectivamente.

Assim, o intuito é que o prosumidor esteja no domínio das perdas se não atingir a meta de redução da demanda e no domínio dos ganhos se atingir.

$$T_c = Z - cQ - H \quad (50)$$

$$T_{nc} = (1 - c)Z - (g + \lambda c)(Z - Q) \quad (51)$$

Sendo que para ambas:

$$0 \leq Q \leq Z$$

Nesse sentido, analisando um cenário hipotético de DR, um prosumidor poderá se enquadrar no domínio de perdas caso ele tenha que pagar para entrar em um programa de DR ou se enquadrará no domínio dos ganhos caso ele seja beneficiado mesmo não participando do programa de DR. Se o ponto de referência para o prosumidor for uma taxa de juros e dado um determinado cenário de análise

com um futuro incerto, ele poderá decidir em atender seu conforto e bem-estar de imediato, o que poderá resultar em um domínio de perdas.

A tomada de decisão e a análise de risco por parte do prosumidor é uma multidimensional, em que as heurísticas do processo de decisão devem fazer parte da modelagem dos programas de DR. Uma das formas de avaliação e análise multidimensional possível é por meio de metodologias multicriteriais. Essas metodologias possibilitam avaliar todos os critérios que afetam um prosumidor de energia submetido a um programa de DR. Os critérios podem ser modelados em subconjuntos de acordo com cada dimensão que envolveria a decisão do prosumidor: política, social, financeira, econômica e ambiental. Em que, cada dimensão pode ser entendida por meio de pontos de vista fundamentais e os critérios descritos e associado a funções de valor econômico, as quais podem ser operacionalizadas e mensuradas em escalas numéricas (SICA et al., 2011), (SICA, et al., 2012). Uma metodologia multicriterial que se baseia na teoria da perspectiva apresentada por Kahneman e Tversky (1979) é o método de Tomada de Decisão Interativa Multicritério (TODIM) que possui a vantagem de modelar os padrões de preferências dos decisores em presença de risco.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram apresentadas teorias econômicas que auxiliam o entendimento das escolhas e da decisão de um prosumidor e como o comportamento econômico humano pode ser modelado em um programa de DR através de incentivos.

Através da teoria econômica comportamental e da teoria da perspectiva é possível compreender e analisar que o ser humano é dotado de subjetividades e nem sempre suas decisões tem a racionalidade esperada. A gamificação tem grande potencial de fazer com que os indivíduos se engajem em mudar seu comportamento e ações em relação ao consumo e fornecimento de energia. O uso de aplicativos permite incentivar os usuários a se engajarem em um determinado objetivo que pode ser comum a todos. Diversas alternativas são possíveis de serem criadas a fim de engajar o prosumidor em adotar uma atitude que gere resultados positivos.

Apesar de alguns casos reais apresentarem resultados positivos, não se pode garantir que o programa de DR apresentará resultados progressivos no longo prazo. Para melhorar a efetividade dos programas de DR no longo prazo, a elaboração e a modelagem devem abarcar múltiplos critérios e múltiplas dimensões a fim de prospectar o comportamento do prosumidor, não apenas em termos econômicos ou financeiros, mas, também, o referencial socioeconômico imediatamente anterior ao estabelecimento do programa de DR de forma dinâmica. Com isso, é possível que a perspectiva do prosumidor possa ser, na medida que a ciência permite, modelado. É necessário que os estudos existentes sejam aplicados no cotidiano a fim de que os resultados possam garantir a eficácia ou não dos modelos existentes.

O consumo consciente e eficiente de energia é de grande importância para o progresso e desenvolvimento tecnológico e socioeconômico. E para que isso ocorra, é necessário que os programas de DR sejam assertivos em seus objetivos ao levar o comportamento do prosumidor em consideração.

5 REFERÊNCIAS

AGHAEI, J.; ALIZADEH, M. I. Demand response in smart electricity grids equipped with renewable energy sources: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 64–72, 2013.

ÁVILA, F.; ÁVILA, M. Economia Comportamental: Economia Comportamental, c2014. Como e quando surgiu?
Disponível em: <http://www.economiacomportamental.org/como-e-quando-surgiu/>.
Acesso em: 17 set. 2019.

AZEVEDO, E.; GOTTLIEB, D. **Risk-neutral firms can extract unbounded profits from consumers with prospect theory preferences**. **Journal of Economic Theory**. v. 147, ed 3, pp. 1291-1299, 2012.

BARBERIS, N. C. Thirty years of prospect theory in economics: A review and assessment, **Journal of Economic Perspectives**., vol. 27, no. 1, pp. 173–196, 2013.

BARBERIS, N.; HUANG, M.; SANTOS, T. Prospect theory and asset prices. **Quarterly Journal of Economics**, CXVI, pp. 1-53, 2001.

BORESTEIN, S.; JASKE, M.; ROSENFELD, A. **Dynamic pricing, advanced metering, and demand response in electricity markets**. 2002. 101 f. Center for the Study of Energy Markets. University of California Energy Institute, Berkeley, 2002.

BRANDON, A. *et al.* Testing for crowd out in social nudges : Evidence from a natural field experiment in the market for electricity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 1, p. 5293–5298, 2018.

BERGER, Bruno; PESSALI, Huáscar. **A Teoria da Perspectiva e as mudanças de preferência no Mainstream um prospecto Lakatoseano**: Revista Economia Política. São Paulo, 2010.

BRUNNER, T.; REINER, J.; NATTER, M.; SKIERAB, B. Prospect theory in a dynamic game: theory and evidence from online pay-per-bid auctions. **Journal Economic Behavior & Organization**. V. 164, pp. 215–234, 2019.

CAMARA, N. F.; XU, D.; BINYET, E. Understanding household energy use, decision making and behaviour in Guinea-Conakry by applying behavioural economics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, n. June 2017, p. 1380–1391, 2017.

CELESC. **Celesc lança segunda etapa do bônus eficiente linha eletrodomésticos nesta segunda-feira**.

Disponível em: <http://www.celesc.com.br/porta1/index.php/noticias/2235-celesc-lanca-segunda-etapa-do-bonus-eficiente-linha-eletrdomesticos-nesta-segunda-feira>.
Acesso em: 1 jun. 2019.

CHENG, X.; LONG, R.; CHEN, H. A policy utility dislocation model based on prospect theory: A case study of promoting policies with low-carbon lifestyle, **Energy Policy**, vol. 137, no. November 2019, p. 111134, 2020.

CUNHA, M. V. DA. **Estratégias de gerenciamento pelo lado da demanda aplicadas aos consumidores de BT considerando a tarifa branca e a geração distribuída**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

DANA, Samy. **Nudge quando a economia comportamental virou cultura pop**. G1, Blog do Samy Dana. 20 de nov. de 2018. Economia. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/educacao-financeira/blog/samy-dana/post/2018/11/20/nudge-quando-a-economia-comportamental-virou-cultura-pop.ghtml>. Acesso em: 15 out. 2019.

DHAMI, S.; AL-NOWAIHI, A. "Why do people pay taxes? Prospect theory versus expected utility theory. **Journal Economic Behavior & Organization**. Vol. 64, no. 1, pp. 171–192, 2007.

DELGADO, R. M. Demand-Side Management Alternatives. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 10, p. 1471–1488, 1985.

DUMONEY. **Entenda o que é o nudge: a teoria do empurrão para a escolha certa**, 2018. Economia Comportamental. Disponível em: <https://www.dumoney.com.br/economia-comportamental/entenda-o-que-e-o-nudge-a-teoria-do-empurrao-para-a-escolha-certa/>. Acesso em: 15 out. 2019.

EARLE, R.; KAHN, E. P.; MACAN, E. Measuring the Capacity Impacts of Demand Response. **Electricity Journal**, v. 22, n. 6, p. 47–58, 2009.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica PR 08/18. **Recursos Energéticos Distribuídos 2050**. Recursos Energéticos. Rio de Janeiro: dezembro de 2018.

FARIA, P.; VALE, Z. Demand response in electrical energy supply: An optimal real time pricing approach. **Energy**, v. 36, n. 8, p. 5374–5384, 2011.

FRABASILE, Daniela. Entenda a teoria que deu a Richard Thaler o Nobel de Economia. *Época Negócios*. 12 de out. de 2017. Economia Disponível em: <https://epocanegocios.globo.com/Economia/noticia/2017/10/entenda-teoria-que-deu-richard-thaler-o-nobel-de-economia.html>. Acesso em: 14 de out. 2019.

GARCIA, O. Integração de Técnicas de Gerência de Redes ao Gerenciamento de Cargas em Redes de Distribuição Elétrica. **Revista Eletrônica de Sistemas de Informação**, v. 1, n. 1, 2002.

GELLINGS, C. W. The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities. **Proceedings of the IEEE**, n. 10, p. 1468–1470, 1985.

GOOD, N. Using behavioural economic theory in modelling of demand response. **Applied Energy**, v. 239, n. July 2018, p. 107–116, 2019.

GUIMARÃES JUNIOR, J. A. **Estudo de um Modelo de Resposta da demanda pela Ótica de uma Distribuidora de Energia Elétrica no Brasil**. 2016. 99 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas e Computação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2016.

HÄCKEL, B.; PFOSSER, S.; TRÄNKLER, T. Explaining the energy efficiency gap - Expected Utility Theory versus Cumulative Prospect Theory. **Energy Policy**. Vol. 111, no. September, pp. 414–426, 2017.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk. **Econometrica**. v. 47, n. 2, p. 263–292, 1979.

KYLE, A. S.; OU-YANG, H.; XIONG, W. Prospect theory and liquidation decisions. **Journal of Economic Theory**. Vol. 129, no. 1, pp. 273–288, 2006.

LEITE, J. B. **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia (EMS - energy management system) para a rede elétrica inteligente (Smart Grid)**. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, p. 168, 2015.

LIMAYE, D. R. Implementation of Demand-Side Management Programs. **Proceedings of the IEEE**, v. 73, n. 10, p. 1503–1512, 1985.

MOMSEN, K.; STOERK, T. From intention to action: Can nudges help consumers to choose renewable energy? **Energy Policy**, v. 74, p. 376-382, 2014.

PASQUARIELLO, Paolo. Prospect Theory and market quality. **Journal of Economic Theory**. v 149, pp. 276-310, 2014.

PINDYCK, Robert.S., RUBINFELD, Daniel. L. **Microeconomia**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil (Hábitos de Uso)**. p. 178, 2007.

ROGERS, E. **The Diffusion of Innovations**. The Free Press, New York, USA, 5th edition, 2003.

ROSSETTI, José, P. **Introdução à Economia**. São Paulo: Atlas, 2003.

SAMUELSON, Paul. A.; NORDAUS, William. D. **Economics**. New York: McGrawHill, 2010.

SAWA, R. A prospect theory Nash bargaining solution and its stochastic stability. **Journal Economic Behavior & Organization**. Vol. 184, pp. 692–711, 2021.

SICA, E.T.; BRIGATTO, G.A.A.; CARMARGO, C.C.B; PALMA, A.S.; CARVALHO, R.T.; OKUDA, B.S. **Multiattribute value function for the assessment of distributed generation projects: Application to technical criteria**. IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA). pp. 561-567, 2010.

SICA, E. T.; CAMARGO, C. C. B.; ARANHA NETO, E. A. C.; COELHO, J. **Integrated evaluation of technical, economical, social and environmental aspects of planning of works at transmission and distribution systems: a proposal**. CIGRÉ Canada Conference, 2012.

SILVA, H. B. DA. **Resposta à Demanda via Precificação em Tempo Real para Controle da Demanda de Energia**. 2013. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

SORRELL, S. Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 47, p. 74–82, 2015.

SOUZA, Z. F. **A importância da reação da demanda na formação dos preços de curto prazo em mercados de energia elétrica**. (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, 2010.

SUDARSHAN, A. Nudges in the marketplace: The response of household electricity consumption to information and monetary incentives. **Journal of Economic Behavior & Organization**, v.134, p. 320-335, 2017.

THALER, Richard H.; SUNSTEIN, Cass R. **Nudge: O empurrão para a escolha certa: Aprimore suas decisões sobre saúde, riqueza e felicidade**. Rio de Janeiro: Elsevier 2009.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Advances in prospect theory: Cumulative representation of uncertainty. **Journal of Risk and Uncertainty**. Vol.5, pp. 297–323, 1992.

DOE, United States Department Of Energy. **Benefits of Demand Response in Electricity Markets and Recommendations for Achieving Them**. United States of America, 2006.

VASCONCELLOS, M. A. S. **Economia Micro e Macro**. São Paulo: Atlas, 2002.

ZHANG, Wenlang; SEMMLER, Willi. **Prospect theory for stock markets: empirical evidence with time-series data**. Journal Economic Behavior & Organization. V. 72, pp. 835-849, 2009.