



Prêmio Secap de Energia 2019

Concurso de monografias

1º LUGAR

GUSTAVO PIRES DA PONTE

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMAS ISOLADOS:
DESAFIOS E PROPOSTAS PARA AUMENTO DA PARTICIPAÇÃO DE FONTES
RENOVÁVEIS COM BASE EM UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIOS**

Patrocínio

Realização

Idealização



SECRETARIA DE
AVALIAÇÃO, PLANEJAMENTO,
ENERGIA E LOTERIA

SECRETARIA ESPECIAL DE
FAZENDA

MINISTÉRIO DA
ECONOMIA



Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise multicritérios

Sumário Executivo

Os cerca de 250 Sistemas Isolados do Brasil são historicamente supridos por meio de geradores a diesel, uma solução cara, poluente e dependente de uma complexa logística de fornecimento de combustível, sobretudo na região amazônica, onde encontram-se quase todas as localidades desconectadas do Sistema Interligado Nacional (SIN). Esse elevado custo é subsidiado em sua maior parte pela Conta de Consumo de Combustíveis (CCC), incorporada à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), um fundo custeado pelos agentes do setor elétrico mediante encargo tarifário.

Apesar de diversas publicações indicarem que fontes renováveis já são técnica e economicamente viáveis, sobretudo em economias dependentes de combustíveis caros, a geração a partir do diesel ainda predomina nessas localidades. Esta monografia tem por objetivo propor políticas públicas visando à inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados do Brasil, visando a redução de custos, e consequentemente de subsídios, bem como de impactos socioambientais. As políticas sugeridas, com base na análise da situação técnica e regulatória atual, foram hierarquizadas por meio de uma ferramenta de análise multicritério de apoio à decisão, desenvolvida para esse fim, reduzindo a subjetividade e a incerteza envolvidas no processo decisório.

Inicialmente o trabalho apresenta uma análise histórica do planejamento energético dos sistemas isolados, servindo como pano de fundo à conjuntura atual do fornecimento de energia elétrica nessas localidades, abordando os impactos socioambientais da geração à diesel, as dificuldades logísticas associadas a esse combustível, bem como os custos, tributos e subsídios associados. Também apresenta soluções tecnológicas alternativas, com base experiências em sistemas isolados no Brasil e em outros países.

A partir desse contexto, o capítulo 3 evidencia as barreiras às soluções alternativas e renováveis nos sistemas isolados brasileiros, passando por questões culturais e de disseminação do conhecimento acerca de novas tecnologias; condições regulatórias e contratuais, que foram desenhadas para o tipo predominante de geração; custos de investimento e financeiros associados às fontes renováveis; e modelos de planejamento do suprimento de energia elétrica. Também se discute em maior profundidade como os subsídios, os tributos e o licenciamento ambiental favorecem a geração a partir do óleo diesel. Com base nas barreiras apontadas são propostas seis políticas públicas que poderiam contribuir para um tratamento mais isonômico entre as diferentes fontes e para o desenvolvimento de soluções de suprimento baseadas em fontes renováveis, visando à redução de custos e minimização de impactos socioambientais.

O capítulo 4 apresenta o referencial teórico que fundamentou a proposição de um modelo de avaliação e seleção de políticas públicas. Apresentam-se, de maneira ampla, os diferentes métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza, e mais especificamente, os métodos encontrados na literatura para avaliação e seleção de políticas públicas em diferentes setores. A partir destes, são apresentadas as

dimensões e os critérios propostos para a avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados.

No capítulo 5, é apresentado o modelo desenvolvido para avaliação e seleção de políticas públicas, que foi baseado nos métodos multicritérios de apoio à decisão *Analytical Hierarchy Process (AHP)* e *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)*, aliado à lógica dos conjuntos *fuzzy*.

O capítulo 6 aborda a aplicação do modelo proposto para seleção de políticas públicas nos sistemas isolados brasileiros, demonstrando sua aplicabilidade para o caso em tela. A partir dos critérios definidos, foram coletados com especialistas do setor os dados utilizados no modelo, também discutidos nesse capítulo. Adicionalmente, apresentam-se os principais resultados da análise, destacando-se os pesos atribuídos às dimensões e aos critérios, a matriz de decisão e o resultado da hierarquização das políticas propostas.

O capítulo conclusivo traz uma síntese dos assuntos tratados, apresentando recomendações estratégicas ao desenvolvimento de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros. Também são apresentadas sugestões de trabalhos futuros. Por fim, são listadas as referências bibliográficas adotadas na pesquisa.

Como resultado, concluiu-se que a política pública de maior impacto seria a implantação de projetos-piloto de usinas híbridas, combinando geração a diesel com fotovoltaica, por exemplo, de forma a auxiliar a transposição de barreiras culturais e de conhecimento sobre tecnologias alternativas nos sistemas isolados. Garante-se assim a confiabilidade do suprimento, ao mesmo tempo em que estimula-se a replicação de soluções semelhantes, contribuindo para a redução futura de custos, subsídios e encargos setoriais.

A simplificação do licenciamento ambiental para projetos baseados em fontes renováveis foi apontada como segunda política mais relevante. As poucas iniciativas desse tipo de projeto têm esbarrado em demorados processos de licenciamento, por vezes com exigências desproporcionais, enquanto mais de 200 usinas a diesel continuam operando, apesar dos seus impactos, dificultando a transição energética.

A adoção de um modelo de planejamento determinativo, exigindo nos leilões uma penetração mínima de fontes renováveis, foi a terceira política pública mais bem avaliada. Assim como no primeiro caso, essa medida pode eventualmente levar a um maior custo inicial, porém com potencial benefício financeiro futuro.

Uma vez que os tributos representam cerca de 18% dos custos subsidiados pela CCC, ocorre na prática uma transferência de recursos subsidiados para os entes federativos. Como a arrecadação de ICMS depende do volume de óleo diesel consumido, não há incentivo para mudança por parte dos estados da região Norte, que possuem as maiores alíquotas de ICMS sobre diesel. Assim, a adoção de uma alíquota única para fins de cobertura pela CCC, ficou em quarta colocação dentre as políticas avaliadas. Espera-se com essa medida que os agentes busquem tecnologias menos dependentes de combustíveis fósseis, e conseqüentemente, menos sujeitas à cobrança de tributos durante a operação.

Outra forma de buscar a racionalização dos subsídios seria definir um valor teto para os mesmos, o que resultou na quinta política, na ordem. Pela proposta, os custos que ultrapassarem o limite seriam arcados pelos geradores, levando-os a buscar tecnologias com custos menos voláteis (ou variáveis), como a fotovoltaica.

A última política segundo o resultado do modelo foi a transferência de risco para o gerador. Dado que diesel representa atualmente cerca de 70% do custo total e que o valor pago mensalmente é o de mercado (apurado pela ANP), o gerador não percebe

o risco da volatilidade do preço do combustível, o que é automaticamente transferido aos consumidores e à CCC. Mostra-se que nos últimos anos o preço do diesel subiu mais que a inflação, levando ao aumento de encargos. Pela proposta, a tarifa de geração seria atualizada somente pelo IPCA, levando os geradores a buscarem outras fontes para mitigar os riscos relacionados à variação do preço do diesel.

Cabe destacar que as seis propostas apresentadas não são excludentes e foram avaliadas a partir de critérios pré-definidos, com base no julgamento de especialistas do setor. Espera-se com a implantação das mesmas reduzir os impactos socioambientais na geração de energia elétrica nos sistemas isolados, bem como minimizar os custos desta atividade, aliviando o subsídio custeado pela CCC, que deve superar R\$ 7,5 bilhões em 2020.



**Geração de energia elétrica em Sistemas Isolados: desafios e propostas para
aumento da participação de fontes renováveis com base em uma análise
multicritérios**

Concurso de monografias Prêmio Secap de Energia - 2019

Novembro de 2019

Fotos da capa: usinas termelétricas em Rio Preto da Eva (AM), Boa Vista (RR) e Xumina (RR).
Fonte: arquivo pessoal do autor.

Palavras-chave

Sistemas Isolados; óleo diesel; energias renováveis, métodos multicritério de apoio à decisão; lógica fuzzy; AHP-TOPSIS

Sumário

1.	Introdução	4
2.	Sistemas Isolados: situação, dificuldades, impactos e subsídios	8
2.1.	Impactos socioambientais da geração nos Sistemas Isolados	8
2.2.	Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)	11
2.3.	Logística do óleo diesel na região Norte e custos	12
2.4.	Tributos: como eles beneficiam a geração a diesel	14
2.5.	Soluções alternativas ao óleo diesel	16
3.	Identificação de barreiras às fontes renováveis e propostas para mudança	23
3.1.	Barreiras culturais e de conhecimento	23
3.2.	Questões regulatórias e contratuais	24
3.3.	Modelos de planejamento: orientativo versus determinativo	28
3.4.	Tributos e subsídios	30
3.5.	Licenciamento ambiental	31
3.6.	Resumo das propostas	33
4.	Métodos Multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas .	34
4.1.	Métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza	35
4.2.	Métodos multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas	37
4.3.	Definição das dimensões e critérios	39
5.	Modelo AHP-<i>fuzzy</i>-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas	43
5.1	Visão geral do modelo	45
5.2	Descrição da fase I – AHP	45
5.3	Descrição da fase II – <i>Fuzzy</i> TOPSIS	50
6.	Aplicação do modelo para seleção de políticas públicas nos Sistemas Isolados brasileiros	54
6.1	Coleta dos dados	54
6.2	Formatação, análise e resultados	56
6.3	Discussão dos resultados	64
7.	Conclusões e recomendações	67
8.	Referências	72

1. Introdução

No setor de energia elétrica, denominam-se Sistemas Isolados as localidades que não são conectadas à rede nacional de transmissão (Sistema Interligado Nacional – SIN), por razões técnicas ou econômicas (Brasil, Decreto nº 7.246, 2010), como ausência de escala. Assim, a maioria desses sistemas é suprida eletricamente por geração local, normalmente baseada em geradores a óleo diesel. Os estados que compõem tal sistema são: Acre, Amazonas, Amapá, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e ilha de Fernando de Noronha pertencente ao estado de Pernambuco (CCEE, 2017).

No Brasil, há atualmente cerca de 250 Sistemas Isolados, concentrados na região Norte, que somam apenas 1% do consumo total de energia elétrica do país, mas representam cerca de 40% do território nacional, como se nota na Figura 1, que atendem a cerca de 3 milhões de consumidores (EPE, 2018b).

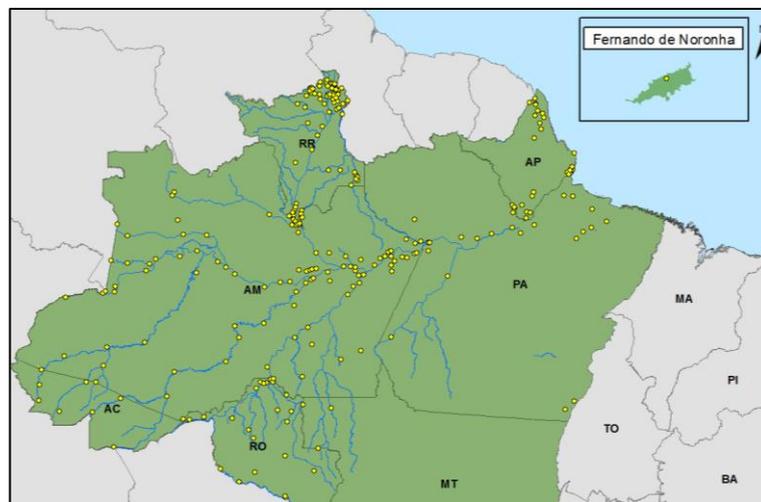


Figura 1 – Sistemas Isolados Brasileiros
Fonte: (EPE, 2018b)

Tais sistemas podem ser desde pequenas comunidades, com algumas dezenas de habitantes, como cidades de porte como Parintins-AM, com mais de 100.000 habitantes (IBGE, 2017).

Embora existam alguns poucos exemplos de geração a partir de fontes alternativas em sistemas isolados, como pequenas centrais hidrelétricas (PCH) ou termelétricas a gás natural, historicamente, os motores a diesel têm se mostrado como uma solução de fácil instalação, manutenção e operação. Apesar dos impactos ambientais e da complexa logística de fornecimento de combustível, geralmente por via fluvial, a geração de energia nesses sistemas tem funcionado razoavelmente bem nas últimas décadas. No entanto, os custos de operação dessas plantas são bastante elevados, sobretudo em função do preço do diesel nas localidades mais afastadas, e dependem de elevados subsídios, custeados por encargos cobrados dos demais agentes do setor elétrico brasileiro.

De acordo com o Operador Nacional do Sistema – ONS (2017), o consumo total de energia elétrica nos Sistemas Isolados previsto para o ano de 2018 é da ordem de 3.000 MWh, sendo 1% provenientes da queima de biomassa, 2% de usinas a gás natural e 97% de geração térmica a diesel, o que corresponde a um consumo de mais de 800 mil m³ desse combustível. Para fins de comparação, em 2017, 82% da energia consumida no Sistema Interligado Nacional - SIN foi gerada a partir de fontes renováveis, sobretudo em usinas hidrelétricas e eólicas (EPE, 2017c).

Enquanto nos leilões dos SIN, compra-se energia elétrica a valores da ordem de R\$ 200/MWh (ANEEL, 2016), nos Sistemas Isolados esse valor chega a atingir R\$ 1.600/MWh (EPE, 2017b). Boa parte desse custo é compartilhada por todos os consumidores de energia elétrica do país, por meio da Conta de Consumo de Combustíveis (Brasil, Decreto nº 7.246, 2010), que em 2020 deve totalizar um gasto superior a R\$ 7,5 bilhões (ANEEL, 2019).

A redução de custos das fontes solar fotovoltaica e eólica, associada ao declínio acentuado recente dos custos de armazenamento em baterias, tornam essas opções atrativas para residências e pequenas comunidades desconectadas da rede elétrica (IRENA, 2015). Apesar disso, as soluções a diesel persistem, mesmo nos recentes leilões para aquisição de potência e energia elétrica em sistemas isolados.

Se, por um lado, diversas publicações (Hafez e Bhattacharya, 2012; EPE, 2014; EPE, 2016b; EPE, 2018c; RIM & CWB, 2015; Frankfurt School, 2015; IRENA, 2015; e IRENA, 2017) apontam a viabilidade de soluções renováveis em sistemas isolados, no Brasil e em outros países, por outro lado, há de se considerar diversas outras variáveis que afetam a escolha das fontes energéticas nessas localidades, tais como questões ambientais, sociais e políticas, o que é pouco abordado nos trabalhos supracitados, que focam em avaliações técnicas-econômicas de determinadas fontes ou tecnologias.

Dentre os trabalhos dessa ordem, de seleção de tecnologias de geração, é comum encontrar o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão, conforme Afgan e Carvalho (2002), Cavallaro e Ciraolo (2005), Papadopoulos e Karagiannidis (2008), Tsoutsos, *et al.* (2009), Wang, *et al.* (2009), Haurant, Oberti e Muselli (2011), Perera, *et al.* (2013), Mourmouris e Potolias (2013), Wimmmler, *et al.* (2015), Lombardi, *et al.* (2016) e Martins (2017).

Já no que diz respeito às políticas públicas no setor de energia, embora abordadas em parte dos trabalhos, foram identificados apenas dois estudos que fizeram o uso de ferramentas de multicritério para a definição destas, sendo que um trata de políticas para eficiência energética em construções (Melo, Jannuzzi, & Tripodi, 2013) e o outro aborda a segurança na exportação de energia (Alipour,

Hafezi, Ervural, Kaviani, & Kabak, 2018), portanto, com pouca correlação com o presente trabalho. Portanto, no que diz respeito aos métodos multicritérios, há diversos trabalhos para escolhas de tecnologias de geração de energia, mas poucos para proposição de políticas no setor de energia, sobretudo visando à inserção de fontes renováveis e, ainda menos para sistemas isolados. Fica evidenciada, assim, a lacuna a ser preenchida, que é unir o uso de ferramentas multicritério para apoio à decisão sobre políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados, sendo esta a principal contribuição deste trabalho, que vai além da definição das políticas em sistemas isolados, mas que mostra a contribuição dos métodos multicritério para escolha de políticas energéticas de qualquer natureza.

Nesse contexto, o presente trabalho busca identificar as barreiras para a inserção de fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros e apontar propostas de políticas públicas que possibilitem reduzir tais barreiras, contribuindo para o menor impacto ambiental da geração de energia elétrica e para a redução de custos e, conseqüentemente, da dependência de subsídios.

Para auxiliar a seleção e hierarquização dessas propostas, indo além das habituais avaliações técnico-econômicas, faz-se uso de métodos multicritério de apoio à decisão, por serem ferramentas reconhecidas como ideais para a modelagem de problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes (Martins, 2017), em particular dos métodos *Analytical Hierarchy Process – AHP* e *Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS*, este aliado à lógica dos conjuntos *fuzzy*, que possibilita o tratamento das incertezas presentes nos processos decisórios de escolha das alternativas.

2. Sistemas Isolados: situação, dificuldades, impactos e subsídios

O suprimento de eletricidade para os sistemas isolados na região Norte do Brasil constitui um problema de difícil solução. Os sistemas de pequena escala apresentam custos elevados e inúmeras dificuldades logísticas para o suprimento do óleo diesel (Nascimento, et al., 1999).

Grupos geradores a diesel têm sido empregados no atendimento a sistemas isolados e regiões remotas ao redor do mundo durante muitas décadas, sobretudo por sua simplicidade e baixo custo de instalação. Esses sistemas requerem uma pequena quantidade de operadores, podendo até ser controladas remotamente. Possuem flexibilidade para acompanhar as variações das cargas e podem operar por longos períodos continuamente. A manutenção desses sistemas é dominada na região Norte do país e existem fabricantes no Brasil, com disponibilidade de peças de reposição e pessoal qualificado para executar os serviços. A principal desvantagem da geração com combustível fóssil reside no custo da geração, que pode atingir 1.300 R\$/MWh (Barreto, 2008).

Como o combustível não é produzido na mesma localidade em que é utilizado, os sistemas dependem de uma complexa logística de abastecimento do combustível, especialmente na região amazônica, dependendo por vezes de modais diferentes (fluvial e rodoviário), estando sujeito às condições climáticas sazonais de cheias e secas dos rios. Por esta razão, em algumas localidades, há a necessidade de se armazenar combustível por longos períodos, podendo chegar até seis meses (EPE, 2016a).

2.1. Impactos socioambientais da geração nos Sistemas Isolados

A produção de energia elétrica nos Sistemas Isolados representa uma atividade econômica de grande relevância para essas localidades, razão pela qual

muitas cidades cresceram em torno das usinas, que se tornaram fonte de impactos socioambientais como, por exemplo, ruído e emissões de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de enxofre (SO₂ ou SO₃), além de outros gases causadores de efeito estufa, como CH₄ e NO_x.

O teor de enxofre é reconhecido como indicador da boa qualidade do diesel, levando à redução da vida útil do motor e a emissões de material particulado e de óxidos de enxofre, causadores de “chuvas ácidas” (ANP, 2018a).

A Resolução ANP nº 65/2011 determina que os óleos diesel para uso rodoviário podem ser do tipo S10 ou S500, mas quando utilizado para geração de energia elétrica, o diesel pode ser do tipo S1800, ou seja, com teor de enxofre máximo de 1.800 mg/kg. Portanto, o combustível utilizado na geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados tem um potencial poluidor maior do que seu similar utilizado em veículos automotores.

Por outro lado, a adição de biodiesel ao diesel fóssil tende a amenizar tais impactos. Essa mistura teve início no Brasil em 2004, em caráter experimental, passando por um aumento gradativo de mistura obrigatória, hoje em 11%.

No que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE), segundo o IPCC (2011), a geração de energia elétrica a partir de óleo (diesel ou combustível) representa o segundo maior nível de emissões, perdendo apenas para o carvão.

De acordo com a EPE (2018b), a elevada participação do diesel faz com que a geração nos Sistemas Isolados seja altamente intensiva em emissões. A título de comparação, as emissões do SIN no ano de 2017 foram de 44,5 MtCO₂eq (milhões de toneladas de CO₂ equivalente). Para os Sistemas Isolados, em 2019, são estimados cerca de 2,94 MtCO₂eq. Com isso, a intensidade de emissões, medida em tCO₂eq/MWh, dos Sistemas Isolados é 7,4 vezes superior à do SIN. Por outro

lado, em termos absolutos, as emissões nos sistemas isolados representam somente 0,5% daquela decorrente da queima de combustíveis, contemplando os diversos setores econômicos no país.

2.1.1. Relação da população com as usinas

Notadamente, o acesso à energia elétrica atua como um vetor de desenvolvimento de uma sociedade. O macrovetor técnico determinante da produtividade média do trabalho humano é a disponibilidade de energia por habitante. A disponibilidade de energia tem o poder de veto ao crescimento de investimentos produtivos e à ampliação dos suportes materiais do bem-estar (Lessa, 2005).

Nas comunidades do interior da região norte a geração de energia elétrica é determinante para a economia local, sendo fonte de renda e emprego para boa parte da população. Por essa razão, nas últimas décadas muitas vilas cresceram ao redor das usinas termelétricas, como ilustram a Figura 2 e a Figura 3, o que trouxe problemas frequentes relacionados à poluição sonora e ambiental.

No município de Parintins, um dos maiores sistemas isolados do estado do Amazonas, entrevistas com a população apontaram uma percepção generalizada de que a atual geração de eletricidade era cara, poluente e dependia de máquinas sucateadas. Muitas pessoas também reclamaram dos furtos e vazamentos de combustível, sugerindo o uso de fontes renováveis para minimizar esses problemas (IE-PUC, 2011).



Figura 2 - Imagem área de Careiro da Várzea-AM (usina em destaque)
Fonte: Google Maps



Figura 3 - Casas próximas à usina de Careiro da Várzea - AM
Fonte: Arquivo pessoal

2.2. Conta de Consumo de Combustíveis (CCC)

Dado o elevado custo da geração nos Sistemas Isolado e o baixo poder aquisitivo da população, o fornecimento de energia elétrica nessas localidades depende de subsídios diretos, custeados por meio da Conta de Consumo de Combustíveis – CCC, um encargo pago por todas as concessionárias de distribuição e de transmissão de energia elétrica.

A CCC foi criada inicialmente com o objetivo de ratear os custos com combustíveis utilizados no SIN, mas desde 1992 é utilizada para abarcar os custos de combustíveis dos Sistemas Isolados. Esse subsídio visa garantir o acesso à

energia elétrica a preços acessíveis para a população dessas áreas. Bajay & Frota (2004), porém, argumentam que a CCC representa um mecanismo ineficiente de redistribuição de renda.

De maneira geral, para a geração de energia elétrica, as distribuidoras com sistemas isolados pagam apenas o custo médio do mercado regulado (ACRmed). A diferença entre o custo total e o ACRmed é subsidiado pela CCC. Em 2018, por exemplo, o valor do ACRmed foi de R\$ 213,00/MWh (ANEEL, 2017a), enquanto o preço da energia nos sistemas isolados chegou a R\$ 2.000/MWh (ANEEL, 2016c).

De acordo com a ANEEL (2019), os gastos da CCC previstos para 2020 superam R\$ 7,5 bilhões, dos quais cerca de 18% destinam-se ao pagamento de impostos. A Figura 4 mostra a evolução dos dispêndios da CCC.

As reduções de gastos em 2016 e 2017 se deram em função da interligação de algumas localidades isoladas ao SIN, dispensando a geração termelétrica local. No entanto, o crescimento da demanda nas localidades ainda isoladas fez com que o desembolso total da CCC voltasse a crescer desde 2018.

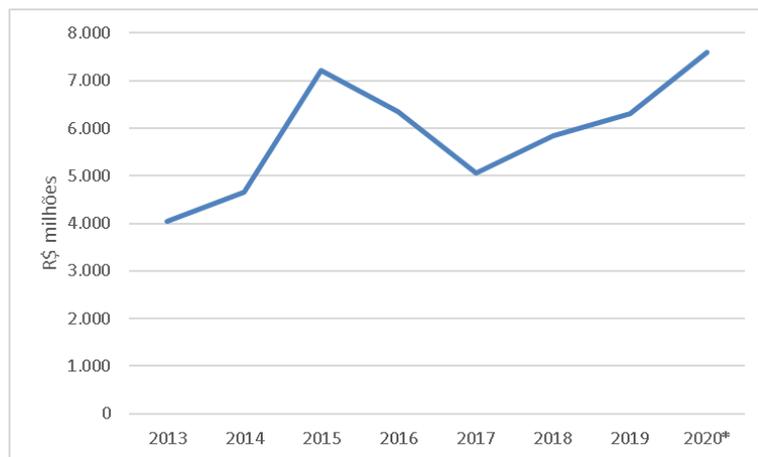


Figura 4 - Evolução dos gastos da CCC
Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2019)

2.3. Logística do óleo diesel na região Norte e custos

O acesso à energia elétrica na região Norte do Brasil possui inúmeras barreiras e desafios logísticos. Isso se dá, principalmente, pela limitada infraestrutura

rodoviária existente e da necessidade de utilização do modal de transporte hidroviário que, naturalmente, possui grande variabilidade de condições operacionais.

Pacheco (2007) consolidou as condições de navegabilidade anual, de acordo as profundidades de calhas dos principais rios da região amazônica, mostrando que a navegação em alguns rios é impraticável durante os períodos de estiagem.

Tsuchida (2008) mapeou a cadeia a logística de distribuição de óleo diesel na região Norte, desde a produção nas refinarias até o uso final, ressaltando a complexidade envolvida e a necessidade de transbordos, algumas vezes com carregamentos parciais, para atingir destinos finais, encarecendo o valor do combustível.

A inerente complexidade de distribuição de combustível numa região tão vasta, aliada às condições de navegação prejudicadas durante os períodos de estiagem faz com que em algumas localidades seja necessário armazenar combustível por longos períodos, podendo chegar até seis meses (EPE, 2016a).

Segundo a EPE (2016b), o custo do óleo diesel em sistemas isolados na região Norte representa até 70% do custo total de geração.

Na maioria dos Sistemas Isolados, devido às dificuldades de transporte, o preço do diesel é muito elevado. Em Jordão (AC), por exemplo, onde o acesso fluvial prejudicado durante os meses de estiagem, o preço do diesel pode chegar a quase R\$ 10/litro nessa época (Eletrobras Distribuição Acre, 2013). A título de comparação, o preço médio do óleo diesel no estado na mesma época, registrado pela ANP (2018b), era de R\$ 2,286/litro.

A ANP (2006) constatou que os volumes de combustíveis consumidos pelas termelétricas dos sistemas isolados, não coincidem com os informados pela

Petrobras. Embora esse levantamento não aponte as causas dessa divergência, ela vai de encontro aos relatos de diversos agentes que apontam frequente desvio de combustível, sobretudo na etapa de descarregamento das balsas para as usinas.

Observações dessa ordem foram registradas pelo Instituto de Energia da PUC-Rio (IE-PUC, 2011) em entrevistas com moradores do município de Parintins, que relataram desvios e comércio clandestino do diesel fornecido à usina local.

Como o combustível é subsidiado, há pouco interesse das distribuidoras em combater tais práticas. Já na geração por PIEs, em que esses são responsáveis pela administração do combustível, entende-se que há mais incentivos para esse combate, dado que sua remuneração se dá em função da energia gerada (já contemplando os custos com combustíveis). Logo, os ganhos ou prejuízos da atividade são repassados diretamente ao empreendedor.

2.4. Tributos: como eles beneficiam a geração a diesel

O custo da geração inclui tributos estaduais e federais, que também são subsidiados pela CCC. Dentre esses tributos, destacam-se: ICMS (alíquotas de 17% a 25%, a depender do estado), PIS (0,65%), COFINS (3,00%), imposto de renda (25,0 %) e CIDE (R\$ 50,00/m³).

Parte desses tributos incide na aquisição de combustível, enquanto outros são cobrados na venda de energia elétrica. Há também casos de incidência nessas duas etapas, com possibilidade de creditação e posterior diferimento.

Em 2017, dos R\$ 6,8 bilhões previstos para a CCC, R\$ 1,2 bilhão corresponderam a pagamentos de tributos (Eletrobras, 2016b). Deste valor, 44% foram para o recolhimento de ICMS e 56% para PIS/PASEP e COFINS. 76% foram destinados ao estado do Amazonas, que recebeu da CCC cerca de R\$ 459 milhões

em ICMS no ano, o que corresponde a 6% do total apurado (SERINS-AM, 2018). Portanto, há uma transferência de recursos da CCC para os estados.

Segundo a ANP (2006), em 2004, o ICMS recolhido em decorrência da compra de combustíveis para geração nos sistemas isolados, correspondeu a 7,8% do valor total de ICMS recolhido pelos estados da região Norte, o que mostra a relevância dessa arrecadação. Exemplo desse impacto ocorreu no estado do Amapá, que após a interligação de Macapá ao SIN, em 2015, experimentou uma significativa queda na arrecadação de ICMS, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Arrecadação anual de ICMS no Amapá.

Ano	Arrecadação com Energia Elétrica (R\$)	Variação (%)	Total da Arrecadação ICMS (R\$)	Variação (%)
2014	46.721.696	-	861.451.308	-
2015	47.776.661	2%	785.714.970	-9%
2016	5.052.770	-89%	700.311.920	-11%
2017	1.953.449	-61%	753.646.871	8%

Fonte: Elaboração própria, a partir de SEFAZ-AP (2018)

A Lei nº 10.833, de 29 de dezembro de 2003, alterou a legislação tributária (Lei nº 8.631/1993), prevendo que o rateio do custo de consumo de combustíveis, incluindo o de biodiesel, para geração de energia elétrica nos sistemas isolados, deveria incorporar os encargos e tributos incidentes, com percentuais decrescentes ao longo do tempo, iniciando em 100% para o ano de 2004 e chegando a zero por cento a partir de 2009. Com isso, era de se esperar que os impostos que tanto oneram a CCC deixassem de ser custeados por esse fundo. No entanto, com a promulgação da Lei nº 12.111, de 2009, essa redução gradual foi eliminada, sob o argumento de perda de receita dos estados, conforme consta no texto de Exposição de Motivos da Medida Provisória nº 466/2009. Com isso, os impostos continuam representando uma considerável parte dos gastos da CCC.

A questão tributária na cadeia produtiva de energia elétrica torna-se um pouco mais simples, e menos onerosa, no caso de geração a partir de recursos naturais,

como sol e vento, por exemplo, sobre os quais obviamente não há incidência de impostos. Por não haver o consumo de combustível, naturalmente deixa de haver também a arrecadação de uma série de impostos sobre esta etapa.

Considerando a importância da arrecadação de impostos sobre a comercialização de combustíveis, e dado o peso dessa atividade econômica nos estados da região Norte, a substituição da geração a diesel por outras fontes pode representar uma significativa perda de arrecadação pelas unidades federativas, razão pela qual não é de se esperar algum tipo de incentivo dos estados para a mudança de suas matrizes energéticas.

Destaca-se que no estado do Amazonas, que detém a maior quantidade de Sistemas Isolados, a questão tributária é ainda mais complexa, pois o ICMS incide não apenas sobre a aquisição de combustível (alíquota de 17%), como também na geração de energia elétrica (25%), quando feita por PIE (com possibilidade de creditamento), onerando ainda mais a CCC e acentuando o efeito de transferência de recursos.

2.5. Soluções alternativas ao óleo diesel

Como abordado no capítulo 1, mais de 95% da potência instalada nas usinas dos Sistemas Isolados corresponde à geração termelétrica a partir de combustíveis fósseis, com alguns poucos exemplos de plantas a gás natural, biomassa ou hidrelétricas. Na busca pela mudança, deve-se analisar os casos de sucesso de geração a partir de fontes renováveis, identificando as razões que levaram a essa opção e replicando os exemplos às demais localidades.

Existem vários exemplos de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em áreas rurais ao redor do mundo. O relatório do programa Luz para Todos (MME,

2015) registra que cerca de cem mil famílias em regiões remotas do Brasil serão atendidas por essa tecnologia.

A ilha de Fernando de Noronha, importante área turística e de proteção ambiental, já era atendida por uma usina termelétrica a diesel e, desde 2014, também sistemas fotovoltaicos, que possibilitarem redução do consumo de diesel, levaram a uma economia anual da ordem de R\$ 1,5 milhão (Freitas, Mascarenhas, & Almeida, 2016).

A cidade de Itacoatiara, no estado do Amazonas, conta com duas usinas termelétricas: uma com capacidade instalada de 23,8 MW, com motores a diesel; e a segunda que gera energia elétrica a partir da queima de biomassa (cavaco de madeira), com capacidade instalada de 9 MW. Destaca-se que essa usina se viabilizou em função da atividade de extração legal de madeira na região que gerava como resíduo o cavaco de madeira, cuja destinação até então era a queima a céu aberto, proibida a partir de 1998. Para dar melhor destino a essa biomassa, em 2002 foi inaugurada a usina, reduzindo o impacto da atividade madeireira e o consumo de óleo diesel. Trate-se, portanto, de um exemplo pontual, criado em resposta a um problema maior, causado por outro setor e, por isso, de limitada replicação, restringindo-se a locais onde haja a exploração legal de madeira, algo bastante sensível na região Norte.

No extremo norte do Brasil, o sistema isolado de Oiapoque tem sido atendido historicamente por usina termelétrica a diesel, até que um projeto alternativo baseado em uma pequena central hidrelétrica (PCH Salto Cafesoca) de 7,5 MW de capacidade venceu o leilão realizado em 2014. Durante a construção da hidrelétrica, a localidade está sendo atendida por uma nova termelétrica, mais eficiente, e por um

sistema fotovoltaico de 4,3 MWp que ajuda a reduzir o consumo de combustível (ANEEL, 2017b).

Tendo por base os resultados dos leilões de energia do SIN, conclui-se que as fontes renováveis, sobretudo eólica e solar fotovoltaica, já são competitivas e muitas vezes correspondem às soluções de menor custo. Essa condição, porém, não se refletiu ainda nos leilões dos Sistemas Isolados. Ressalta-se essas fontes são de caráter variável e não controlável, inviabilizando seu uso individualmente no atendimento à demanda em Sistemas Isolados. Porém, podem ser associadas a soluções de armazenamento ou a motores a diesel.

Nesse sentido, pode-se citar estudos da EPE de avaliação da atratividade econômica de soluções híbridas (diesel, solar e baterias). Com base em premissas conservadoras, estimou-se a possibilidade de redução do custo da energia em até 9% e do consumo de diesel em até 26% caso fossem adotadas tais soluções. Os estudos tomam por base o preço do óleo diesel à época e apontam que o seu aumento favorece ainda mais a viabilidade econômica dessas soluções alternativas no Acre (EPE, 2014) e no Amazonas (EPE, 2016b).

O Quadro 1 resume as oportunidades e barreiras para aproveitamento de cada fonte ou tecnologia de geração de energia elétrica nos sistemas Isolados no Brasil.

Quadro 1 - Soluções alternativas para suprimento de energia em Sistemas Isolados

Fonte / Tecnologia	Oportunidades de aproveitamento	Barreiras para aproveitamento	Exemplos em Sistemas Isolados
Hidrelétrica	<ul style="list-style-type: none"> · Algumas corredeiras ou cachoeiras · Hidrocinética 	<ul style="list-style-type: none"> · Relevo plano na região Norte · Rios com baixa velocidade de escoamento · Sensibilidade ambiental da região amazônica · Unidades de conservação e Terras Indígenas 	<ul style="list-style-type: none"> · PCH Alto Jatapú (RR): 10 MW · PCH São Gabriel da Cachoeira (AM); 4,8 MW – em estudo · PCH Salto Cafesoca; 7,5 MW; rio Oiapoque (AP) – em estudo
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> · Potencial no norte de Roraima e costa do Amapá 	<ul style="list-style-type: none"> · Potencial limitado na região Norte · Roraima: maior potencial em Terra Indígena · Amapá: sistemas com baixa demanda · Falta de medições anemométricas · Geração variável e não controlável 	<ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha: 225 kW - Desativada
Solar fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> · Irradiação da região Norte inferior à do Nordeste, mas ainda razoável e homogênea · Redução acentuada de custos nos últimos anos 	<ul style="list-style-type: none"> · Geração variável e não controlável 	<ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha: 1 MWp · Oiapoque 4,3 MWp · Diversos SIGFIs e MIGDIs em regiões remotas
Híbrida Diesel + FV Diesel + FV + Bateria	<ul style="list-style-type: none"> · Possibilita aproveitamento de fontes não controláveis, sem comprometer o suprimento · Redução acentuada de custos nos últimos anos (fotovoltaica e baterias) · Reduz consumo de diesel 	<ul style="list-style-type: none"> · Requer coordenação de geração combinada para acompanhar a carga · Sistema mais complexo, que exige mão de obra especializada 	<p>UTE diesel + UFV:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fernando de Noronha · Oiapoque
Biomassa e biocombustíveis	<ul style="list-style-type: none"> · Emissões evitadas de carbono · Políticas existentes: PNPB (2005), ZAE-Dendê (2010), RenovaBio (2017)¹ · Empresa dedicada à produção de biodiesel de óleo de palma na região Norte (Brasil Bio Fuels) · Potencial de 2,5 GW (ou 17,5 TWh/ano) a partir de biomassa lenhosa residual (EPE, 2018c) 	<ul style="list-style-type: none"> · Restrita a áreas degradadas ou antropizadas · Potencial indutor de desmatamento na região amazônica · Cavaco: depende da exploração legal de madeira, em áreas restritas 	<ul style="list-style-type: none"> · UTE Itacoatiara (9 MW) a biomassa oriunda do resíduo da extração legal de madeira · UTEs à biodiesel (mistura parcial): 4 no Acre, 10 em Rondônia e 32 no Amazonas · Biomassa de Acácia disponível para uso (26.500 ha) em Roraima (Herzog, 2007). Potencial entre 35 e 55 MW (EPE, 2017e).
Gás natural	<ul style="list-style-type: none"> · Emissões de GEE e custos menores que o diesel · Gasoduto Coari-Manaus · Disponibilidade na Bacia do Solimões e no Campo de Azulão (AM) · Possibilidade de uso de GNL, por via fluvial 	<ul style="list-style-type: none"> · Fonte não renovável · Falta de infraestrutura de transporte na região Norte · Custo do gasoduto, subsidiado pela CCC, foi muito maior que o previsto 	<p>UTES no Amazonas:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Anamá (2,1 MW); Anori (4,6 MW); Caapiranga (2,1 MW); Codajás (5,5 MW); · Coari (37 MW) – prevista para 2019

¹ PNPB: Programa Nacional de Uso e Produção do Biodiesel; ZAE-Dendê: Zoneamento Agroecológico do Dendezeiro; RenovaBio: Política Nacional de Biocombustíveis

2.5.1. Experiências internacionais de geração a partir de fontes renováveis em sistemas isolados.

Praticamente todos os países têm seus sistemas isolados, em diferentes condições e tamanhos, podendo ser ilhas, áreas rurais ou regiões longínquas, mas que tenham atividades econômicas fortes, como mineração ou exploração de petróleo e gás. Nessas áreas distantes das redes elétricas principais, os sistemas geralmente dependem da onerosa geração a partir de óleo diesel, que normalmente é a principal fonte (Frankfurt School, 2015). Outra situação comum nesses sistemas é que o combustível é normalmente subsidiado pelos governos de seus respectivos países.

De acordo com estudo da Frankfurt School (2015), o custo de geração em redes isoladas pode ser reduzido por meio da hibridização desses sistemas a diesel com a geração fotovoltaica. Baseado em sete estudos de caso em diferentes países, concluiu-se que a hibridização pode reduzir o custo de geração em até 16%, dependendo das condições e cenários de preços de combustível. Os melhores resultados foram encontrados para os locais com maior população, preço de diesel mais elevado e melhor radiação solar, representando um significativo potencial de redução do custo de energia elétrica em áreas rurais e ilhas, sobretudo em países em desenvolvimento.

Um estudo similar (Das & Claudio, 2017), conduzido em cinco comunidades da região ártica do Canadá, avaliou o uso de geradores (a diesel) de velocidade variável, permitindo aumentar a penetração das fontes eólica e solar, concluindo que o desenvolvimento de sistemas híbridos é sempre economicamente interessante, reduzindo o consumo de combustível (de 60% a 83%), as emissões de gases de

efeito estufa (em até 89%) e o custo total de atendimento a essas localidades (de 39% a 67%).

Outro exemplo de geração híbrida em sistema isolado, em operação, é o das Ilhas Faroe, na Dinamarca (Quitmann, 2018), que conta com 13 turbinas eólicas (11,7 MW) e sistema de armazenamento em bateria de íons de lítio (2,3 MW, 707 kWh), associados a geradores a diesel, para atender a uma demanda máxima de 45 MW. Nessa configuração, a geração eólica chega a atender até 80% da carga, auxiliada pela bateria, que reduz o *curtailment* (excedente de produção), reduzindo o consumo de combustível.

Em Cobija, na Bolívia, na fronteira com o Acre, opera desde 2014 um sistema híbrido diesel-solar com baterias, atingindo 40% de penetração de geração fotovoltaica. Trata-se de instalação em região com condições climáticas adversas (SMA, 2015), a exemplo dos sistemas isolados brasileiros, onde as elevadas umidade e temperatura podem dificultar a operação das baterias.

Hafez e Bhattacharya (2012) avaliaram o dimensionamento ótimo e o planejamento de uma microrrede rural baseada em diesel e renováveis (solar, eólica e PCH), concluindo que a combinação de fontes levou ao menor custo e menor “pegada de carbono”.

Um estudo do Rocky Mountain Institute (2016), avaliou o suprimento de energia elétrica à ilha de Santa Lucia, na região do Caribe, atendida por geração a diesel importado, de custo elevado (0,38 USD/kWh em 2014) e volátil, concluindo que a configuração ótima, sob o ponto de vista econômico, resulta no *portfolio* de geração solar, eólica, armazenamento, ações de eficiência energética, além da geração a diesel existente. Esses investimentos reduziram em 42% os gastos com diesel e em 40% as emissões até 2025. Outra conclusão importante é sobre a necessidade de

manutenção da geração a diesel para garantir os requisitos de reserva e confiabilidade.

No deserto da Austrália, a empresa Juwi está desenvolvendo um sistema solar de 10,6 MW aliado a 6 MW de baterias, substituindo parte da geração diesel utilizada na atividade de mineração (PSR, 2015).

Embora os diversos estudos citados apontem a viabilidade econômica de soluções renováveis em locais isolados, a complexidade logística de atendimento dificulta a atração de investimentos. Por essa razão, a Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016), publicou um estudo sobre políticas públicas e regulação visando atrair o setor privado a investir em minirredes renováveis e acelerar o desenvolvimento de novas tecnologias. O estudo aponta que os governantes exercem papel fundamental para facilitar a atração de investimentos. Para tanto, se faz necessária agilidade da formulação de políticas e regulação, de forma a remover barreiras e acompanhar a dinâmica de desenvolvimento das tecnologias. O relatório traz ainda exemplos de medidas adotadas em diferentes países que contribuíram para a promoção das renováveis em localidades isoladas, tais como: isenção de licenças e aprovação de tarifas para sistemas menores que 50 kW e simplificação dos processos para capacidades maiores (Ruanda), cobertura de custos (subsídio, ou *feed-in tariff*) às tarifas de geração (Tanzânia), concessão de geração com exclusividade (Mali), criação de fundo de apoio, administrado por bancos locais, para financiar projetos renováveis (Nepal) e redução ou isenção de impostos para essas soluções (diversos países).

3. Identificação de barreiras às fontes renováveis e propostas para mudança

Como discutido nos capítulos anteriores, fontes renováveis já são utilizadas em alguns sistemas isolados do Brasil e de outros países. Adicionalmente, diversos estudos apontam a viabilidade econômica de sistemas híbridos que reduzem o consumo de diesel.

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2011), algumas políticas se mostraram efetivas e eficientes ao possibilitarem a rápida expansão de fontes renováveis. No entanto, não há uma solução padrão. Experiências mostram que diferentes políticas ou combinações de políticas energéticas podem ser mais efetivas a depender de fatores como maturidade tecnológica, disponibilidade de capital, facilidade de integração com sistemas existentes e a base de recursos renováveis locais e nacionais.

Nesse sentido, o presente capítulo busca apontar as barreiras para o uso extensivo dessas fontes nas localidades isoladas da região Norte do Brasil e propor sugestões de políticas públicas para maior inserção das mesmas.

3.1. Barreiras culturais e de conhecimento

O capítulo 2 mostrou que as soluções a diesel têm funcionado razoavelmente bem há mais de um século nos sistemas isolados. Assim, é possível entender a aversão a novas tecnologias: em localidades em que se leva mais de um mês para se chegar desde um centro urbano, como mostrado na seção 2.3, a demora na substituição de equipamentos defeituosos poderia provocar o desabastecimento de energia elétrica, trazendo consequências sociais e financeiras.

Ainda no aspecto cultural, os operadores bem estabelecidos na região Norte são, na maioria dos casos, empresas especializadas na geração térmica a diesel. Já

as empresas focadas em energias renováveis, ainda que atuem com sucesso nos leilões do sistema interligado, normalmente não conhecem os desafios logísticos da região amazônica, aumentando o risco percebido.

O rápido avanço tecnológico de determinadas fontes, associado à recente queda de custos não tem se traduzido em mudanças nos sistemas isolados, muito em função das barreiras culturais e mesmo de desconhecimento acerca das fontes não convencionais.

Para reverter esse quadro, **propõe-se o desenvolvimento de projetos piloto de usinas híbridas em sistemas isolados de maior porte**. Nas localidades menores, as regiões remotas, já há mini usinas fotovoltaicas com baterias em operação, atendendo pequenas vilas. Porém, são poucas as soluções similares para sistemas maiores.

Ainda que tais projetos pilotos possam ter um custo elevado, eles auxiliariam a vencer a barreira cultural supracitada e facilitariam a disseminação do conhecimento acerca das novas tecnologias. Com isso, os projetos seguintes se beneficiariam do conhecimento gerado, tornando-se autossustentáveis e economicamente viáveis.

3.2. Questões regulatórias e contratuais

O arcabouço regulatório que disciplina o atendimento aos sistemas isolados mostra-se adequado à situação atual, uma vez que busca reconhecer e subsidiar os custos da geração termelétrica a diesel. Exemplo disso é a Resolução Normativa nº 801/2017 (ANEEL, 2017c) que traz valores limite de consumo específico de combustíveis, em litros/kWh, para fins de reembolso da CCC.

De maneira análoga, verifica-se que o Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Sistema Isolado – CCESI, aprovado pela Resolução Homologatória

ANEEL nº 1.733/2014, foi desenhado para usinas a diesel, como pode ser visto na fórmula de remuneração pela energia prevista nesse instrumento:

$$P_{REF} = \frac{RAF}{E} + CVU_{O\&M} + i_m \cdot \{ [x \cdot P_m + (1 - x) \cdot P_{bio}] + P_{log} + P_{trib} \} \quad 3.1$$

Onde:

P_{ref} = Preço de Referência, em R\$/MWh;

RAF = Receita Anual Fixa, em R\$/ano;

E: Energia Anual gerada, em MWh/ano;

CVU_{O&M} = Custo variável de operação e manutenção, em R\$/MWh;

i_m = consumo específico, em L/MWh;

x = Percentual de diesel após a adição de biodiesel;

P_m = Preço médio do combustível na refinaria, publicado pela ANP, em R\$/L;

P_{bio} = Preço médio do biodiesel, publicado pela ANP, em R\$/L;

P_{log} = Custo de logística de suprimento do combustível, em R\$/L;

P_{trib} = Tributos sobre o combustível, em R\$/L.

Percebe-se dos termos da equação 3.1 que, à exceção da parcela RAF, todos os demais termos destinam-se a remunerar os custos intrínsecos à geração a diesel. Assim, fontes de capital intensivo e custo variável nulo (ou próximo de zero), como fotovoltaica e eólica, contam apenas com a parcela RAF para remuneração e amortização do investimento, sem reconhecer as particularidades de cada tecnologia. Há, portanto, uma assimetria de tratamento das tecnologias.

Essa mesma fórmula é utilizada para fins de comparação de preços ofertados nos leilões, sendo considerados na competição os valores referenciados (data-base) ao mês anterior ao de publicação do edital. Porém, ao longo do horizonte contratual, cada um dos termos é reajustado por diferentes índices. Enquanto a parcela RAF é atualizada anualmente pelo IPCA, as parcelas P_m e P_{bio} correspondem aos valores mensais publicados pela ANP. O termo P_{trib} depende do ICMS, sendo automaticamente reajustado em caso de mudança da alíquota estadual.

Com isso, em uma usina a diesel, cujo maior custo corresponde ao combustível, praticamente não há riscos financeiros ao produtor, posto que sua remuneração é mensalmente atualizada a preços de mercado. No caso de usinas

com remuneração dependente majoritariamente da receita fixa, pode haver risco de descolamento entre custos financeiros assumidos pelo empreendedor (custo de capital próprio e de terceiros) e o índice de inflação ao longo do horizonte contratual, o que se torna ainda mais relevante em tecnologias de capital intensivo, como fotovoltaica ou baterias.

Dada a preponderância do custo de combustível no valor final da energia elétrica nas usinas a diesel, se observa nos últimos leilões a associação de empresas geradoras a distribuidoras de combustível. Como o custo de combustível representa a maior parcela, o *core-business* passa a ser a distribuição de diesel, e não a geração de energia elétrica. Essas empresas, que dominam a complexa cadeia logística de suprimento de combustível, acabam sendo majoritárias nos consórcios e deliberando sobre a forma de geração. Assim, a introdução de fontes renováveis, que levaria a redução de consumo de diesel, vai contra os interesses dos investidores e tomadores de decisão no negócio de geração de energia elétrica.

A questão dos reajustes automáticos e frequentes das parcelas associadas ao custo de combustível leva ainda a uma segunda desvantagem às fontes renováveis: é possível que no longo prazo haja um descolamento do preço do diesel em reação à inflação. Assim, ainda que no momento inicial um projeto puramente termelétrico apresente custo de geração similar ao de uma usina híbrida, é possível que após alguns anos o primeiro resulte em maior custo, dados os diferentes parâmetros de reajuste.

Para melhor avaliar essa questão, o gráfico da Figura 5 apresenta a evolução do preço médio de distribuição do diesel na região Norte, comparado à variação do IPCA no mesmo período. Percebe-se que o valor de revenda do combustível sofreu um descolamento positivo em relação à inflação em 2002. A partir de então, as

linhas seguem quase que paralelas. Destaca-se, porém, que esse fato pode ser creditado à política de controle de preços de combustíveis praticada pelo governo federal no período, que embora tenha visado minimizar os impactos no setor de transporte, acabou por subsidiar a geração termelétrica. De toda forma, fica evidente o descolamento entre a variação histórica dessas duas variáveis, ou seja, o custo do combustível subiu mais que a inflação no período.

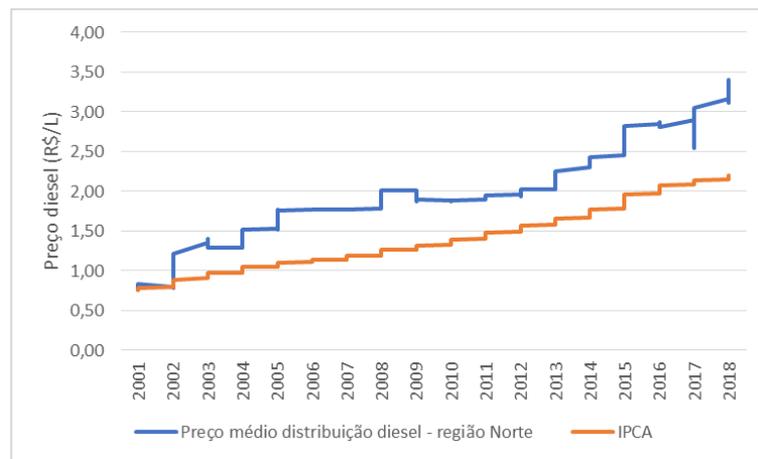


Figura 5 - Preço médio do diesel na região Norte e variação do IPCA
Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2018c) e IBGE (2018)

Uma possível solução pra minimizar o impacto da alta nos preços de combustível no custo futuro da energia, seria **atualizar todo preço de referência pelo IPCA**, por exemplo. Não haveria, assim, reajustes automáticos em função dos preços do diesel. Pela proposta, qualquer usina, mesmo aquelas a diesel, seguiriam essa forma de remuneração, dando um tratamento isonômico para as diferentes tecnologias. **Com isso, o risco associado à variação futura do preço do combustível seria alocado ao gerador**, que faria suas projeções para o período contratual e precificaria o risco no preço ofertado, possivelmente elevando o custo presente da geração a diesel.

O eventual descolamento entre o preço futuro do combustível e o índice de inflação, se por um lado tende a beneficiar o consumidor, traz maior risco ao

gerador, estimulando-o a investir em soluções de menor custo variável para “hedgear” o seu negócio.

Importante destacar que os editais dos leilões facultam ao vencedor do certame alterar seu projeto após a licitação, inserindo fontes renováveis, desde que os ganhos financeiros decorrentes sejam compartilhados com os consumidores (na forma de redução de tarifa) na proporção 70/30%.

Ainda que tal medida de compartilhamento de ganhos se mostre justa, tende a afastar potenciais investidores em renováveis, pois sujeita os investimentos à aprovação do órgão regulador, sem que haja critérios pré-estabelecidos para a avaliação da ANEEL, representando um risco ao desenvolvedor. Uma forma de se incentivar a maior inserção de fontes renováveis seria **permitir ao proprietário das usinas auferir completamente os ganhos econômicos da mudança**, até mesmo em função da inovação e riscos envolvidos. Os consumidores e a sociedade ainda se beneficiariam pela menor emissão de gases de efeito estufa e pela menor exposição às variações do preço do combustível.

Esse posicionamento é reforçado pela Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2016), que sustenta que desenvolvedores, operadores e investidores em micro redes privadas devem poder recuperar os custos de uma operação sustentável em um tempo razoável, considerando margens de lucros compatíveis os riscos envolvidos.

3.3. Modelos de planejamento: orientativo versus determinativo

O planejamento energético de caráter orientativo tem se mostrado exitoso no SIN, posto que as contratações nos leilões do ACR têm guardado certa aderência com as indicações dos Planos Decenais de Energia. Já nos Sistemas Isolados, embora as publicações da própria EPE sugiram a competitividade de sistemas

híbridos, tais proposições não se refletiram nos resultados dos leilões, mostrando um descasamento entre planejamento proposto e realidade contratada.

Cabe ressaltar que segundo a teoria da microeconomia, o modelo de concorrência perfeita pressupõe (a) mercados em que nenhum participante tem tamanho suficiente para ter o poder de mercado para definir o preço de um produto homogêneo; (b) a presença de muitos produtores e muitos consumidores; (c) que todos os agentes têm toda a informação relevante e igual acesso à tecnologia e aos fatores de produção; (d) e que não existem barreiras à entrada ou saída do mercado (Stoft, 2002).

Tais pressupostos não se aplicam perfeitamente ao mercado de geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados brasileiros, uma vez que há poucas empresas atuando nesse setor, exercendo poder de mercado, e que novos entrantes enfrentam dificuldades logísticas e peculiaridades regionais, o que explica em parte a predominância das tradicionais empresas de geração a diesel na região Norte e a dificuldade de entrada de investidores em energias renováveis, ainda que com experiência em outros locais.

Dessa forma, considerando a relação entre maturidade de mercado e expansão de novas tecnologias, **entende-se que o planejamento do atendimento a sistemas isolados possa assumir um caráter menos orientativo e mais determinativo**, estabelecendo metas claras de penetração de fontes renováveis nos futuros leilões.

De fato, é o que ocorre em outros mercados, como aqueles discutidos na seção 2.5.1, em que foram exemplificados casos de sucesso de uso de fontes renováveis em sistemas isolados em outros países. Naqueles exemplos, tais

resultados derivaram de parâmetros pré-determinados, tais como tecnologia a ser adotada ou nível máximo de emissões.

Assim, embora se reconheça que o planejamento orientativo busca a modicidade tarifária a partir da inteligência do mercado, entende-se tal consideração não se adequa aos sistemas isolados, onde a baixa oferta e concorrência dificultam a mudança de paradigma na matriz elétrica.

Outro ponto que reforça esse argumento é o caráter locacional dos leilões de sistemas isolados. Enquanto nos leilões do SIN há competição entre projetos em diferentes regiões (desde que haja capacidade de conexão à rede), sem mérito quanto sua contribuição locacional, o mesmo não é possível nos sistemas isolados, por definição. Dada a inexistência, nesses locais, de uma ampla rede de transmissão que conecta geração e carga, como há no SIN, a geração deve estar próxima da região a ser atendida, restringindo a oferta de projetos.

Portanto, os sistemas isolados estão distantes das características de um mercado de concorrência perfeita, limitando a entrada de novos atores e o aumento de competição entre os mesmos, o que por sua vez, dificulta mudanças no status quo do predomínio da geração a diesel.

3.4. Tributos e subsídios

Com relação ao subsídio da custeado pela CCC, dada a ausência de mecanismos que visem sua racionalização, como discutido na seção 2.2, propõe-se **a fixação de um valor teto para a CCC**, o que certamente daria maior previsibilidade aos seus gastos. Ademais, poderia ser um estímulo para que os consumidores sejam mais parcimoniosos no consumo de energia elétrica e busquem medidas de eficiência energética e/ou geração própria.

Conforme explicado, parte dos desembolsos da CCC destina-se ao recolhimento de tributos incidentes o sobre o custo de aquisição de combustíveis e, em alguns casos, sobre a venda de energia elétrica. Destaca-se entre tais tributos o ICMS, cuja alíquota varia a cada estado. Assim, uma medida de racionalização dos gastos da CCC seria considerar, no custo de geração nos Sistemas Isolados, **para fins de cálculo da CCC, a unificação da alíquota de ICMS, nos diferentes estados, para os combustíveis utilizados na geração termelétrica.**

Poderia ser adotado, por exemplo, a menor alíquota atualmente praticada na região Norte: 17%, caso do Acre e Amazonas, enquanto no Pará esse percentual chega a 25%. Essa alteração afetaria diretamente o termo P_{trib} da equação 3.1, reduzindo-o. A diferença entre o montante reembolsado e o custo efetivo, poderia ser custeada pelos estados, forçando-os a reduzir o percentual cobrado ou a estimular alternativas menos dependentes do diesel.

Uma vantagem dessa proposta é que não depende diretamente de decisões do Conselho Nacional de Política Fazendária – CONFAZ, que naturalmente deve se mostrar avesso a reduções de arrecadação.

3.5. Licenciamento ambiental

Apesar dos impactos ambientais de uma usina a diesel, os órgãos licenciadores estaduais e municipais da região Norte já as conhecem bem, assim como seus operadores, facilitando o processo de licenciamento e de eventuais solicitações de condicionantes para emissão de licenças de instalação e operação.

Ainda assim, convém destacar que algumas usinas operam em estado precário, com elevados níveis de emissões e ruído, algumas vezes até mesmo sem licença válida ou sob Termos de Ajustamento de Conduta, firmados junto aos Ministérios Públicos.

Em que pese a simplicidade de um projeto fotovoltaico, a grande área requerida para sua construção (da ordem de 1 hectare para cada MWp) pode se mostrar impeditiva, sobretudo na região da floresta amazônica, onde não faria sentido desmatar para instalar módulos fotovoltaicos.

No caso de aproveitamento de biomassa, por exemplo, a maior dificuldade recai sobre a disponibilidade do insumo energético, cuja atividade de extração deve ser licenciada, como por exemplo, serrarias e extração de madeira, atividades potencialmente impactantes dos pontos de vista social e ambiental.

Aproveitamentos hidrelétricos também podem requerer processos complexos de licenciamento, a exemplo da PCH Salto Cafesoca, em implantação no rio Oiapoque, no Amapá, divisa com a Guiana Francesa. A dificuldade no licenciamento dessa usina provocou atraso no cronograma de obras. Apesar da simplicidade do arranjo dessa PCH, que dispensa o barramento do rio (faz-se um pequeno desvio na margem direita para turbinamento da água, que é restituída à calha natural logo adiante), o empreendedor enfrentou diversas dificuldades com seu licenciamento: dentre as recomendações apontadas pelo IBAMA, destacam-se a instalação da Linha de Transmissão (LT) subterrânea, o que é usual apenas em ambientes urbanos; a construção de um sistema transposição dos barcos no lado brasileiro, ainda que a estrutura da usina ocupe uma pequena porção da margem do rio, deixando livre a maior parte da calha natural; e a elaboração de um Plano de Mobilidade Urbana e de Transporte, apesar da PCH estar distante da área urbana (IBAMA, 2016).

Convém mencionar que esta usina já dispunha de licença de instalação, que perdeu sua validade antes do início das obras. Como a mesma já havia sido prorrogada uma vez, coube ao empreendedor iniciar um novo processo de

licenciamento, desde o início. Com isso, o primeiro processo foi desconsiderado, sendo aberto um novo, com exigências muito mais restritivas.

O rigor excessivo do órgão licenciador levou ao atraso da geração hidrelétrica e à consequente maior queima de combustível fóssil para garantir o suprimento à localidade. Destaca-se que uma usina a diesel foi licenciada na mesma época, rapidamente e sem maiores dificuldades pelo órgão estadual, revelando o contrassenso daqueles que deveriam zelar por menores impactos ao meio ambiente.

Portanto, fica explícita mais uma barreira ao aproveitamento de fontes renováveis nos sistemas isolados: o licenciamento ambiental. Para minimizar essa questão, é importante que os órgãos licenciadores considerem não somente o impacto localizado e isolado de determinada tecnologia de geração, mas também o de sua substituta, favorecendo aquela de menor impacto.

Assim, propõe-se a simplificação do licenciamento ambiental de usinas com geração renovável (ainda que parcialmente, no caso de projetos híbridos), de forma a facilitar a transição para uma matriz mais limpa. Essa simplificação, na prática, se traduz em requisitos de Relatório Ambiental Simplificado (RAS), ao invés de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA). Também deve-se buscar minimizar as condicionantes para tais projetos, tornando-as mais rigorosas quanto maior for o impacto global da solução proposta, levando em consideração não só os impactos localizados mas também aqueles associados à cadeia logística envolvida.

3.6. Resumo das propostas

Neste capítulo foram identificadas as dificuldades e impactos da geração a diesel, bem como as oportunidades e barreiras para fontes renováveis. A partir

destas constatações, foram propostas sete ações para estimular a transição para uma matriz mais limpa, a saber:

- Permitir ao gerador 100% do benefício auferido com a instalação de fontes renováveis posterior ao leilão;
- Projetos piloto de usinas híbridas em sistemas isolados de maior porte;
- Transferir o risco do custo do diesel ao gerador;
- Adoção de um planejamento determinativo, exigindo nos leilões uma penetração mínima de fontes renováveis;
- Fixação de um valor teto para subsídios pela CCC;
- Adoção de alíquota única de ICMS para fins de ressarcimento pela CCC;
- Simplificação do licenciamento ambiental de usinas com geração renovável.

Destaca-se que a primeira proposta não foi levada para a avaliação multicritério, apresentada a seguir, por se entender que a mudança depende de uma simples deliberação da agência reguladora, não chegando a representar uma política pública.

Assim, são propostas seis políticas públicas que visam aumentar a participação das fontes renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros. De forma a auxiliar a decisão sobre qual destas é mais relevante, ou ordená-las em função de sua eficácia, faz-se necessária uma avaliação multicritério. Para tanto, foi desenvolvida uma ferramenta própria, descrita no capítulo 5, cuja aplicabilidade é demonstrada no capítulo 6.

4. Métodos Multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas

A tomada de decisão representa um dos grandes desafios, sobretudo no que se refere às políticas públicas, dado o impacto que determinadas medidas podem ter

na sociedade. Esse desafio torna-se ainda mais complexo quando se observa a existência de variáveis subjetivas e julgamentos de valor. Os métodos multicritério de apoio à decisão buscam proporcionar a modelagem para a solução de problemas dessa ordem, caracterizando-se como um instrumental importante e de uso crescente nos ambientes organizacionais (Mello, 2015).

No setor de energia é comum encontrar o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão para a seleção de tecnologias de geração. No que diz respeito a políticas públicas, há poucos estudos aplicados nesse setor, embora a literatura esteja farta de aplicações em setores como ambiental, industrial e turismo.

Como não foi encontrado na literatura nenhum método para avaliação e seleção de políticas públicas visando à inserção de fontes renováveis, especialmente em Sistemas Isolados, este capítulo, busca preencher esta lacuna.

4.1. Métodos multicritério de apoio à decisão sob incerteza

Segundo Martins (2017), os métodos multicritério de apoio à tomada de decisão são ferramentas reconhecidas como ideais para a modelagem de problemas em que subjetividade, incerteza e ambiguidades estejam presentes. Dentre estes métodos, destacam-se: AHP (*Analytic Hierarchy Process*), ELECTRE (*Elimination Et Choix Traduisant la Réalité*); PROMETHEE (*Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation*), TOPSIS (*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*) e MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*).

Tais métodos podem ainda ser combinados à teoria dos conjuntos *fuzzy* (Zadeh, 1965), possibilitando o tratamento das incertezas presentes nos processos decisórios que envolvam fatores complexos e dinâmicos inerentes ao julgamento

humano nas análises, a fim de auxiliar os tomadores de decisão (Cowan, et al., 2009).

Chang (1996), por exemplo, combinou a lógica *fuzzy* com o AHP, para a seleção de professores universitários. Chen (2000) estendeu a lógica *fuzzy* ao TOPSIS, de forma a minimizar a incerteza na modelagem de situações da vida real. Kaya e Kahraman (2010) desenvolveram um método multicritério, integrando as metodologias *fuzzy* VIKOR e AHP, para o planejamento de fontes renováveis em Istambul. Liu (2014) utilizou o método *fuzzy*-AHP para avaliar fontes renováveis a partir de um índice sustentabilidade. Trindade (2016) propôs um modelo que integra os métodos *fuzzy*-AHP e *fuzzy*-TOPSIS para monitorar e avaliar a capacidade inovativa de empresas. Martins (2017) desenvolveu um modelo *fuzzy* AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis.

A partir dessas experiências, percebe-se que o uso de ferramentas multicritério, sobretudo se combinadas à lógica *fuzzy*, pode auxiliar a tomada de decisão sobre quais políticas públicas seriam mais eficazes para aumentar o uso de fontes renováveis nos Sistemas Isolados. Este trabalho adota o modelo AHP *fuzzy*-TOPSIS proposto por Martins (2017), segundo o qual combina os benefícios da lógica dos conjuntos *fuzzy* em considerar as incertezas associadas aos processos decisórios com os potenciais dos métodos AHP e TOPSIS. O método AHP é capaz de reduzir decisões complexas em uma série de comparações pareadas e sintetizar os resultados, capturando os aspectos subjetivos e objetivos de uma decisão; o método TOPSIS é utilizado como alternativa à etapa de classificação do AHP para hierarquizar as alternativas, identificando a melhor solução que está mais próxima

da solução ideal positiva e mais distante da solução ideal negativa (Trindade J. E., 2016).

4.2. Métodos multicritério para avaliação e seleção de políticas públicas

Inicialmente pesquisou-se na bibliografia artigos, dissertações e teses que utilizassem métodos multicritério de apoio à decisão com foco em planejamento energético e políticas públicas, de forma a embasar o desenvolvimento de um modelo capaz de avaliar as opções de políticas públicas.

Os artigos encontrados foram divididos entre os que versam sobre alternativas de geração de energia elétrica (11 no total), sendo alguns aplicados a em Sistemas Isolados, e aqueles que tratam de políticas públicas, considerando diferentes setores (9 trabalhos). Os objetivos e métodos utilizados por estes trabalhos estão apresentados no Quadro 2 e no Quadro 3, a seguir.

Destaca-se a importância em se avaliar essas duas linhas de pesquisa (alternativas de geração e políticas públicas), de forma a preencher a lacuna existente na bibliografia e desenvolver um método de avaliação de políticas públicas votado para o setor de energia.

O método AHP figura entre os mais frequentes, estando presente em oito dos vinte estudos, enquanto o TOPSIS foi adotado em três. Ainda, três trabalhos combinaram a teoria dos conjuntos *fuzzy* para considerar as incertezas. Dado que estes são os métodos comumente adotados na literatura, estes foram conjugados em um modelo híbrido para escolha de políticas públicas em sistemas isolados de energia, como será descrito no capítulo 5.

Quadro 2 – Referências de avaliação de alternativas de geração com base em métodos multicritério

Autores	Objetivo	Método
Lombardi et al. (2016)	Modelagem de diferentes configurações de microgrids para sistemas isolados da Sibéria	AHP
Cavallaro & Ciraolo (2005)	Avaliar a viabilidade de diferentes soluções de turbinas eólicas na ilha de Salina (Itália)	NAIADE
Tsoutsos et al. (2009)	Subsidiar as autoridades regionais de Creta (Grécia) na análise de composições de fontes renováveis para atender a demanda crescente de energia	PROMETHEE I e II
Afgan & Carvalho (2002)	Definir indicadores para avaliação de sistemas energéticos que atendam critérios de sustentabilidade	(revisão bibliográfica)
Mourmouris & Potolias (2013)	Analisar e desenvolver uma estrutura multinível para o planejamento energético e a exploração de fontes de energia renováveis na ilha de Tassos (Grécia)	REGIME
Papadopoulos & Karagiannidis (2008)	Determinar uma penetração atingível fontes de renováveis nas ilhas de Karpathos e Kassos (Grécia)	Electre III
Perera et al. (2013)	Otimizar o processo de concepção de sistemas híbridos de energia	Fuzzy TOPSIS
Haurant et al. (2010)	Selecionar projetos fotovoltaicos mais relevantes dentre várias propostas para a ilha de Córsega (França)	ELECTRE IS
Martins (2017)	Avaliação e seleção de tecnologias para geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis no Estado do Rio de Janeiro	AHP-TOPSIS
Wimmler et al. (2015)	Destacar a diversidade de métodos disponíveis para apoio à decisão de energias renováveis em ilhas	(revisão bibliográfica)
Wang at al. (2009)	Revisão bibliográfica de diversos métodos e critérios para decisão sobre energias sustentáveis	WSM, WPM, AHP, TOPSIS, Grey relation, MCDA fuzzy, ELECTRE, PROMETHEE

Quadro 3 – Referências de avaliação de políticas públicas com base em métodos multicritério

Autores	Objetivo	Método
Liu et al. (2012)	Avaliar a relação de dependência entre várias dimensões e critérios de políticas para o turismo e sugerir melhorias para o turismo em Taiwan	DEMATEL
Melo et al. (2013)	Avaliar políticas públicas que promovam a disseminação da eficiência energética e fontes renováveis locais no setor de construção civil no Brasil	PROMETHEE
Lirio & Muñoz-Torres (2010)	Desenvolver uma metodologia baseada em lógica <i>fuzzy</i> aplicada à avaliação de subsídios para a indústria europeia	<i>fuzzy</i> -AHP
Nagel & Nagel (1989)	Escolher ou explicar a melhor alternativa, combinação, alocação ou regra de decisão visando à proteção ambiental	TOPSIS
Riesgo & Gómez-Limón (2006)	Analisar várias combinações de políticas para a agricultura e irrigação (alternativas de cobranças pela água)	AHP
Castro (2013)	Escolha da melhor política pública de incentivo à redução da informalidade no Polo de Confecção do Agreste Pernambucano	AHP
Malta et al. (2017)	Identificar, caracterizar e analisar populações em situação de vulnerabilidade socioambiental no município do Rio de Janeiro	AHP e SIG
Defechereux et al. (2012)	Comparar os valores dos responsáveis pelas políticas de saúde na Noruega	Discrete choice survey
Alipour et al. (2018)	Avaliar políticas energéticas de longo prazo sob incerteza no Irã	IFAHP e CBD

4.3. Definição das dimensões e critérios

A adequada avaliação de alternativas de políticas públicas deve levar em consideração todas as dimensões e critérios relevantes à decisão. Segundo Martins (2017), alguns cuidados devem ser observados na definição dos critérios e subcritérios para garantir que todas as dimensões e fatores envolvidos estejam representados de modo apropriado. Por outro lado, no que diz respeito à energia sustentável, Wang *et al.* (2009) afirmam que aumentar a quantidade de critérios não torna a tomada de decisão necessariamente mais útil e que a adoção de menos critérios é benéfica. Portanto, os critérios selecionados devem ser relevantes, mas sem repetitividade.

Liu *et al.* (2012) apontam para a importância de que os critérios levem em consideração as percepções dos formuladores de políticas (tanto dos governos

quanto das comunidades) e que esses critérios possam ser tratados de forma individual e interdependente (critério a critério e um critério em relação ao outro).

Rivera-Lirio e Muñoz-Torres (2010), ao avaliarem os subsídios para a indústria europeia por meio de métodos multicritérios, chamaram a atenção para que o desenvolvimento sustentável seja considerado na definição de políticas públicas, de forma a criar um ambiente favorável ao desenvolvimento de práticas socialmente responsáveis.

De maneira similar, Georgopoulou *et al.* (1997), avaliaram opções de fontes renováveis para uma ilha grega e apontaram que o planejamento energético é um problema multicritério e que de múltiplos personagens, levando a pontos de vista conflitantes. Por essa razão, os tomadores de decisão devem propor soluções que minimizem os impactos negativos sobre as dimensões ambientais, sociais e econômicas.

Alipour, *et al.* (2018), ao avaliar políticas energéticas de longo prazo, sugerem que sejam consideradas as dimensões política, econômica, social, tecnológica, legal e ambiental, além de critérios que avaliem a robustez das alternativas. Trata-se, portanto, de um problema multidimensional, com muitos critérios qualitativos de difícil previsão e elevada incerteza. Nessas circunstâncias, os especialistas podem não dispor de conhecimento suficiente ou hesitar em escolher determinadas alternativas.

O Quadro 4 apresenta o mapeamento dos critérios adotados nos estudos selecionados, sendo os mais frequentes: econômico, social, robustez, político, técnico e ambiental.

Quadro 4 – Critérios adotados em trabalhos relevantes na literatura

Autores	Dimensões / critérios
Liu et al. (2012)	Recursos turísticos, Ambiente industrial, Ambiente socioeconômico, Segurança
Melo et al. (2013)	Experiência prévia, Impactos demonstrados, Facilidade de implementação, Potencial de transformação do mercado, Custo para a sociedade, Custo para o consumidor, Compatibilidade com os objetivos estratégicos do governo
Nagel & Nagel (1989)	Aumento de benefícios de decisões corretas, Redução de custos de decisões corretas, Aumento de custos de decisões erradas, Redução de benefícios de decisões erradas, Aumento da probabilidade de benefícios e custos
Riesgo & Gómez-Limón (2006)	Econômico, Social, Ambiental
Castro (2013)	Expansão do Microcrédito, Redução de Impostos, Aumento da Fiscalização
Malta et al. (2017)	Socioeconômica, Infraestrutura, Ambiental, Saúde e Segurança
Defechereux et al. (2012)	Custo-efetividade, Benefícios individuais, Severidade, Grupo-alvo, Propensão ao subsídio, Número de beneficiários
Alipour et al. (2018)	Político, Econômico, Social, Legal, Ambiental, Tecnológico, Robustez
Martins (2017)	Técnico, Ambiental, Econômico, Social, Político
Wimmler et al. (2015)	Técnico, Econômico, Ambiental, Social

A revisão da literatura revela que as avaliações de políticas públicas baseiam-se principalmente nos aspectos econômico, social, robustez, político, técnico e ambiental, conforme apresentado no Quadro 4. No que diz respeito aos sistemas isolados, considera-se relevante a confiabilidade do suprimento a sustentabilidade da geração por meio de fontes mais limpas.

De forma a delimitar as dimensões e os critérios do modelo para avaliação de políticas públicas com vistas à inserção de fontes renováveis em Sistemas Isolados, analisou-se os diversos critérios adotados nos trabalhos de referência, possibilitando a definição dos adotados na presente avaliação, tendo sido adotadas seis dimensões e 18 critérios, agrupados conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Dimensões e critérios propostos com base na literatura

Dimensões	Crítérios
Econômica	Potencial de transformação do mercado
	Custo para sociedade
	Aumento de subsídios/encargos
	Arrecadação de impostos
Social	Aceitação social
	Acesso à energia elétrica
	Desenvolvimento local
Robustez	Experiência prévia
	Dificuldade de implementação
	“Possibilidade/Facilidade” de monitorar e avaliar as políticas
	Impactos previstos
Política	Alinhamento com os acordos internacionais
	Alinhamento às políticas nacionais
	Riscos políticos
	Governança pública e sustentabilidade do setor
	Dependência externa
Técnica	Confiabilidade do fornecimento de energia
Ambiental	Impacto ambiental

As definições adotadas para cada dimensão, descritas a seguir, foram informadas aos especialistas consultados.

- Econômica: impactos econômicos, diretos e indiretos que a adoção de determinada política pública pode causar à sociedade.
- Social: contribuição das políticas públicas no desenvolvimento social, ou seja, o quanto a sociedade, sobretudo a local, se beneficia.
- Robustez: aplicabilidade e razoabilidade da política e possibilidade de mensuração de seus efeitos, de forma a garantir os resultados desejados.
- Política: alinhamento da proposta com o cenário político global e setorial. Inclui o nível de exposição às influências políticas que possam distorcê-la ou prejudicar sua aplicação.

- Técnica: dado que as políticas públicas propostas deve levar à adoção de novas tecnologias, avalia-se o impacto dessa mudança no fornecimento de energia elétrica.
- Ambiental: interações de cada alternativa com o meio ambiente e os principais impactos decorrentes de sua adoção.

5. Modelo AHP-fuzzy-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas

Este modelo foi desenvolvido a partir do proposto por Martins (2017), de avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, com base em um modelo fuzzy AHP-TOPSIS, e também foram adotados alguns conceitos apresentados por Liu et al. (2012), que desenvolveram um modelo para avaliação de políticas públicas visando aumentar o turismo em Taiwan.

Trata-se, portanto, de um modelo conceitual genérico para seleção de políticas públicas, ou seja, não somente aquelas que visem à inserção de fontes renováveis em sistemas isolados, o que será objeto de aplicação do modelo no capítulo seguinte, a partir dos métodos aqui apresentados e dos critérios discutido na seção 4.3.

Na primeira fase (AHP) são estabelecidos os pesos para as dimensões e critérios para a avaliação de políticas públicas, enquanto na segunda fase (*fuzzy* TOPSIS) essas políticas são hierarquizadas, em função de sua contribuição para a inserção de fontes renováveis em sistemas isolados.

A teoria de conjuntos *fuzzy* e a lógica *fuzzy* fornecem um ferramental matemático para lidar com os problemas em que há imprecisão e a ausência de critérios bem definidos. Segundo Martins (2017), um conjunto *fuzzy* F atribui a cada elemento do universo um valor entre 0 e 1, que representa o grau de pertinência de

um conceito impreciso ao conjunto *fuzzy*. Este valor de pertinência é definido pela equação 5.1.

$$F = \{(x, \mu(x)) / x \in U\} \quad 5.1$$

Segundo Souza (2010), os números *fuzzy* mais comuns são os triangulares, gaussianos e trapezoidais. No presente modelo o número *fuzzy* triangular, como mostrado na Figura 6, foi adotado como variável de quantificação e operações aritméticas, tendo a seguinte função de pertinência:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \cdot & \cdot \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \cdot & \cdot \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \cdot & \cdot \\ 0, & x \geq a_3 \end{cases} \quad 5.2$$

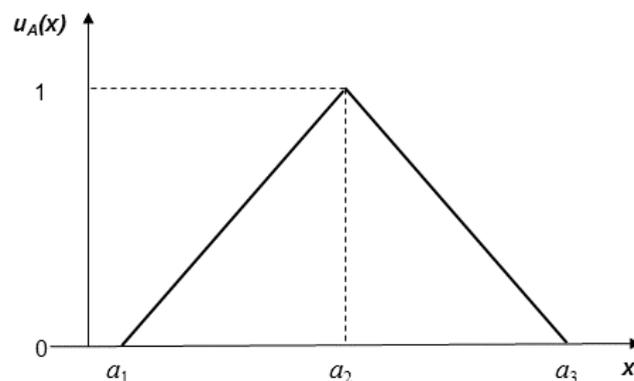


Figura 6 – Número fuzzy triangular A=[a1, a2, a3]
Fonte: Martins (2017)

Na figura acima, o eixo x contém os parâmetros que definem o triângulo (a1, a2, a3) e o eixo y representa o grau de pertinência para cada valor de x.

O número *fuzzy* triangular foi escolhido por representar de modo adequado os dados utilizados neste trabalho, assim como feito por Rivera-Lirio e Muñoz-Torres (2010), Perera, *et al.* (2013), Martins (2017), Trindade (2017) e Alipour, *et al.* (2018).

5.1 Visão geral do modelo

A Figura 7, a seguir, mostra a representação gráfica do modelo de avaliação e seleção de políticas públicas, dividido em duas fases. A primeira, AHP, possui quatro etapas e visa definir pesos para cada dimensão e critério. A segunda fase – *fuzzy-TOPSIS* – visa a ordenação das alternativas.

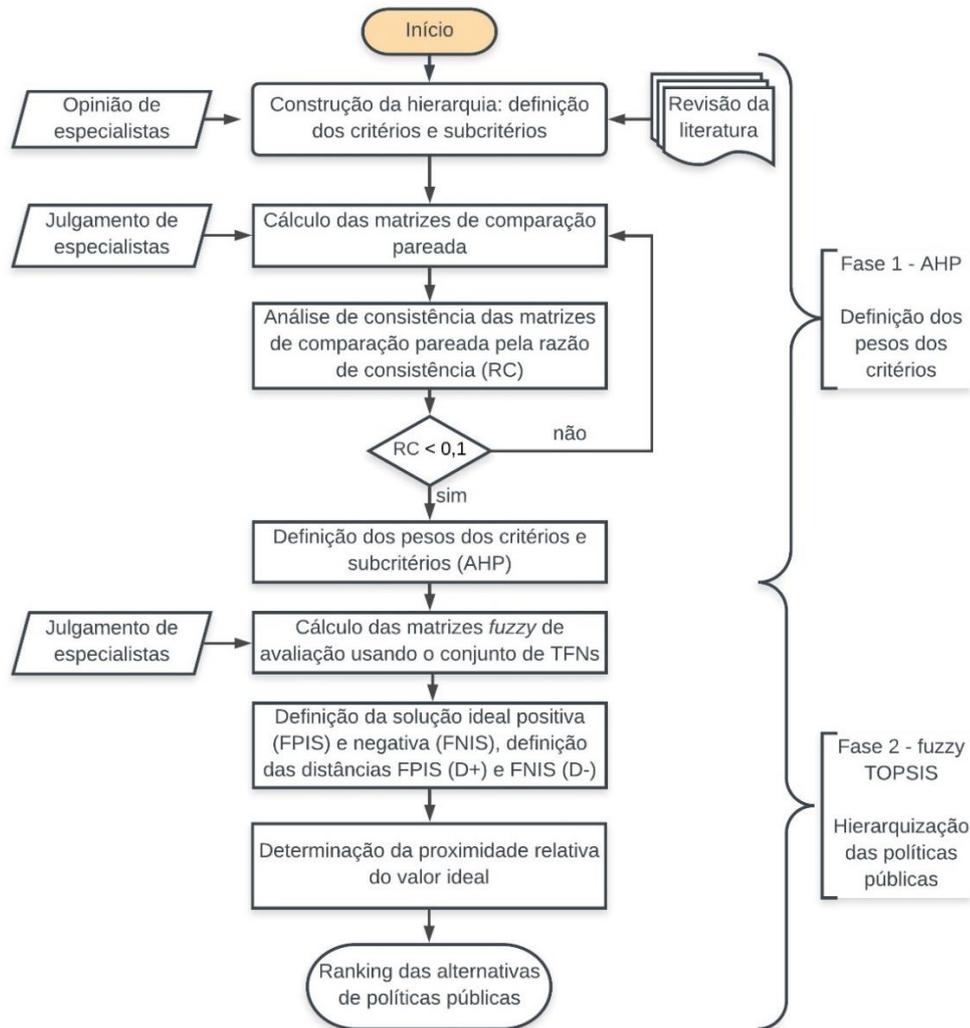


Figura 7 – Modelo AHP-fuzzy-TOPSIS para avaliação e seleção de políticas públicas

5.2 Descrição da fase I – AHP

Desenvolvido por Thomas L. Saaty na década de 1970, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), é um dos métodos de apoio à decisão mais disseminado, podendo ser aplicado tanto para decisões simples quanto em problemas complexos,

em diferentes áreas para solucionar problemas relacionados à seleção e avaliação subjetiva de alternativas.

O fundamento do método AHP é a decomposição e a síntese das relações entre critérios. Dessa forma, é possível chegar a uma priorização que estará mais próxima da melhor resposta de medição única (Saaty, 1977; 1990; 1991; 2000). Resumidamente, a ideia central da teoria é o estudo de sistemas a partir de uma sequência de comparações aos pares, transformando um problema maior em avaliações mais simples e de menor importância, ou seja, o problema complexo é dividido em outros menores e, quando eles forem solucionados um a um e posteriormente somados, devem representar a decisão a ser tomada para a resolução do problema inicial.

De acordo com Saaty (1991), a comparações por pares é a forma mais racional para realizar os julgamentos, já que dessa forma captura-se tanto as medidas objetivas quanto as subjetivas, indicando a intensidade de domínio de um dada alternativa em relação a outra, bem como permite a avaliação de aspectos quantitativos e qualitativos do problema, minimizando as falhas nas tomadas de decisões.

Há que se considerar, no entanto, que estudos na área da economia comportamental mostram que frequentemente são observados vieses sistemáticos no julgamento de decisões, levando a preferências intuitivas que violam consistentemente as regras da escolha racional. De maneira geral, as pessoas se apoiam em um número limitado de princípios heurísticos que reduzem as tarefas complexas de avaliar probabilidades e prever valores a operações mais simples de juízo (Kahneman, 2012).

A Figura 8 ilustra os elementos hierárquicos da resolução de problemas de decisão por meio do AHP.

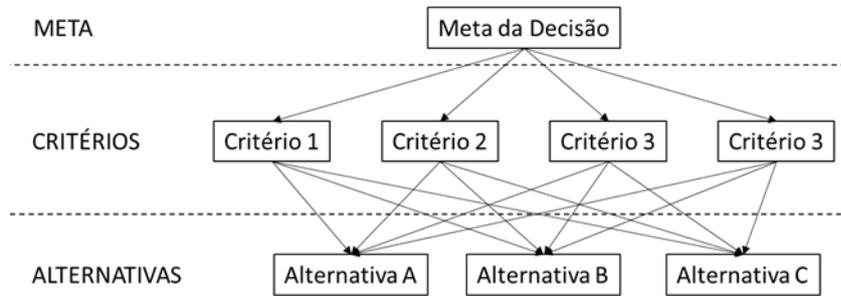


Figura 8 – Exemplo de estrutura hierárquica de problemas de decisão (em três níveis)
Fonte: Saaty (1991)

Cabe ressaltar que no modelo aqui proposto a etapa de escolha das alternativas está baseada na teoria *fuzzy-TOPSIS*, sendo abordada na seção seguinte.

Para avaliar o nível de importância de cada critério e subcritério nas comparações pareadas, Saaty (1991) definiu uma escala, de 1 a 9, mostrada no Quadro 6, que busca capturar os a subjetividade dos julgamentos dos especialistas. Assim, no julgamento por comparação pareada, os especialistas devem indicar, por meio desta escala, qual dos dois elementos é o mais importante e com qual intensidade ele é mais importante, à luz do objetivo pretendido.

Ao critério mais importante atribui-se um valor inteiro e ao menos importante o valor inverso, obtendo-se uma matriz quadrada, recíproca e positiva, como mostra a Figura 9.

Quadro 6 – Escala de Saaty

Nível de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro
5	Importância grande ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro
7	Importância muito grande ou demonstrada	Um atributo é muito fortemente favorecido em relação ao outro; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza
2,4,6,8	Valores intermediários entre os valores adjacentes.	Quando se procura uma condição de compromisso entre as duas definições

Fonte: Saaty (1991)

Matriz A

	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Figura 9 – Exemplo didático de matriz de julgamentos AHP

Fonte: Saaty (1991)

No exemplo da matriz da Figura 9, o critério A é preferível ao critério C, sendo atribuídos ao primeiro o grau de importância 6 sobre o segundo. Logo, C em relação a A recebe o valor inverso, 1/6, nessa comparação pareada. A partir desta matriz obtém-se o vetor de prioridades, ou pesos, a partir do cálculo do autovetor normalizado do máximo autovalor.

Em seguida, faz-se a análise de consistência das matrizes de comparação pareadas, por meio da razão consistência (RC), para se medir o quanto os julgamentos foram consistentes em relação a grandes amostras de juízos aleatórios. A Razão de Consistência (RC) é uma medida para avaliar a probabilidade dos

julgamentos terem sido realizados puramente ao acaso. Por exemplo, um $RC = 0,3$ diz que há 30% de chance do especialista responder as perguntas aleatoriamente (Mello, 2015).

Para calcular a RC é necessário, primeiramente, obter λ_{max} , que representa o maior autovalor da matriz A, obtido a partir da equação 5.3.

$$Aw = \lambda_{max}w \quad 5.3$$

Onde:

A é a matriz de prioridades; e

w é o vetor de prioridades.

Após calcular λ_{max} , deve-se obter o Índice de Consistência (IC), conforme equação 5.4. em que “n” é o número de critérios ou alternativas.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad 5.4$$

Em seguida, determina-se o Índice Randômico (IR), que é um valor tabelado de consistência aleatória, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Índice de consistência aleatória (IR)

Tamanho n	1	2	3	4	5	6	7	8
IR	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40

Fonte: Martins (2017)

Por fim, calcula-se a Razão de Consistência (RC), dada por:

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad 5.5$$

Segundo Saaty (1991), a inconsistência é um fato inerente ao ser humano e, portanto, deve existir uma tolerância para a sua aceitação, sendo proposta a aceitação de julgamentos que gerem uma inconsistência com $RC < 0,1$.

Finalmente, tendo sido obtidos valores de Razão de Consistência aceitáveis, deve-se calcular os pesos relativos de cada dimensão e critério, por meio da multiplicação das matrizes de prioridades, conforme equação 5.6.

$$F(a) = \sum_{j=1}^n w_j v_j(a) \quad 5.6$$

Onde:

$F(a)$ é o valor final de alternativa a ;

w_j é o peso do j -ésimo critério;

v_j é o desempenho da alternativa em relação ao j -ésimo critério.

5.3 Descrição da fase II – *Fuzzy* TOPSIS

A partir dos pesos calculados na Fase I, pode-se iniciar a Fase II – *fuzzy* TOPSIS, na qual os valores de cada dimensão e critério são fornecidos pelos especialistas, no processo de avaliação de cada política pública. Propõe-se que a método *fuzzy* TOPSIS seja utilizado, em função da incerteza inerente ao ambiente de decisão, conforme descrição de Chen (2000). Para esta classificação vaga e subjetiva, é comumente usada a escala Likert de cinco pontos, mostrada na Tabela 3, na qual cada ponto representa um nível de maturidade, e conseqüentemente, cada nível recebe um valor numérico triangular *fuzzy*, como proposto por Martins (2017), cuja dissertação serviu de base para o equacionamento do método híbrido *fuzzy* TOPSIS aqui utilizado.

Tabela 3 – Termos linguísticos e respectivos valores numéricos para os critérios qualitativos

Descrição	Grau de aplicação da política pública
Muito baixa (MB)	1
Baixa (B)	2
Média (M)	3
Alta (A)	4
Muito alta (MA)	5
Não aplicável (NA)	-

A exemplo da aplicação do método AHP, para definição dos pesos dos critérios de decisão, o emprego do método *fuzzy* TOPSIS também requer a participação de

especialistas (decisores) para julgar o grau de atendimento de cada indicador aos critérios de decisão previamente ponderados pelo método AHP.

A literatura não define uma quantidade mínima de especialistas a serem consultados, sendo desejável o maior número possível, de forma a se obter avaliações mais robustas. Deve-se, porém, concentrar as consultas naqueles que realmente entendam do assunto estudado e que tenham disponibilidade de responder à consulta adequadamente, para não comprometer a qualidade dos julgamentos.

Registradas as notas atribuída pelos especialistas, converte-se os valores para números triangulares *fuzzy*, como mostra o Quadro 7, proposto de Chen (2000), porém com escala *fuzzy* triangular.

Quadro 7 – Termos linguísticos e correspondentes números *fuzzy* triangulares para avaliação quantitativa dos indicadores

Grau de atendimento ao critério	Termo linguístico	Escala <i>fuzzy</i> triangular
1	Muito baixa (MB)	(1, 1, 1)
2	Baixa (B)	(1, 2, 3)
3	Média (M)	(1, 3, 2)
4	Alta (A)	(2, 4, 3)
5	Muito alta (MA)	(5, 5, 5)

Fonte: Adaptação de Chen (2000).

Aos termos linguísticos fornecidos pelos especialistas (DM_r), agregam-se números *fuzzy* triangulares, conforme escala apresentada no Quadro 6.

A equação 5.7 deve ser usada para agregar as pontuações atribuídas às alternativas (A_i). Nesta equação, \check{X}_{ij} refere-se ao grau de atendimento ao critério C_j ($j = 1, \dots, m$), atribuído à alternativa A_i ($i = 1, \dots, n$), avaliado pelo decisor DM_r ($r = 1, \dots, k$).

As avaliações dos pesos dos critérios são agregadas usando a equação 5.8, na qual \tilde{W}_j corresponde ao peso do critério, dado por DM_r .

$$\tilde{X}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^r + \dots + \tilde{x}_{ij}^k] \quad 5.7$$

$$\tilde{w}_{ij} = \frac{1}{K} [\tilde{w}_j^1 + \tilde{w}_j^2 + \dots + \tilde{w}_j^k] \quad 5.8$$

A partir dos termos linguísticos e respectivos valores *fuzzy*, a matriz de decisão *fuzzy* \tilde{D} é construída, conforme equação 5.9.

$$\tilde{D} = \begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_j & \dots & C_m \\ \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1j} & \dots & \tilde{x}_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{i1} & \tilde{x}_{i2} & \dots & \tilde{x}_{ij} & \dots & \tilde{x}_{im} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{x}_{n1} & \tilde{x}_{n2} & \dots & \tilde{x}_{nj} & \dots & \tilde{x}_{nm} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad 5.9$$

Onde A_n são as alternativas e x_{mn} são os valores apontados pelos especialistas.

Em seguida, a matriz \tilde{D} deve ser normalizada, utilizando-se uma escala de transformação linear. A matriz normalizada \tilde{R} é dada pela equação 5.10, sendo \tilde{r}_{ij} obtido por meio das equações 5.11 ou 5.12 (correspondentes aos casos de critérios de benefício ou de custo).

$$\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \quad 5.10$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right) \quad 5.11$$

sendo $u_j^+ = \max_i u_{ij}$ (critérios de benefício)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}} \right) \quad 5.12$$

sendo $l_j^+ = \min_i l_{ij}$ (critérios de custo)

Para a obtenção da matriz normalizada e ponderada \tilde{V} , utiliza-se a equação 5.13, por meio da multiplicação dos pesos \tilde{w}_j pelos elementos \tilde{r}_{ij} da matriz normalizada, de acordo com a equação 5.14.

$$\tilde{V} = [\tilde{v}_{ij}]_{m \times n} \quad 5.13$$

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} * \tilde{w}_j \quad 5.14$$

O próximo passo da aplicação do método *fuzzy* TOPSIS é calcular a solução ideal positiva *fuzzy* (*Fuzzy Positive Ideal Solution*, FPIS, A^+) e a solução ideal negativa (*Fuzzy Negative Ideal Solution*, FNIS, A^-), conforme as equações 5.15 e 5.16, nas quais $\tilde{v}_j^+ = (1, 1, 1)$ e $\tilde{v}_j^- = (0, 0, 0)$.

$$A^+ = \{\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_j^+, \dots, \tilde{v}_m^+\} \quad 5.15$$

$$A^- = \{\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_j^-, \dots, \tilde{v}_m^-\} \quad 5.16$$

Para o cálculo da distância D_i^+ entre os valores de FPIS e as pontuações das alternativas da matriz \tilde{V} , deve-se usar a equação 5.17. Analogamente, o cálculo da distância D_i^- entre os valores FNIS e as pontuações das alternativas deve ser realizado conforme equação 13.

Nas equações 5.17 e 5.18, $d(\tilde{x}, \tilde{z})$ representa a distância entre dois números *fuzzy*, que pode ser obtida utilizando-se a equação 5.19 (para o caso de números *fuzzy* triangulares).

$$D_i^+ = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+) \quad 5.17$$

$$D_i^- = \sum_{j=1}^n d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad 5.18$$

$$d(\tilde{x}, \tilde{z}) = \sqrt{\frac{1}{3}[(l_x - l_z)^2 + (m_x - m_z)^2 + (u_x - u_z)^2]} \quad 5.19$$

Para cada um dos indicadores avaliados, deve-se calcular o coeficiente de aproximação CC_i com a FPSIS e a FNIS, de acordo com a equação 5.20

$$CC_i = \frac{D_i^-}{(D_i^+ + D_i^-)} \quad 5.20$$

Finalmente, obtém-se a hierarquização das alternativas para cada um dos critérios do modelo, pela ordem decrescente dos valores de CC_i . Quanto mais próximo de 1,0 for este valor, melhor é o grau de atendimento do indicador aos critérios de decisão.

6. Aplicação do modelo para seleção de políticas públicas nos Sistemas Isolados brasileiros

Este capítulo visa demonstrar a aplicabilidade do modelo proposto em um caso específico: seleção de políticas públicas nos sistemas isolados brasileiros, visando a inserção de fontes renováveis, de forma a validação do modelo conceitual apresentado no capítulo 5. Para tanto, descreve-se a coleta de dados, realizada por meio de questionário submetido a especialistas, a análise e formatação destes dados em cada etapa do modelo e, por fim, discutem-se os resultados encontrados.

6.1 Coleta dos dados

A coleta de dados se deu por meio de consulta aos especialistas no setor de energia elétrica, de diferentes instituições (academia, empresas privadas e instituições públicas), tendo sido feita em duas etapas, sendo a primeira para definir os pesos das dimensões e critérios adotados; e a segunda com o objetivo de definir os atributos de cada uma das seis alternativas de políticas públicas, considerando as 6 dimensões e os 18 critérios discutidos na seção 4.3.

A primeira etapa – definição dos pesos das dimensões e critérios – foi realizada inicialmente pelo autor e, em seguida, discutida em reunião com dois especialistas, oportunidade em que os pesos atribuídos no primeiro momento foram revistos.

O Quadro 8 apresenta a estrutura hierárquica adotada nas duas etapas, evidenciando as dimensões e critérios discutidos nesta etapa do trabalho.

Para a definição dos atributos das dimensões, na segunda etapa, elaborou-se e aplicou-se um questionário, submetido a dezenove especialistas, dos quais dez responderam a consulta, avaliando as seis políticas públicas sugeridas à luz dos 18 critérios apresentados no Quadro 8.

No questionário, utilizou-se uma escala *Likert* de cinco pontos, visando obter a opinião dos especialistas quanto ao grau de uso ou aplicação de cada dimensão em relação a cada um dos critérios, tendo sido considerados os níveis: muito baixo; baixo; moderado; alto; muito alto. Foi dada ainda a opção “não aplicável” (NA), caso o especialista consultado entendesse que a política avaliada não se aplica a determinado critério ou que não guarda relação com o mesmo.

Quadro 8 - Estrutura hierárquica do instrumento de pesquisa

Dimensões	Crítérios
Econômica	E ₁ Potencial de transformação do mercado
	E ₂ Custo para sociedade
	E ₃ Aumento de subsídios/encargos
	E ₄ Arrecadação de impostos
Social	S ₁ Aceitação social
	S ₂ Acesso à energia elétrica
	S ₃ Desenvolvimento local
Robustez	R ₁ Experiência prévia
	R ₂ Dificuldade de implementação
	R ₃ "Possibilidade/Facilidade" de monitorar e avaliar as políticas
	R ₄ Impactos previstos
Política	P ₁ Alinhamento com os acordos internacionais
	P ₂ Alinhamento às políticas nacionais
	P ₃ Riscos políticos
	P ₄ Governança pública e sustentabilidade do setor
	P ₅ Dependência externa
Técnica	T ₁ Confiabilidade do fornecimento de energia
Ambiental	A ₁ Impacto ambiental

6.2 Formatação, análise e resultados

Os resultados da etapa de coleta (primeira e segunda etapas) deram origem a uma série de dados a respeito das políticas públicas visando a inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros, a serem hierarquizadas com a aplicação do modelo proposto no capítulo 5.

A partir desses dados, procedeu-se a uma análise preliminar dos julgamentos dos especialistas, considerando-se as razões de consistência resultantes das comparações pareadas dos critérios (primeira etapa) e, no caso da segunda etapa, foram analisadas a frequência e a dispersão das notas atribuídas pelos especialistas a cada política considerando cada critério. Dessa forma, foi possível compor os indicadores dos pesos das dimensões avaliadas. Na sequência, os resultados desta análise preliminar foram formatados para aplicação propriamente dita do modelo em duas fases.

6.2.1 Fase I – AHP: definição de pesos dos critérios

Como descrito na seção 5.2, inicialmente é necessário atribuir pesos aos critérios previamente estabelecidos. Para tanto, fez-se a comparação pareada entre as dimensões e entre os critérios de uma mesma dimensão. Os critérios referem-se às seis dimensões adotadas, conforme a estrutura hierárquica apresentada na Figura 10.

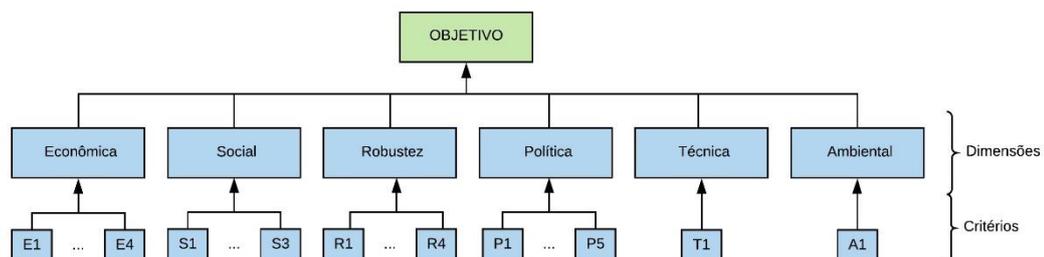


Figura 10 - Estrutura hierárquica do modelo

O Quadro 9 e o Quadro 10 mostram os resultados da comparação pareada, entre dimensões e entre critérios, respectivamente, já considerando a opinião dos especialistas consultados.

Quadro 9 - Julgamento relativo de grau de importância entre dimensões

Preferência			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Econômica	X	Social			X						
Econômica		Robustez	X		X						
Econômica		Política	X	X							
Econômica	X	Técnica		X							
Econômica	X	Ambiental				X					
Social		Robustez	X			X					
Social		Política	X		X						
Social		Técnica	X		X						
Social		Ambiental	X	X							
Robustez	X	Política			X						
Robustez	X	Técnica			X						
Robustez	X	Ambiental			X						
Política		Técnica	X	X							
Política	X	Ambiental		X							
Técnica	X	Ambiental			X						

Percebe-se no Quadro 9 e no Quadro 10 que nenhuma comparação pareada resultou em grau de importância maior que 5, o que equivaleria a uma importância muito grande ou absoluta. Dessa forma, percebe-se certa equivalência de importâncias, dificultando a comparação e requerendo o uso de ferramentas adequadas para a avaliação.

Após o registro das comparações pareadas, verifica-se a coerência dos julgamentos dos especialistas, por meio da Razão de Consistência (RC), permitindo verificar se as matrizes são consistentes. Para tanto, foi utilizado o software IPÊ 1.0, desenvolvido pela Universidade Federal Fluminense (UFF), com o objetivo de implementar o algoritmo do AHP. O uso desse software facilitou a análise, dado que em um primeiro momento algumas matrizes de comparação não se mostraram consistentes ($RC > 0,10$), levando à reavaliação dos julgamentos pelos especialistas, de modo rápido. A Tabela 4 mostra a as razões de consistência encontradas, todas com $RC \leq 0,1$. Destaca-se que as dimensões Técnica e Ambiental têm apenas um critério cada, e por isso, não se calcula o RC das mesmas.

Tabela 4 - Razão de consistência das matrizes de dimensões e critérios

Dimensões	Razão de Consistência (RC)
Econômica	0,092
Social	0,082
Robustez	0,109
Política	0,033
Técnica	-
Ambiental	-

No passo seguinte, após o cálculo das razões de consistência, são obtidos os pesos das dimensões e critérios pelo método AHP, calculados pelo método descrito na seção 5.2 e apresentados na Tabela 5. Os pesos finais, resultantes da

multiplicação dos pesos dos critérios pelos pesos das respectivas dimensões serão utilizados na fase *fuzzy-TOPSIS* hierarquizar as alternativas de políticas públicas.

Tabela 5 - Pesos das dimensões e critérios calculados pelo método AHP

Dimensão	Peso dimensão	Critério	Peso Critério	Peso Final
Econômica	0,173	E ₁	0,089	0,02
		E ₂	0,125	0,02
		E ₃	0,376	0,07
		E ₄	0,41	0,07
Social	0,065	S ₁	0,192	0,01
		S ₂	0,131	0,01
		S ₃	0,677	0,04
Robustez	0,339	R ₁	0,461	0,16
		R ₂	0,191	0,06
		R ₃	0,126	0,04
		R ₄	0,222	0,08
Política	0,148	P ₁	0,114	0,02
		P ₂	0,114	0,02
		P ₃	0,406	0,06
		P ₄	0,287	0,04
		P ₅	0,079	0,01
Técnica	0,187	T ₁	1	0,19
Ambiental	0,088	A ₁	1	0,09

Entre as dimensões, a de maior peso foi a “Robustez”, o que mostra a importância atribuída pelos especialistas aos fatores como razoabilidade da política pública, experiência prévia e dificuldade de implementação, de forma a garantir o sucesso da inserção de fontes renováveis nos sistemas isolados de maneira sustentável. Dentre os critérios desta dimensão, o R₁ (“Experiência prévia”) destaca-se pelo elevado grau de preferência pelos especialistas consultados.

A dimensão com segundo maior peso foi a Técnica, seguida pela Econômica, com valores próximos, mostrando a importância de que as políticas avaliadas não representem custos adicionais à sociedade e não prejudiquem o fornecimento de energia elétrica aos sistemas isolados. Na dimensão Econômica, chama a atenção o peso do critério E₃ (“Aumento de subsídios/encargos”), resultado dos elevados

subsídios atuais na geração nos sistemas isolados, o que se mostra um ponto sensível na avaliação das políticas propostas.

O quarto maior peso foi atribuído à dimensão Política, com destaque para o critério P₃ (“Riscos políticos”), demonstrando a preocupação dos especialistas com o nível de exposição das políticas às influências e/ou ingerências externas (como sanções regionais, interferências individuais ou de grupos econômicos/empresarias que detenham poder político, a exemplo das poucas e tradicionais empresas de locação de máquinas a diesel, que dominam o mercado da região Norte) que possam prejudicar a sua efetividade.

Por fim, as dimensões Ambiental e Social tiveram os menores pesos, se mostrando menos relevantes no julgamento. Há que se mencionar, no entanto, que o critério S₃ (“Desenvolvimento local”) teve elevado peso dentre os de mesma dimensão.

Com relação aos pesos finais, destacam-se os critérios T₁ (“Confiabilidade do fornecimento de energia”) e R₁ (“Experiência prévia”), mostrando uma preocupação dos julgadores quanto aos riscos associados à adoção de novas tecnologias de geração pouco confiáveis e quanto ao registro de ações ou políticas públicas já experimentadas.

6.2.2 Fase II – Fuzzy TOPSIS: hierarquização das políticas públicas

Tendo sido obtidos os pesos, foi possível passar à segunda fase, *fuzzy*-TOPSIS. Esses pesos serão multiplicados pelos elementos da matriz de decisão *fuzzy*, elaborada a partir dos valores apontados pelos especialistas nesta segunda fase.

Para tanto, as respostas dos dez especialistas consultados foram consolidadas, contabilizando a quantidade de votos para cada opção, utilizando a

escala *Crisp* apresentada na Tabela 3 da seção 5.3, que correspondente ao grau de importância de cada uma das políticas públicas avaliadas (apresentadas no capítulo 0), à luz de determinado critério, conforme exemplo mostrado na Tabela 6.

Tabela 6 - Exemplo de consolidação das respostas dos especialistas

S ₃ Desenvolvimento local						
Política Pública	Muito baixa (1)	Baixa (2)	Moderada (3)	Alta (4)	Muito alta (5)	NA
Híbridas	0	1	3	3	3	0
Risco gerador	1	3	2	2	0	2
Planejamento determinativo	0	1	1	6	2	0
Teto para subsídios	1	0	5	3	0	1
ICMS	1	2	5	1	0	1
Licença	1	1	2	3	1	2

No exemplo acima, os 10 (dez) especialistas julgaram as seis políticas à luz do critério S₃ (“Desenvolvimento local”). Um especialista entendeu que a implantação da política de projetos-piloto de usinas híbridas (“híbridas”) tem baixa importância (grau 2) para o desenvolvimento local. Três entrevistados julgaram que essa importância seria alta (grau 4) e outros três entenderam que a importância é muito alta (grau 5). Já a adoção de alíquota única de ICMS, quando julgada pelo mesmo critério, foi considerada de muito baixa importância (grau 1) por um especialista, moderada (grau 3) por cinco deles e alta (grau 4) por outro.

Nesse exemplo, para cada política pública, os campos marcados de amarelo correspondem aos de maior frequência, ou seja, que mais votos tiveram, sendo considerados no modelo. Os campos de cor laranja representam os menores e maiores valores registrados na escala Likert adotada. Para cada critério avaliado foi elaborado um quadro como o da Tabela 6.

A ordenação dos graus de importância foi ajustada para cada critério de forma a sempre representar uma ordem de benefício. No exemplo acima, o grau 1 significa pouca contribuição, enquanto o grau 5 representa elevado benefício. Nesse caso,

três especialistas julgaram como elevada a contribuição de usinas híbridas para o desenvolvimento local. Porém, para outros critérios foi necessário inverter essa escala, dado que o grau muito baixo podia representar um elevado benefício (ou baixo custo), ao contrário do exemplo anterior.

Para definir os parâmetros a_1 , a_2 e a_3 do número *fuzzy* triangular, mostrado na Figura 6, adotou-se com valor de a_1 aquele com menor importância, a_2 o mais frequente e a_3 o de maior importância. Ainda com base no exemplo da Tabela 6, no caso da política “híbridas”, o valor de a_1 seria igual a 2 (correspondente à importância baixa), a_2 igual a 4 (alta importância, com mais votos) e a_3 igual a 5 (muito alta, com 3 votos).

A partir dessa definição foram formados os números *fuzzy* triangulares para cada alternativa/critério, resultando na matriz de decisão *fuzzy* (\tilde{D}), que foi normalizada, utilizando-se uma escala de transformação linear (equações 5.11 e 5.12) e, em sequência, ponderada pelos pesos (Tabela 5) de acordo com a equação 5.14.

O passo seguinte consiste no cálculo da distância para FPIS (D^+) e para FNIS (D^-) para determinação da solução ideal *fuzzy* positiva e negativa (FPIS e FNIS), seguindo os cálculos apresentados na seção 5.3. Foram calculadas as distâncias entre os valores padronizados e calibrados *fuzzy* e as soluções ideal *fuzzy* positiva e negativa, que correspondem, respectivamente, aos valores máximos e mínimos de cada critério. Em seguida foram geradas as matrizes de distâncias A^+ e A^- , conforme equações 5.15 e 5.16.

Por fim, determina-se a proximidade relativa do valor ideal *fuzzy*, por meio das distâncias totais positivas (D^+) e negativas (D^-). O resultado desse cálculo, denominado de coeficiente de proximidade (CC_i), é apresentado na Tabela 7 e

representa o índice de desempenho de cada política pública à luz das seis dimensões.

Tabela 7 - Matriz de distância total positiva e negativa

Políticas Públicas	Distâncias		CC _i	CC _i (%)
	D ⁺	D ⁻		
Híbridas	17,0115	1,09611	0,0605	18,4%
Risco gerador	17,1403	0,93301	0,0516	15,7%
Planejamento determinativo	17,0866	0,98065	0,0543	16,5%
Teto para subsídios	17,1624	0,91916	0,0508	15,4%
ICMS	17,1452	0,93844	0,0519	15,8%
Licença	17,0366	1,08428	0,0598	18,2%

A ordenação final das políticas públicas se dá por meio do Coeficiente de Proximidade (CC_i). A política de maior de CC_i é considerada a primeira do processo de hierarquização e, assim, sucessivamente, resultando na seguinte ordem:

- (i) Implantação de projetos-piloto de usinas híbridas (18,4%);
- (ii) Simplificação do licenciamento ambiental (18,2%);
- (iii) Planejamento determinativo (16,5%);
- (iv) Alíquota única de ICMS (15,8%);
- (v) Transferir ao gerador o risco da volatilidade do preço do diesel (15,7%); e
- (vi) Teto para subsídios (15,4%)

6.3 Discussão dos resultados

A modelagem aqui proposta foi aplicada para a seleção de políticas públicas que visam aumentar a participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica nos sistemas isolados brasileiros, de forma a reduzir o elevado consumo de óleo diesel e os respectivos impactos econômicos, ambientais e sociais nestas localidades.

Na primeira fase da aplicação do modelo, na qual foram atribuídos pesos às dimensões e aos critérios selecionados para a avaliação, observou-se uma clara

preferência pela dimensão Robustez, seguida pelas dimensões Técnica e Econômica. Os critérios considerados mais importantes, já considerando a ponderação pelos pesos das respectivas dimensões, foram Experiência prévia (R₁) e Confiabilidade do fornecimento de energia (T₁), denotando que devem ser buscados exemplos de políticas públicas similares já aplicadas em outros setores ou locais e que a mudança da matriz elétrica não deve prejudicar o suprimento ao consumidor final.

Com relação à hierarquização das políticas públicas propostas, realizada na fase II, a partir das respostas dadas por 10 (dez) especialistas, a Implantação de projetos-piloto de usinas híbridas foi a política de maior pontuação dentre as seis avaliadas para os sistemas isolados brasileiros. Estas soluções híbridas se mostram como uma alternativa de transição para matrizes mais limpas e de menor custo ao combinarem usinas a diesel com geração fotovoltaica, por exemplo. Ao passo que a geração solar contribui para redução do consumo de combustível fóssil, a manutenção dos geradores termelétricos provê confiabilidade ao suprimento de energia elétrica, dado que a contratação de sistemas híbridos pode contemplar requisitos de potência e energia ao mesmo tempo. Essa política contribui para a inserção gradual de fontes de renováveis, reduzindo também barreiras culturais e de conhecimento técnico sobre tecnologias ainda pouco exploradas nos sistemas isolados.

Percebe-se que os especialistas, ao julgarem essa política, atribuíram alta importância (valor mais frequente igual a 4 na escala de 1 a 5) a doze dos dezoito critérios. Também verifica-se uma considerável frequência de notas 5 (muito alta) a esses critérios, sobretudo na dimensão “Social”. Mesmo os critérios considerados menos relevantes (R₂ - Dificuldade de implementação e P₃ - Riscos políticos), por

terem um peso moderado, contribuíram para o elevado Coeficiente de Proximidade (*CCi*) da política de “implantação de usinas híbridas”, levando-a ao primeiro lugar no ranking geral.

A segunda política mais bem avaliada foi a Simplificação do licenciamento ambiental para projetos baseados em fontes renováveis, de forma a facilitar a substituição da geração a diesel por estas novas soluções. As dimensões consideradas como mais relevantes na avaliação dessa política foram “Social”, “Robustez” e, como era de esperar, “Ambiental”. Ao critério R_1 (Experiência prévia) foram atribuídas as maiores notas e, como este tem elevado peso, contribuiu para levar essa política ao segundo lugar, mostrando coerência dos resultados do modelo. Destaca-se que o coeficiente de proximidade desta política foi 1,2% menor que o de “usinas híbridas”, representando graus de importância muito similares.

O planejamento setorial de caráter determinativo, assim como a política de usinas híbridas, também recebeu nota alta em vários critérios, porém muitos destes possuem baixo peso, como P_1 (Alinhamento com os acordos internacionais), P_2 (Alinhamento às políticas nacionais) e E_1 (Potencial de transformação do mercado). Com isso, o “planejamento determinativo” foi apontado como terceira política pública mais importante. Os especialistas entenderam que as regras dos leilões para sistemas isolados devem prever uma penetração mínima de fontes renováveis, de forma a promover tecnologias que desloquem a geração a diesel.

A adoção de uma Alíquota única de ICMS, para fins de ressarcimento do custo de geração pela CCC teve o quarto maior coeficiente de proximidade, refletindo o julgamento dos especialistas que entendem que a Aceitação social (S_1) e Governança pública e sustentabilidade do setor (P_4) são os critérios mais relevantes na análise desta política. Porém, como esses critérios têm baixo peso, e como aos

critérios de maior peso (R_1 e T_1) foram atribuídas notas medianas, o coeficiente de proximidade da política “ICMS” resultou menor que o das anteriores.

Com um CCi ligeiramente menor (0,5%), a Transferência do risco da volatilidade do preço do diesel para o gerador, ficou em penúltima colocação. Os critérios considerados como mais relevantes para esta política (E_1 , S_1 , R_3 e R_4) têm pesos medianos ou baixos. Por outro lado, o critério T_1 (Confiabilidade do fornecimento de energia), de elevado peso, também teve nota alta, fazendo com esta política se sobressaísse em relação à última do ranking. Entende-se que a preocupação dos especialistas com esse critério se deve ao elevado risco imputado ao gerador, que em última instância, pode afetar a o suprimento de energia elétrica, como abordado na seção 3.2.

A definição de um valor Teto para subsídios, de maneira a racionalizar os dispêndios da CCC, foi considerada pelos especialistas como a política de menor impacto para inserção de renováveis nos Sistemas Isolados, isso porque embora tenha tido algumas notas altas em critérios de baixo peso, recebeu pontuação baixa ou mediana em todos os demais, inclusive naqueles de maior peso.

Portanto, fica evidenciada a coerência dos resultados obtidos do modelo com os julgamentos dos especialistas, restando validada a aplicação do modelo desenvolvido para avaliação de políticas públicas.

7. Conclusões e recomendações

Como descrito ao longo do documento, a geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados representa, ao mesmo tempo, benefícios e problemas para a população que vive ao redor das usinas. Se por um lado as cidades cresceram em torno das plantas de geração, justamente por representarem um vetor de

desenvolvimento econômico e social, por outro, essa proximidade levou a conflitos. Além disso, os impactos não são apenas locais, dadas as substanciais emissões diretas de gases de efeito estufa nessa atividade.

Nesse sentido, a utilização de fontes renováveis se mostra como potencial redutor dos impactos socioambientais da geração de energia elétrica nos Sistemas Isolados, que em sua maioria encontram-se na região amazônica e dependem de uma complexa logística de fornecimento de combustível. Os crescentes custos da geração a diesel tendem a elevar ainda mais os subsídios praticados, reforçando a importância da busca por soluções mais sustentáveis.

Dentre os desafios identificados para a maior penetração das fontes renováveis nesses sistemas, destacam-se questões tributárias, regulatórias, comerciais e culturais, para as quais foram propostas seis políticas públicas no sentido de minimizar tais barreiras, reduzir subsídios e dar maior isonomia entre diferentes tecnologias de geração.

De forma a avaliar tais políticas públicas, foi desenvolvido um modelo conceitual de apoio a decisão, baseado em métodos multicritério (AHP e TOPSIS) combinados com a teoria de conjuntos *fuzzy*, que considera a complexidade, subjetividade e incerteza inerentes à análise pretendida. Este modelo foi aplicado para avaliar e selecionar as alternativas de políticas públicas mais favoráveis à inserção de fontes renováveis, considerando as especificidades dos sistemas isolados brasileiros. As seis alternativas foram avaliadas por especialistas a partir de seis dimensões e dezoito critérios previamente definidos.

Com relação aos resultados finais alcançados, verificou-se que a política pública considerada mais relevante foi a de desenvolvimento de projetos piloto de usinas híbridas, de forma a disseminar o conhecimento sobre tecnologias ainda

pouco usuais nos sistemas isolados, mostrando a contribuição desse tipo de solução para redução do consumo de diesel, sem comprometer a confiabilidade do suprimento. Ainda que tais projetos dependam de subsídios, entende-se que a transposição de barreiras culturais, associadas à redução de custos de equipamentos fotovoltaicos contribuirão para que os projetos seguintes se tornem sustentáveis economicamente.

A proposta de simplificação do licenciamento ambiental para projetos baseados em fontes renováveis ficou em segundo lugar. A seção 3.5 demonstrou haver uma assimetria no atual processo de licenciamento ambiental das usinas dos sistemas isolados: apesar dos impactos das usinas a diesel, há mais de 200 delas operando nessas localidades, enquanto as poucas tentativas de desenvolvimento de fontes renováveis têm esbarrado em falta de conhecimento dos órgãos licenciadores, resultando em exigências por vezes desproporcionais. Deve-se atentar, porém, à localização dos sistemas isolados brasileiros, a maioria na floresta Amazônica, onde a adequada avaliação de impactos ambientais se mostra ainda mais relevante.

A terceira política pública mais bem avaliada foi o planejamento determinativo, ou seja, que as futuras contratações de geração nos sistemas isolados exijam uma participação compulsória de fontes renováveis. Assim como no primeiro caso, essa medida pode eventualmente levar a um maior custo inicial, porém com potencial benefício financeiro futuro.

A adoção de uma alíquota única de ICMS, para fins de subsídios, ficou em quarta colocação. Dado que parte do custo pago pela CCC destina-se ao recolhimento de tributos incidentes sobre o combustível utilizado nas usinas, ocorre que os estados se beneficiam da geração a diesel. Essa medida, embora possa levar a uma queda de arrecadação por alguns entes federativos, induziria à adoção

de tecnologias menos dependentes de combustíveis fósseis e à redução dos custos subsidiados pelos consumidores de energia elétrica de outras partes do país.

Ainda no que diz respeito à CCC, a penúltima política na hierarquização foi a de definição de um valor teto para subsídios, levando os agentes a buscarem tecnologias de geração com custos menos voláteis, como aquelas de custo variável nulo ou próximo de zero (por exemplo, fotovoltaica).

Com propósito similar, embora apontada pelos especialistas como menos importante, a política de transferência de risco para o gerador, também visa reduzir a exposição dos consumidores aos preços futuros do óleo diesel, que historicamente tem superado o IPCA, como mostrado na seção 3.2. Assim, a tarifa de geração seria atualizada somente por um índice de inflação, e não mais em função do preço do diesel, levando os geradores a buscarem outras fontes para mitigar os riscos relacionados à variação do preço do diesel.

Durante a avaliação pelos especialistas, alguns critérios foram apontados como mais relevantes, merecendo maior atenção quando da implementação das políticas públicas. Destaca-se a robustez e experiência prévia com a(s) medida(s), a confiabilidade técnica da solução de geração e a economicidade da proposta.

Os resultados indicam que o uso de ferramentas multicritério de apoio à decisão, como o modelo AHP *fuzzy*-TOPSIS desenvolvido neste trabalho, leva a resultados consistentes, com a capacidade de processar informações de diferentes dimensões e sob vários critérios, a partir dos julgamentos de diversos especialistas, levando em consideração a complexidade, subjetividade e incerteza inerentes ao processo decisório. Reduz-se assim o viés do resultado final, evitando que este se restrinja à opinião do autor sobre o tema.

A partir das questões discutidas e dos resultados encontrados na fase aplicada da pesquisa, entende-se que o modelo de avaliação e seleção de políticas públicas poderá auxiliar a tomada de decisão quando da formulação de política no setor de energia elétrica, além de contribuir para a maior participação de fontes renováveis nos sistemas isolados brasileiros, minimizando os atuais impactos socioambientais e o elevado custo da geração a diesel.

Para estudos futuros recomenda-se:

- Aplicar o modelo para avaliação de outras políticas públicas no setor de energia, analisando sua aplicabilidade e possíveis melhorias;
- Aplicar o questionário para o julgamento por especialistas de outros setores, e não apenas da área de energia;
- Desenvolver modelos similares utilizando outros métodos multicritérios como ELECTRE, PROMETHEE, MACBETH, etc., verificando como cada ferramenta pode impactar os resultados encontrados;
- Avaliar números *fuzzy* com outras funções de pertinência como trapezoidal e gaussiana, ao invés de triangular (TFN), utilizado na fase II (*fuzzy* TOPSIS);
- Identificar as alterações legais e infralegais necessárias para implantação de cada política pública proposta, propondo nova redação para as leis, decretos, resoluções normativas, etc.
- Monitorar e avaliar as políticas públicas quando da sua implementação e, a depender dos resultados, reavaliar os critérios utilizados no modelo aqui apresentado.

8. Referências

- Afgan, N. H., & Carvalho, M. G. (2002). Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy*(27), 739–755.
- Al Garni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., & Al-Haddad, K. (2016). A multicriteria decision making approach for evaluating renewable. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, pp. 137-150.
- Algarni, H., Kassem, A., Awasthi, A., Komljenovic, D., & Al-Haddad, K. (10 de 2016). A multicriteria decision making approach for evaluating renewable power generation sources in Saudi Arabia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 16, 137-150.
- Alipour, M., Hafezi, R., Ervural, B., Kaviani, M. A., & Kabak, Ö. (2018). Long-term policy evaluation: Application of a new robust decision framework for Iran's energy exports security. *Energy*, 157, 914-931.
- ANEEL. (05 de Junho de 2012b). *Resolução Normativa nº 493*. Brasília.
- ANEEL. (19 de 10 de 2016). *Despacho nº 2.796*. Brasília, DF.
- ANEEL. (17 de novembro de 2016a). *Edital do Leilão nº 02/2016-Aneel (2ª Etapa)*. Brasília.
- ANEEL. (19 de outubro de 2016b). *Despacho nº 2796*.
- ANEEL. (06 de julho de 2016c). *Relatório Habilitação Eletroacre - Leilão 10/2015*. Acesso em 2017
- ANEEL. (10 de outubro de 2017a). *Despacho nº 3.440*. Brasília.
- ANEEL. (14 de fevereiro de 2017b). *Despacho nº 428*. Brasília.
- ANEEL. (19 de dezembro de 2017c). *Resolução Normativa nº 801*. Brasília.
- ANEEL. (2019). *Proposta de Orçamento Anual da CDE de 2020*. Brasília.
- ANP. (2006). *Nota Técnica 016/2006 - SCM. Conta consumo de combustíveis dos sistemas isolados de geração de energia elétrica. Levantamento dos valores dos combustíveis e fretes pagos pelas empresas geradoras de energia elétrica dos sistemas isolados*. Rio de Janeiro.
- ANP. (2018a). Acesso em 15 de fevereiro de 2018, disponível em Óleo Diesel: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/petroleo-derivados/155-combustiveis/1857-oleo-diesel>
- ANP. (2018b). *Síntese dos Preços Praticados - Brasil. Resumo II - Diesel R\$/l. Período : 2013 - Janeiro*. Acesso em 15 de fevereiro de 2018, disponível em Sistema de Levantamento de Preços: <http://www.anp.gov.br/preco/>
- ANP. (2018c). Acesso em 27 de fevereiro de 2018, disponível em Série histórica do levantamento de preços e de margens de comercialização de combustíveis: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/precos-e-defesa/234-precos/levantamento-de-precos/868-serie-historica-do-levantamento-de-precos-e-de-margens-de-comercializacao-de-combustiveis>
- ANP. (2018d). Acesso em 27 de fevereiro de 2018, disponível em Biodiesel: <http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>

- Bajay, S. V., & Frota, W. M. (2004). Política energética, planejamento e regulação para os sistemas isolados. *Encontro de energia no meio rural 5*. Fonte: Encontro de energia no meio rural, 5.
- Bana e Costa, C., & Vansnick, J.-C. (1994). MACBETH - An interactive path towards the construction of cardinal value functions. *International Transactions in Operational Research*, 1(4), 489-500.
- Barreto, E. J. (2008). *Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida. Soluções Energéticas para a Amazônia* (22ª ed.). Brasília: Ministério de Minas e Energia.
- Brasil. (07 de novembro de 1973). *Decreto nº 73.102*. Brasília, DF.
- Brasil. (28 de julho de 2010). *Decreto nº 7.246*.
- Calili, R. F. (2018). *Métodos Multicritério de Apoio a Decisão*. PUC-Rio, Rio de Janeiro.
- Castro, J. C. (2013). *Aplicação do método de análise multicritério para selecionar políticas públicas de incentivo à redução da informalidade no polo de confecções do agreste pernambucano*. Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.
- Cavaliere, C. K. (2003). *Inserção de Mecanismos Regulatórios de Incentivo ao Uso de Fontes Renováveis Alternativas de Energia no Setor Elétrico Brasileiro eno Caso Específico da Região Amazônica*. Campinas, UNICAMP: Planejamento de Sistemas Energéticos. Tese de doutorado.
- Cavallaro, F., & Ciraolo, L. (2005). A multicriteria approach to evaluate wind energy plants. *Energy Policy*(33), 235–244.
- CCEE. (2017). *Relatório orçamento das contas setoriais 2018 - CDE/RGR/CCC*. São Paulo.
- Chang, D.-Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 95, pp. 649-655.
- Chen, C.-T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1-9.
- CNT. (2014). *Pesquisa CNT de Rodovias 2014*. Brasília: Relatório Gerencial. CNT, SEST, SENAT.
- Cowan, K. R., Daim, T., Wakeland, W., Fallah, H., Sheble, G., Lutzenhiser, L., . . . Nguyen, M. (2-6 de Agosto de 2009). Forecasting the Adoption of Emerging Energy Technologies: Managing Climate Change and Evolving Social Values. *PICMET 2009 Proceedings*, pp. 3048-3058.
- Das, I., & Claudio, C. (2017). *Feasibility studies of variable speed generators for canadian arctic communities*. University of Waterloo.
- Domingues, P. C. (2003). *A interconexão elétrica dos sistemas isolados da amazônia ao sistema interligado nacional*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Elena Arce, M., Saavedra, Á., Míguez, J., & Granada, E. (2015). The use of grey-based methods in multi-criteria decision analysis for the evaluation of sustainable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47(C), 924-932.
- Eletrobras. (2016b). *Plano Anual de Custos 2017*. Rio de Janeiro.

- Eletrobras Amazonas Energia. (2012). *Nota Técnica XX/12 - Regulação*. Manaus.
- Eletrobras Amazonas Energia. (2016). *Projeto de Referência para atendimento aos Mercados Isolados do Grupo B*. Manaus.
- Eletrobras Distribuição Acre. (10 de abril de 2013). *Projeto de referência para atendimento aos mercados isolados da eletrobras distribuição Acre. Lote - III*. Rio Branco.
- EPE. (2014). *Avaliação de Sistemas Híbridos com energia fotovoltaica para o Lote III do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Acre (EPE-DEE-NT-027 /2014-r0)*. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética.
- EPE. (2016a). *Instruções para Elaboração e Apresentação de Projetos Alternativos aos Projetos de Referência (EPE-DEE-RE-121/2014-r1)*. Rio de Janeiro.
- EPE. (31 de outubro de 2016b). *Avaliação da atratividade econômica de solução híbrida em sistemas do Grupo B do Projeto de Referência da Eletrobras Distribuição Amazonas (EPE-DEE-NT-091/2016-r0)*. Rio de Janeiro. Acesso em 15 de dezembro de 2017, disponível em [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-290/NT%20Sist%20H%C3%ADbrido%20Grupo%20B%20AmE%20\(EPE-DEE-NT-091_2016-r0\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-290/NT%20Sist%20H%C3%ADbrido%20Grupo%20B%20AmE%20(EPE-DEE-NT-091_2016-r0).pdf)
- EPE. (2017a). Acesso em 22 de maio de 2017, disponível em Leilão dos Sistemas Isolados do Amazonas: [http://epe.gov.br/Documents/Resultado%20do%20Leil%C3%A3o%20dos%20Sistemas%20Isolados%20do%20Amazonas%20\(2\)%20\(3\).pdf](http://epe.gov.br/Documents/Resultado%20do%20Leil%C3%A3o%20dos%20Sistemas%20Isolados%20do%20Amazonas%20(2)%20(3).pdf)
- EPE. (22 de maio de 2017b). *Leilão dos Sistemas Isolados do Amazonas*. Acesso em 05 de setembro de 2017, disponível em <http://www.epe.gov.br/geracao/Paginas/Sistemas%20Isolados/Leil%C3%A3oDosSistemasIsoladosDoAmazonas.aspx>
- EPE. (2017c). *Balço Energético Nacional 2017. Ano base 2016*. Rio de Janeiro.
- EPE. (2017e). *GT Roraima – Subgrupo IV. Identificação de alternativas de atendimento - médio e longo prazo (EPE-DEE-NT-032/2017-r0)*. Rio de Janeiro.
- EPE. (2018a). *Webmap*. Acesso em 14 de janeiro de 2018, disponível em <https://gisepe.epe.gov.br/WebMapEPE/>
- EPE. (2018b). *Planejamento do atendimento aos Sistemas Isolados - Horizonte 2023 - Ciclo 2018*. Rio de Janeiro.
- EPE. (2018c). *Potencial Energético de Resíduos Florestais do Manejo Sustentável e de Resíduos da Industrialização da Madeira*. Rio de Janeiro.
- Frankfurt School. (2015). *Renewable energy in hybrid mini grids and isolated grids: Economic benefits and business cases*. Frankfurt am Main: UNEP Collaborating Centre for Climate and Sustainable Energy Finance.
- Freitas, D. S., Mascarenhas, A. R., & Almeida, M. P. (Novembro de 2016). Análise de Impactos na Integração de Usinas Fotovoltaicas ao Sistema Elétrico Isolado da Ilha de Fernando de Noronha. *XXII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI*.

- Frota, W. M. (2004). *Sistemas isolados de energia elétrica na Amazônia no novo contexto do setor elétrico brasileiro* (Vol. Dissertação de mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica .
- Georgopoulou, E., Lalas, D., & Papagiannakis, L. (1997). A Multicriteria Decision Aid approach for energy planning problems: The case of renewable energy option. *European Journal of Operational Research*, 38-54.
- Guaracachi. (2016). *Planta solar fotovoltaica Cobija*. Acesso em 28 de setembro de 2016, disponível em Empresa Eléctrica Guaracachi S.A.: <http://www.guaracachi.com.bo/index.php/2-uncategorised/72-planta-solar-cobija2>
- Hadian, S., & Madani, K. (2015). A system of systems approach to energy sustainability assessment: are all renewables really green? *Ecological Indicators*, 52, 1470-160X.
- Hafez, O., & Bhattacharya, K. (2012). Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids. *Renewable Energy. Volume 45. Pages 7-15*.
- Haurant, P., Oberti, P., & Muselli, M. (2011). Multicriteria selection aiding related to photovoltaic plants on farming fields on Corsica island: A real case study using the ELECTRE outranking framework. *Energy Policy*, 39, 676-688.
- Herzog, F. (2007). *Resumo Público do Plano de Manejo Florestal do Projeto Ouro Verde*. Boa Vista: Ouro Verde Agrosilvopastoril.
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making - Methods and Applications A State-of-the-Art Survey* (1 ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- IBAMA. (2016). *Relatório de vistoria na área de implantação da PCH Salto Cafesoca*. Brasília.
- IBGE. (2017). *Cidades*. Acesso em 05 de setembro de 2017, disponível em <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=130340&search=amazonas|parintins>
- IBGE. (2018). Acesso em 14 de agosto de 2018, disponível em Séries Históricas - IPCA: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm
- IE-PUC. (2011). *Desenvolvimento de Modelo Referência para Empresas de Distribuição, fundamentado na experimentação de aplicações de conjunto de tecnologia SmartGrid, projeto piloto a ser implantado em Parintins-AM. PD-0373-0010/2010*. Rio de Janeiro: Instituto de Energia da PUC-Rio.
- IPCC. (2011). *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- IRENA. (2015). *Off-grid renewable energy systems: status and methodological issues*. Bonn.
- IRENA. (2016). *Policies and regulations for private sector renewable energy mini-grids*. Abu Dhabi: IRENA.
- IRENA. (2017). *SIDS Lighthouses Quickscan - Interim Report*.

- Kahneman, D. (2012). *Rápido e Devagar - Duas Formas de Pensar*. Objetiva.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (junho de 2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35, pp. 2517-2527.
- Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- Kemal, B., & Serhat, K. (2012). Availability of renewable energy sources in Turkey: Current situation, potential, government policies and the EU perspective. *Energy Policy*, 42, 377-391.
- Lessa, C. (28 de setembro de 2005). Energia, vetor fundamental do desenvolvimento. *Valor Econômico*.
- Liu, C.-H., Tzeng, G.-H., & Lee, M.-H. (2012). Improving tourism policy implementation – The use of hybrid MCDM models. *Tourism Management*, 33, 413-426.
- Liu, G. (2014). Development of a general sustainability indicator for renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, pp. 611-621.
- Lombardi, P., Sokolnikova, T., Suslov, K., Voropai, N., & Styczynski, Z. (2016). Isolated power system in Russia: A chance for renewable energies? *Renewable Energy*, pp. 532 - 541.
- Malta, F. S., Costa, E. M., & Magrini, A. (2017). Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 22, 3933-3944.
- Martins, G. d. (2017). *Modelo Fuzzy AHP-TOPSIS para avaliação e seleção de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Metrologia. PUC-Rio.
- Me guia Brasil*. (11 de 2017a). Acesso em 20 de novembro de 2017, disponível em Mapa da rede rodoviária da região Norte do Brasil: www.meguiabrasil.com/mapadobrasil/mapas-regioes-do-brasil.php
- Me guia Brasil*. (2017b). Acesso em 20 de novembro de 2017, disponível em Mapa das principais hidrovias da Bacia Amazônica: www.meguiabrasil.com/mapadobrasil/mapa-hidrovia-bacia-amazonica.php
- Mello, A. F. (2015). Monitoramento e avaliação da regulamentação sobre recolhimento de alimentos no Brasil: proposição de indicadores e métricas. *Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica*, p. 185p.
- Melo, C. A., Jannuzzi, G. d., & Tripodi, A. F. (2013). Evaluating public policy mechanisms for climate change mitigation in Brazilian buildings sector. *Energy Policy*, 61, 1200-1211.
- MME. (19 de novembro de 2015). *Luz para Todos completa 12 anos com 15,6 milhões de brasileiros beneficiados*. Acesso em 11 de novembro de 2017, disponível em <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/>

/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/luz-para-todos-completa-12-anos-com-15-6-milhoes-de-brasileiros-beneficiados

MME. (01 de março de 2018a). *Percentual obrigatório de biodiesel passa para 10%*. Acesso em 01 de junho de 2018, disponível em http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/percentual-obrigatorio-de-biodiesel-passa-para-10-

MME. (2018b). *Relatório Preliminar do Plano de Redução Estrutural das Despesas da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE)*. Brasília.

Mourmouris, J., & Potolias, C. (2013). A multi-criteria methodology for energy planning and developing renewable energy sources at a regional level: A case study Thassos, Greece. *Energy Policy*(52), 522–530.

Muller, G. d. (2016). *Impacto de novas tecnologias e smart grids na demanda de longo prazo do sistema elétrico brasileiro*. Rio de Janeiro: Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE-UFRJ. Tese de doutorado.

Nagel, S., & Nagel, R. (1989). Incentives, MCDM, and environmental protection. *Computers, Environment and Urban Systems*, 13, 225-230.

Nascimento, M. V., Vieira, L. d., Domingues, P. C., Sadi, J. C., Almeida, S. C., & Belchior, C. R. (1999). *Opções à geração dieselétrica para sistemas isolados na região Norte: eólica, hidrocínética e biomassa*. Foz do Iguaçu: XV SNPTEE.

OECD/IEA. (2003). *Renewables in Russia. From Opportunity to Reality*. Paris: International Energy Agency.

ONS. (2017). *Plano anual da operação energética dos sistemas isolados para 2018*. Rio de Janeiro.

Pacheco, I. S. (2007). Transporte de Combustíveis nos rios Amazonas e Solimões. *Seminário Internacional sobre Hidrovias Brasil / Flanders-Bélgica*. Brasília: ANTAQ.

PACHECO, M. A., & VELLASCO, M. B. (2007). Métodos de apoio à decisão. Em *Sistemas inteligentes de apoio à decisão: análise econômica de projetos de desenvolvimento de campos de petróleo sob incerteza* (pp. 83-93). Rio de Janeiro: PUC-Rio; Interciência.

Papadopoulos, A., & Karagiannidis, A. (2008). Application of the multi-criteria analysis method Electre III for the optimisation of decentralised energy systems. *Omega*, 36, 766-776.

Patil, S. K., & Kant, R. (2014). A fuzzy AHP-TOPSIS framework for ranking the solutions of Knowledge Management adoption in Supply Chain to overcome its barriers. *Expert Systems with Applications*, 41, pp. 679-693.

Perera, A., Attalage, R., Perera, K., & Dassanayake, V. (2013). A hybrid tool to combine multi-objective optimization and multi-criterion decision making in designing standalone hybrid energy systems. *Applied Energy*, 107, 412-425.

PSR. (2015). *Energy Report. Edição 105*. Rio de Janeiro.

Quitmann, E. (20 de junho de 2018). *Enercon Energy Storage*. Rio de Janeiro: Apresentação em 20 de junho de 2018.

- Receita Federal. (03 de outubro de 2016). *Cide-combustíveis*. Acesso em 05 de agosto de 2018, disponível em <http://idg.receita.fazenda.gov.br/acesso-rapido/tributos/cide#aliquotas1>
- Ribeiro, L. A., Saavedra, O. R., Lima, S. L., Bonan, G., & Matos, J. G. (2012). Making isolated renewable energy systems more reliable. *Renewable Energy*, 45, 221 - 231.
- Riesgo, L., & Gómez-Limón, J. A. (2006). Multi-criteria policy scenario analysis for public regulation of irrigated agriculture. *Agricultural Systems*, 91, 1-28.
- RIM. (2016). *Developing the Saint Lucia Energy Roadmap*. (R. Torbert, S. Mushegan, S. Bunker, J. Locke, & S. Teelucksingh, Eds.) Colorado, EUA: Rocky Mountain Institute.
- RIM e CWB. (2015). *Renewable microgrids: profiles from islands and remote communities across the globe*. (K. Bunker, S. Doig, K. Hawley, & J. Morris, Eds.) Colorado, EUA: Rocky Mountain Institute and Carbon War Room.
- Rivera-Lirio, J. M., & Muñoz-Torres, M. J. (Julho de 2010). The Effectiveness of the Public Support Policies for the European Industry Financing as a Contribution to Sustainable Development. *Journal of Business Ethics*, 94, 489–515.
- Roy, B. (1968). *Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE)*. Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Saaty, T. L. (1991). *Método de análise hierárquica*. São Paulo: Mc-Graw-Hill, Makron.
- Santos, M. A. (2008). *Análise do potencial do biodiesel de dendê para geração elétrica em sistemas isolados da Amazônia*. Rio de Janeiro: Dissertação de mestrado. COPPE/UFRJ.
- Santoyo-Castelazo, E., & Azapagic, A. (2014). Sustainability assessment of energy systems: integrating environmental, economic and social aspects. *Journal of Cleaner Production*, 80, 119-138.
- SEFAZ/AM. (28 de dezembro de 1999). *Decreto nº 20.686/1999 – RICMS/AM*. Manaus.
- SEFAZ-AP. (2018). *Arrecadação do Estado*. Acesso em 03 de abril de 2018, disponível em Secretaria de Estado de Fazenda do Amapá: <https://www.sefaz.ap.gov.br/arrecadacao-do-estado>
- Şengül, Ü., Eren, M., Eslamian Shiraz, S., Gezder, V., & Şengül, A. (2015). Fuzzy TOPSIS method for ranking renewable energy supply systems in Turkey. *Renewable Energy*, 75(C), 617-625.
- Senjyu, T., Hayashi, D., Yona, A., Urasaki, N., & Funabashi, T. (2007). Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy. *Renewable Energy*, 32(Issue 11), 1917–1933.
- SERINS-AM. (08 de janeiro de 2018). *Governo do Amazonas encerrou 2017 com superávit*. Acesso em 16 de março de 2018, disponível em Secretaria de Estado de Relações Institucionais do Amazonas: <http://www.serins.am.gov.br/governo-do-amazonas-encerrou-2017-com-superavit/>

- Shmelev, S., & Bergh, J. (2016). Optimal diversity of renewable energy alternatives under multiple criteria: An application to the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 679-691.
- SMA. (2015). *Hybrid energy supply for the city of Cobija*. Acesso em 11 de novembro de 2017, disponível em <https://www.sma.de/fileadmin/content/global/Products/Documents/Referenzanlagen/REFBOLIVIA-EN150502.pdf>
- Souza, O. d. (2010). *Introdução à Teoria dos Conjuntos Fuzzy*. Universidade Estadual de Londrina.
- Souza, R. C. (2000). *Planejamento do Suprimento de Eletricidade dos Sistemas Isolados na Região Amazônica: Uma abordagem multiobjetiva*. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica/Departamento de Energia. Tese de doutorado. UNICAMP.
- Stoft, S. (2002). *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*. Wiley-IEEE Press.
- ŠTREIMIKIENĖ, D., ŠLIOGERIENĖ, J., & TURSKIS, Z. (2016). Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania. *Renewable Energy*, 85, 148-156.
- TCU. (2007). *Acórdão 2344-2007. Processo: 005.252/2007-8*. Acesso em 14 de fevereiro de 2018, disponível em Tribunal de Contas da União: <https://contas.tcu.gov.br/juris/SvlHighLight?key=41434f5244414f2d434f4d504c45544f2d3336393233&sort=RELEVANCIA&ordem=DESC&bases=ACORDAO-COMPLETO;&highlight=&posicaoDocumento=0&numDocumento=1&totalDocumentos=1>
- Trindade, J. d. (2017). *Mensuração e avaliação da capacidade inovativa de micro, pequenas e médias empresas: aplicação de métodos multicritério fuzzy de apoio à decisão*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Metrologia. PUC-Rio.
- Trindade, J. E. (2016). *Mensuração e Avaliação da Capacidade Inovativa de Micro, Pequenas e Médias Empresas: aplicação de métodos multicritério fuzzy de apoio à decisão. Dissertação Pós Graduação Metrologia para Qualidade e Inovação, Pontifícia Universidade Católica*, p. 107p.
- TROLDBORG, M., HESLOP, S., & HOUGH, R. (2014). Assessing the sustainability of renewable energy technologies using multi-criteria analysis: Suitability of approach for national-scale assessments and associated uncertainties. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 1173–1184.
- Tsoutsos, T., Drandaki, M., Frantzeskaki, N., Iosifidis, E., & Kiosses, I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. *Energy Policy*(37), 1587–1600.
- Tsuchida, T. d. (2008). *Modelagem da Localização de Pólos de Venda de Derivados de Petróleo*. Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado. Engenharia Industrial. PUC-Rio.
- Vergara, S. (2002). *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Cortez.
- Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., & Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2263-2278.

Wang, J.-J., Jing, Y.-Y., Zhang, C.-F., & Zhao, J.-H. (2009). Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, pp. 2263-2278.

Wimmler, C., Hejazi, G., Oliveira Fernandes, E., Moreira, C., & Connors, S. (Maio de 2015). Multi-Criteria Decision Support Methods for Renewable Energy Systems on Islands. *Journal of Clean Energy Technologies*, 3(3).

Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Bürer, M. J. (2007). Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. *Energy Policy*, pp. Volume 35, Issue 5, 2683-2691, ISSN 0301-4215.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, pp. 338-353.