

Estudos de Longo Prazo

Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético: Considerações Iniciais

Documento de Apoio ao PNE 2050

Dezembro de 2018

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - "double sided")



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

MINISTRO DE ESTADO
WELLINGTON MOREIRA FRANCO

PRESIDENTE
REIVE BARROS DOS SANTOS

SECRETÁRIO EXECUTIVO
MÁRCIO FELIX CARVALHO BEZERRA

DIRETOR DE ESTUDOS ECONÔMICO-ENERGÉTICOS E AMBIENTAIS
THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

SECRETÁRIO DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
EDUARDO AZEVEDO RODRIGUES

DIRETOR DE ESTUDOS DE ENERGIA ELÉTRICA
AMILCAR GONÇALVES GUERREIRO

SECRETÁRIO DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS
JOÃO VICENTE DE CARVALHO VIEIRA

DIRETOR DE ESTUDOS DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS
JOSÉ MAURO FERREIRA COELHO

SECRETÁRIO DE ENERGIA ELÉTRICA
ILDO WILSON GRUDTNER

DIRETOR DE GESTÃO CORPORATIVA
ÁLVARO HENRIQUE MATIAS PEREIRA

SECRETÁRIO DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E
TRANSFORMAÇÃO MINERAL
VICENTE HUMBERTO LÔBO CRUZ

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE

ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS
BLOCO U – 5º ANDAR
70065-900 – BRASÍLIA – DF
TEL.: (55 61) 3319 5299
FAX: (55 61) 3319 5067

WWW.MME.GOV.BR

ESCRITÓRIO CENTRAL

AV. RIO BRANCO, 01 – 11º ANDAR
20090-003 – RIO DE JANEIRO – RJ
TEL.: (55 21) 3512 3100
FAX : (55 21) 3512 3198

WWW.EPE.GOV.BR

Dezembro 2018

Participantes - EPE

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

EMÍLIO HIROSHI MATSUMURA

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

COORDENAÇÃO TÉCNICA

MARCOS RIBEIRO CONDE

ANA DANTAS MENDEZ DE MATTOS

EQUIPE DE APOIO

CLEITON LEANDRO ALVES FERREIRA (ESTAGIÁRIO)

EQUIPE TÉCNICA

ANGELA OLIVEIRA DA COSTA

CAIO MONTEIRO LEOCADIO

DOURIVAL DE SOUZA CARVALHO JUNIOR

GUILHERME DE PAULA SALGADO

LUCIANO BASTO OLIVEIRA

MARCELO COSTA ALMEIDA

MARIANA LUCAS BARROSO

PATRÍCIA MESSER ROSENBLUM

RACHEL MARTINS HENRIQUES

1. Introdução

Este relatório procura abordar as principais questões associadas à mitigação e adaptação às mudanças climáticas no caso específico brasileiro e avaliar as possibilidades para incorporação dessas questões nos estudos associados ao planejamento energético de longo prazo.

As mudanças climáticas associadas às emissões antrópicas de gases de efeito estufa (GEE) constituem-se em uma das principais questões a serem enfrentadas na atualidade. O Brasil tem despendido esforços para combater essa questão e tem tido papel ativo nas negociações internacionais para solução do problema.

Assumindo que as mudanças climáticas já estão em curso e podem se agravar, conforme afirma o IPCC (2013), os países devem concentrar esforços de mitigação e de adaptação.

Os esforços de mitigação têm a finalidade de limitar as emissões de GEE pelas atividades humanas e, como consequência, reduzir o ritmo das mudanças climáticas evitando efeitos danosos para a sociedade e para os sistemas naturais em geral.

A pesquisa sobre mitigação tem se concentrado na busca por tecnologias mais eficientes e fontes de energia renováveis e/ou não emissoras, já que globalmente a maior parte das emissões de GEE são oriundas da queima de combustíveis fósseis com fins energéticos.

Por sua matriz com alta participação de renováveis, os desafios do Brasil na mitigação das emissões de GEE passam por uma vasta gama de alternativas que possuem custos e benefícios bastante variados, cabendo ao País escolher aquelas ações mais custo-efetivas.

Já no caso dos esforços de adaptação, admite-se que os seres humanos precisarão se adaptar em algum grau às alterações em curso, restando saber

quais serão as possíveis mudanças em cada local do globo terrestre, a que tempo e quais as melhores soluções para contornar os problemas que poderão surgir em cada caso.

Por outro lado, as pesquisas sobre adaptação não estão no mesmo estágio de maturidade em relação à questão de mitigação. A previsão climática de longo prazo tem evoluído, mas ainda está em patamar incipiente, limitando muitas vezes o uso dos seus resultados em processos decisórios importantes.

Contudo, por contar com grande participação de fontes renováveis, que dependem intrinsecamente do comportamento das variáveis climáticas, o sistema energético brasileiro precisa se preparar em relação a vulnerabilidades decorrentes de variações nos padrões de temperatura, precipitação, vento e insolação ao longo do território nacional que, em última instância, podem impactar a distribuição dos recursos renováveis e a oferta de energia. Adicionalmente, estudos preditivos do clima tendem a concordar com um aumento na frequência de eventos extremos, o que também poderia impactar a infraestrutura energética existente e planejada.

Este relatório está dividido em 5 seções além desta introdução: na seção 2, trata-se da mitigação de GEE considerando as principais políticas e assuntos correlatos. Em seguida, é apresentado um panorama sobre a situação das projeções climáticas para o mundo e o Brasil. Na seção 4, são apresentadas as potenciais vulnerabilidades associadas à disponibilidade de recursos energéticos, à geração de energia, ao sistema de transmissão e ao setor de óleo e gás. A seguir, é feita uma discussão sobre a incorporação das mudanças climáticas no planejamento de longo prazo. Por fim, a última seção apresenta recomendações para o desenvolvimento do tema de mudanças climáticas nos estudos de planejamento energético do País.

2. Mitigação de Gases de Efeito Estufa

2.1. Políticas em vigor

Em dezembro de 2015, em Paris, foi realizada a 21ª Conferência das Partes (COP-21) da UNFCCC quando foi definido o novo acordo sobre mudança global do clima.

O novo acordo é válido para o período pós-2020 e foi estruturado com base em compromissos depositados pelos próprios países signatários da convenção por meio de um documento denominado Contribuição Pretendida Nacionalmente Determinada (iNDC, na sigla em inglês). A iNDC é convertida automaticamente na primeira NDC do país assim que o mesmo ratificar o acordo. Os países podem também optar por enviar uma revisão da NDC no ato da ratificação.

Diferente do Protocolo de Quioto, as NDC se aplicam a todas as partes da convenção sejam elas países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Devem conter as ações que cada país irá tomar para reduzir suas emissões de GEE e também podem conter outras indicações, como as ações de adaptação às mudanças climáticas e considerações sobre meios de implementação, inclusive financiamento.

O Acordo de Paris entrou em vigor em 4 de novembro de 2016 quando atingiu o mínimo necessário de 55 países, contabilizando pelo menos 55% das emissões de GEE globais. O Brasil submeteu sua iNDC às Nações Unidas em setembro de 2015 e, pela primeira vez, um país dito em desenvolvimento se comprometeu com metas absolutas de redução de emissões. O compromisso é de que em 2025 as emissões de GEE do país sejam 37% inferiores ao verificado em 2005. Após a ratificação do acordo de Paris pelo Brasil, em setembro de 2016, a iNDC

brasileira se converteu automaticamente na sua NDC.

O Acordo de Paris prevê ciclos de revisão dos objetivos de redução de emissões previstos nas NDCs a cada cinco anos, permitindo que os países atualizem continuamente seus compromissos e ampliem suas ambições e metas de mitigação. Estudos recentes mostram com alto grau de confiabilidade que as NDCs atuais não são ambiciosas o suficiente para limitar o aumento da temperatura média em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, mesmo que sejam complementadas com ações de mitigação muito desafiadoras após 2030.

O texto da NDC brasileira diz que a abrangência da meta é para todo o território nacional, para o conjunto da economia e incluindo os gases CO₂, CH₄, N₂O, perfluorcarbonos, hidrofluorcarbonos e SF₆. Em termos práticos, isso significa que o meio de verificação da meta será o próprio inventário nacional de emissões. Assim, para sabermos se a meta foi atingida, deveremos comparar o resultado do inventário do ano 2025 com o resultado do inventário do ano 2005, incluindo todos os setores inventariados de acordo com a metodologia do IPCC (Energia, Mudança de uso do solo e florestas, processos industriais, resíduos e agropecuária).

A meta de 37% foi construída com base em exercícios de projeção de cenários para os diferentes setores,¹ fornecendo o devido embasamento técnico para a proposta. Porém, é preciso entender que a NDC aplica-se ao conjunto da economia e, portanto, não há uma distribuição formal da contribuição de cada setor específico para atingir a meta. Em outras palavras, o País é livre para alocar seus esforços nas

¹ Vide NT MMA – Fundamentos para a elaboração da Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil no contexto do Acordo de Paris sob a UNFCCC ([link](#)).

medidas mais custo-efetivas, podendo atingir a meta por diferentes caminhos.

O Brasil se destaca por possuir uma matriz energética com grande participação de fontes renováveis, realidade verificada em poucos países do mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional (EPE, 2018), a participação das renováveis correspondeu a 42,9% em 2017, enquanto na matriz energética mundial representou apenas 13,7% em 2015. No que tange especificamente à matriz elétrica, o Brasil apresentou 80,4% de renovabilidade em 2017, quase 4 vezes à média mundial de 22,8% em 2015. Isso significa que as emissões de GEE do setor de energia por unidade de energia consumida no Brasil são pequenas comparativamente a outros países.

Por outro lado, se compararmos os indicadores socioeconômicos, percebemos que o Brasil ainda tem um caminho longo a percorrer para atingir padrões de vida comparáveis aos dos países desenvolvidos. Assim, mesmo adotando-se uma trajetória de desenvolvimento menos perdulária e menos intensiva no uso da energia do que a dos

países desenvolvidos (desassociando o aumento do consumo de energia do crescimento econômico), é difícil imaginar que o País conseguirá reduzir o nível de pobreza no horizonte até 2030 sem aumentar o consumo de energia per capita. Como resultado, as emissões do setor de energia, em termos absolutos, serão crescentes.

Um grande desafio do setor energético brasileiro é manter elevada a participação de fontes renováveis na sua matriz. Para o setor elétrico, isto implica uma expansão predominantemente a partir de fontes renováveis, e para o setor de transportes, a ampliação da produção e consumo de biocombustíveis líquidos, etanol e biodiesel. Outro desafio refere-se à maior eficiência energética. Ambos os desafios requerem diversas ações e políticas energéticas que permitam manter os indicadores de emissão de GEE brasileiros entre os melhores do mundo.

Além do compromisso para o ano 2025, a NDC brasileira elencou medidas indicativas para o horizonte 2030 específicas para a produção e uso da energia. Tais medidas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1– Medidas indicativas para o setor de energia no horizonte 2030, conforme anexo NDC brasileira

| Medida/Indicador | Contribuição indicativa para 2030 |
|--|---|
| Bioenergia (etanol, biomassa de cana, biodiesel, outras biomassas) | ➤ Aumentar participação para 18% da matriz energética |
| Matriz de energia elétrica | ➤ Alcançar 23 % da geração a partir de eólica, solar e biomassa, incluindo geração distribuída e autoprodução |
| | ➤ Atingir 66% de geração hidrelétrica no SIN |
| Participação de renováveis na matriz energética | ➤ Expandir participação de fontes renováveis na matriz energética para um patamar entre 28 e 33% (exceto hidrelétricas) |
| Eficiência Energética | ➤ Alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico |
| Matriz Energética | ➤ Alcançar a participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética nacional |

Os valores em termos da contribuição indicativa para 2030 resultaram da análise de vários cenários realizados à época do desenvolvimento da INDC brasileira em 2015. Desde então, em função da recessão econômica dos últimos anos, a trajetória da economia nacional tem sido inferior àquela projetada em 2015. Com menores taxas projetadas de crescimento de demanda de energia, e mantidas as indicações anunciadas acima, as emissões absolutas de GEE até 2030 serão menores. Por outro lado, a recessão econômica pode reduzir o controle do desmatamento e levar ao aumento das emissões – de 2015 para 2016 as emissões de mudança do uso do solo aumentaram em 24% (Observatório do Clima, 2018).

Ressalta-se que a meta de redução de emissões definida na NDC brasileira deve ser atendida por todos os setores da economia, não necessariamente com o mesmo nível de esforço. Da mesma forma, especificamente no caso do setor de Energia, as contribuições podem ser efetivadas por trajetórias de expansão distintas nas várias cadeias energéticas, cabendo ao setor atingir as metas por aquela que alcance o melhor custo-benefício.

Nesta década foram publicados quatro trabalhos sobre custos de abatimento de emissões de

gases responsáveis pelo efeito estufa. São eles: "Caminhos para uma economia de baixo carbono" (MCKYNSEY, 2009); "Marginal Abatement Cost Curve – MACC" (BANCO MUNDIAL, 2010); "Implicações Econômicas e Sociais - IES- Brasil" (CENTRO CLIMA, 2015); "Opções de Mitigação de emissões em setores-chave do Brasil" (MCTIC, 2017). Em todos é possível verificar a disponibilidade de ações de "custo negativo", em virtude de peculiaridades brasileiras. No sentido de atender aos compromissos internacionais (ainda que não vinculantes) e priorizar a competitividade da economia nacional, é relevante realizar um inventário destas atividades, em todos os setores, para confirmar seus potenciais de contribuição e os custos de transação. Assim, o Estado Brasileiro terá a efetiva noção das medidas capazes de remover as barreiras que atualmente impedem a implantação das atividades de mitigação de baixo custo.

Dentre as principais medidas de mitigação com custo negativo estão as ações de eficiência energética, que reduzem o consumo e os gastos com energia. No comércio e indústria gera ganhos de produtividade e competitividade, e para as famílias aumenta a renda disponível.

2.2. Política Nacional sobre Mudança do Clima e o PDE

A Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (Lei 12.187/09) define o compromisso nacional voluntário² de redução de 36,1% a 38,9% das emissões projetadas até 2020. O decreto 7.390/10, que regulamenta a PNMC, instituiu o Plano Decenal de Energia - PDE como o plano setorial de mitigação e adaptação à mudança do clima do setor de energia.

Há outros planos setoriais de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Os planos com maior interface com o setor de energia são: Indústria, transporte e mobilidade, mineração de baixo carbono e agricultura de baixo carbono.

No PDE 2027, a trajetória do setor de energia mostra-se compatível com a estratégia apontada na NDC brasileira, com os principais indicadores próximos daqueles estabelecidos (Tabela 2). Em

² O compromisso é voluntário a nível internacional, mas tem força de lei a nível nacional.

particular, dentre as ações previstas no PDE estão a expansão da produção e consumo de biocombustíveis, expansão da geração eólica, solar

fotovoltaica e biomassa, além de ganhos de eficiência energética.

Tabela 2 – Comparação de indicadores da NDC e do PDE 2027

| Indicadores | NDC | PDE 2027 |
|---|------------------------|----------|
| | Ano de referência 2025 | |
| Energia elétrica (participação de eólica, solar e biomassa, incluindo GD e autoprodução) | 22% | 22% |
| Energia elétrica (participação da hidroeletricidade na geração centralizada) | 71% | 73% |
| Matriz energética (participação de fontes renováveis, com exceção da hídrica) | 32% | 34% |
| Matriz energética (participação de bioenergia) | 18% | 21% |
| Matriz energética (participação das fontes renováveis) | 45% | 47% |
| Eficiência energética (elétrica) | 8% | 7% |

2.3. Principais estudos sobre mitigação de emissões

Dentre os principais estudos sobre mitigação desenvolvidos recentemente no Brasil estão os do MCTIC/ONU Meio Ambiente e IES-Brasil.

O projeto “Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil” (MCTIC/ONU Meio Ambiente) teve por objetivo ajudar o governo brasileiro a reforçar sua capacidade técnica de apoiar a implementação de ações de mitigação de emissões de GEE em diversos setores (indústria; energia; transportes; edificações; agricultura, florestas e outros usos do solo; gestão de resíduos). Com horizonte de 2050, os estudos setoriais apresentam cenários de mitigação específicos, detalhando medidas e respectivos impactos sobre a economia. Muitas das medidas avaliadas são relacionadas com o setor energético. Apresenta ainda a proposição de instrumentos para

superar barreiras e potencializar benefícios associados à adoção de atividades de baixo carbono.

No estudo “Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030”, o IES-Brasil teve como objetivo estruturar trajetórias de desenvolvimento com o condão de conciliar objetivos socioeconômicos e ambientais, elaborando cenários futuros de emissões de GEE para 2030. Sendo assim, foram analisadas as implicações econômicas e sociais de cada cenário de mitigação em termos das variáveis macroeconômicas.

O estudo aborda três cenários: o Cenário de Plano Governamental (CPG), que parte das premissas adotadas nos estudos iniciais do PNE 2050 (realizados em 2016) e os Cenários de Mitigação Adicional MA1 e MA2, onde são aplicadas

políticas de mitigação além daquelas consideradas no cenário de governo, sendo que o cenário MA2 contempla políticas mais ambiciosas. Em cada um dos cenários de mitigação adicional, foram considerados dois tipos de políticas de mitigação: política de comando e controle (estabelecimento de normas e padrões) e política de precificação de carbono.

Em todos os cenários, há impactos sobre o planejamento energético, já que cada um deles resulta em uma trajetória de crescimento econômico, além de estruturas setoriais diferentes, o que implicam em níveis de consumo de energia distintos. Além disso, de acordo com as políticas de mitigação adotadas, são alcançados distintos níveis de eficiência energética, bem como maior ou menor

penetração de fontes renováveis. Os resultados são discutidos sob a perspectiva dos seguintes pontos: PIB, investimentos, produção total e postos de trabalho, comércio exterior, preços, dados socioeconômicos, emissões de GEE e custos de mitigação, desafios e requisitos para implantação. No geral, todos os cenários exigem grandes custos iniciais para construção de infraestruturas de baixo carbono como UHE e transportes. Para os cenários de mitigação mais ambiciosos são ressaltadas as medidas relacionadas à contenção do desmatamento e à expansão de áreas de reflorestamento. Outro esforço essencial seria o favorecimento das medidas de eficiência energética e a maior penetração de fontes renováveis.

3. Projeções climáticas para o Brasil

Existe um grande esforço de institutos internacionais de pesquisa, capitaneados pela ONU, para desenvolver a ciência da mudança do clima com o objetivo de entender de que forma os diversos países podem ser atingidos pelo aquecimento global, além de propor mecanismos globais de mitigação.

Uma das frentes de pesquisa consiste na criação de modelos cada vez mais confiáveis de projeção de mudanças do clima. Tais modelos podem rodar projeções mundiais e regionais com base em cenários pré-definidos pelo IPCC, aplicando leis consolidadas da física, química e biologia sobre parâmetros geológicos de cada pequena fração do planeta. Através da interação entre elas, pode-se obter ainda informações tais como mudanças nas pressões atmosféricas, na temperatura ou na precipitação.

A partir do Quinto Relatório (AR5) do IPCC, foram adotados como padrão os Modelos de Sistema Terrestre (MSTs), que são considerados uma evolução em relação aos modelos padrões anteriores, pois conseguem representar a interação dos sistemas naturais com os sistemas humanos, simulando respostas passadas e futuras do sistema climático em função de forças externas.

As projeções dos cenários da mudança do clima feitas pelo IPCC são globais, cuja escala espacial geralmente é incompatível com as escalas requeridas para estudos de impactos. Para melhor considerar as especificidades de uma região, é preciso reduzir a escala (*downscaling*) dos modelos globais.

Nesse processo são incorporadas informações locais e, com o refinamento, é possível representar fenômenos meteorológicos de escala local. O IPCC propôs ainda uma avaliação de riscos das mudanças climáticas, assim como um gerenciamento para contribuir com a tomada de decisão. Ainda que a abordagem reduza a incerteza inerente ao tema, a

utilização de resultados de cenários climáticos em estudos de longo prazo ainda exige cautela, considerando a grande quantidade de incertezas associadas às respostas geradas pelos modelos climáticos, dadas as complexas interações que envolvem os elementos climáticos e as ações humanas.

De forma geral, esses modelos apontam para um prolongamento do aquecimento global, com alterações na umidade do ar e do regime de chuvas, elevação do nível dos oceanos, maior intensidade e frequência de eventos climáticos extremos, maior proliferação de doenças, dentre outros reflexos potencialmente danosos para seres humanos.

O Brasil vem desenvolvendo uma série de modelos regionais, destacando-se o Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (Brazilian Earth System Model – BESM), coordenado pelo INPE com participação de diversas Universidades e instituições de pesquisa.

O BESM modela os vários componentes do sistema terrestre do Brasil, incorporando-os a um Modelo Integrado do Sistema Terrestre que, embora global, contém especificidades da América do Sul e oceanos adjacentes.

Ambos modelos são utilizados para elaborar cenários futuros de mudanças globais que são relevantes para o Brasil e para estudar a dinâmica de interação entre os sistemas humanos e naturais.

Graças ao desenvolvimento do Brasil no que tange às modelagens regionais do clima, assim como à elaboração de cenários de mudanças climáticas, foi possível realizar estudos de vulnerabilidade e adaptação de setores estratégicos aos impactos associados à mudança do clima no Brasil. Em particular, são abordadas, a seguir, as vulnerabilidades do sistema energético brasileiro.

3.1. Disponibilidade de recursos

As mudanças climáticas poderão trazer alterações na distribuição dos recursos energéticos no território nacional. Ainda é difícil mensurar em que grau tais mudanças ocorrerão.

Estudos de predição climática realizados pelo INPE (MCTI, 2016) mostram que a principal vulnerabilidade à mudança climática identificada no setor de energia é a redução do potencial de produção de energia hidrelétrica nas bacias ao norte e na região central do País bem como aumento desse potencial nas bacias na região sul.

Em relação à energia eólica, projeta-se um aumento da velocidade total dos ventos, o que acarreta aumento do potencial de sua geração.

Observando-se as projeções futuras de radiação solar, verifica-se que os valores simulados até o final do século XXI são menores em comparação com o clima presente. Em média, tais reduções da intensidade de radiação variam entre 4 e 8% em todo o Brasil, valores estes considerados não significativos, uma vez que o país ainda se encontraria dentro de uma faixa satisfatória para a geração de energia oriunda da radiação solar.

Em qualquer caso, as informações disponíveis até o momento não permitem que seja feita qualquer alteração nos potenciais de recursos inventariados em função dos resultados de estudos sobre mudanças climáticas, a exemplo dos inventários hidrelétricos de bacias hidrográficas, atlas eólicos, etc.

3.1.1 Hidrelétricas

Como mencionado anteriormente, as mudanças climáticas podem trazer alterações na distribuição e disponibilidade hídrica, afetando de diferentes maneiras todo o setor energético, em especial, a geração hidrelétrica. A redução da disponibilidade hídrica em algumas regiões pode levar a uma geração de energia significativamente

inferior e a uma maior complexidade na operação dos reservatórios de regularização.

Além disso, o aumento na frequência de eventos extremos pode levar a maior vertimento, ou seja, menor aproveitamento da água afluente. Por outro lado, certas regiões podem ter incremento na disponibilidade de água e, como consequência, maior capacidade de geração de energia.

Assim, atualmente, é prioridade para o planejamento energético a melhor compreensão dos fenômenos relacionados com a distribuição e disponibilidade do recurso hídrico, de forma a mensurar os efeitos das mudanças do clima sobre o segmento da geração, principalmente do recurso hidrelétrico.

3.1.2 Biomassa

A principal atividade de produção de biomassa é a agricultura, com as culturas da cana-de-açúcar (para etanol) e das oleaginosas (em que um dos subprodutos, o óleo, é utilizado para biodiesel), dentre as quais se destaca a soja. A silvicultura, com o propósito específico de florestas energéticas, se destaca na produção de carvão vegetal (para siderurgia) e de lenha (para calor de processo), e a geração de energia elétrica tem se apresentado como uma opção com potencial significativo no horizonte de 2050. O aproveitamento de resíduos da pecuária intensiva e palhas das demais culturas agrícolas tem uma participação ainda muito limitada na matriz de oferta de biomassa.

A bioeletricidade, em especial aquela proveniente do bagaço de cana, apresenta potencial de aproveitamento para produção de energia elétrica no SIN bastante competitivo. A bioeletricidade proveniente do bagaço de cana possui um “negócio” *multicommodity*, envolvendo a comercialização de quatro produtos: açúcar, etanol, eletricidade e créditos de carbono (ou certificados de reduções de emissões). Isso coloca esta fonte com um

grande potencial na matriz energética nacional e com papel de destaque na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas no Brasil.

Empreendimentos de produção de bioenergia e de biocombustíveis têm inerente o risco de desabastecimento do produto agrícola base de sua operação (cana-de-açúcar, soja, milho, etc.). Seja por problemas no desenvolvimento das lavouras ou por condições climáticas desfavoráveis que dificultam a realização das operações agrícolas e de transporte, esta vulnerabilidade deve se acentuar com a mudança do clima.

3.2. Oferta de energia elétrica

3.2.1 Geração hidrelétrica

Hidroelétricas e mudanças climáticas estão estritamente relacionadas. Por um lado, a energia hidrelétrica é um importante recurso de energia renovável, que contribui significativamente para evitar emissões de gases de efeito estufa (GEE) e mitigar o aquecimento global. Por outro lado, é provável que as mudanças climáticas alterem a distribuição e disponibilidade hídrica e, conseqüentemente, a geração de energia hidrelétrica. As dimensões do Brasil tornam a diversidade de cenários climatológicos relevante, pois as mudanças climáticas podem afetar de forma bastante distinta as diversas bacias do SIN.

A estimativa da produção energética de uma usina hidrelétrica depende da avaliação da disponibilidade hídrica da respectiva bacia hidrográfica. A alteração no regime de vazões impacta diretamente nessa disponibilidade hidráulica e, como consequência, pode ocorrer um grave descasamento das condições operativas reais em relação às energias asseguradas dessas unidades, definidas como a máxima produção de energia que pode ser mantida por uma hidrelétrica ao longo dos anos, simulando a ocorrência de milhares de possibilidades de sequências de vazões criadas

Em relação a medidas de mitigação da mudança climática, MOREIRA (2017) aponta para a oportunidade de captura e armazenamento de carbono da fermentação alcoólica (BioCCS), o que resultaria em um combustível renovável e com emissão negativa. Importante observar que a bacia do Paraná, onde se localiza grande parte da produção brasileira de cana-de-açúcar, é identificada como uma região de alta prospectividade para projetos de CCS, principalmente, devido às formações salinas profundas, Segundo KETZER et al (2016).

estatisticamente, admitindo certo grau de risco de não atendimento à carga. Desse modo, a determinação da energia assegurada independe da geração real e está associada às condições, a longo prazo, que cada usina pode fornecer ao sistema, assumindo um critério específico de risco do não atendimento do mercado (déficit), considerando principalmente a variabilidade hidrológica à qual a usina está submetida.

No planejamento de longo prazo, os possíveis impactos sobre a vulnerabilidade do sistema eletroenergético brasileiro devido aos diferentes cenários climáticos futuros não são totalmente contemplados. Tampouco é considerada a gradativa diminuição da disponibilidade hídrica para produção de energia elétrica em decorrência de outros usos dos recursos hídricos. Os atuais modelos computacionais utilizados para o planejamento da operação eletroenergética do SIN apresentam limitações quanto à realização de estudos para as projeções futuras de variações climáticas, não sendo possível, por exemplo, considerar a taxa de evaporação em cada bacia, baseando-se nas projeções das temperaturas médias para determinado período.

O primeiro passo nos esforços de adaptação do segmento de geração hidrelétrica é produzir diagnósticos dos efeitos possíveis de mudanças climáticas, com a tradução de incertezas em cenários de variação da demanda e oferta de eletricidade. Em particular, considerando que cerca de 2/3 da geração do Brasil é hidrelétrica, é importante avaliar o impacto de cenários que afetam a disponibilidade de recursos hídricos em decorrência de mudanças climáticas.

Nas avaliações preliminares de alguns destes cenários, as mudanças climáticas sugerem um aumento das vazões nos meses de inverno e primavera devido a uma elevação geral na temperatura, indicando efeito positivo na produção de energia. Entretanto, a mudança geral permanece mais incerta devido aos padrões de precipitação ambíguos nos cenários climáticos. Em nível global, pode-se esperar que o impacto geral da mudança climática na geração de energia hidrelétrica

3.2.2 Energia eólica

A expansão da capacidade instalada de energia eólica desempenha um papel fundamental na redução das emissões de gases do efeito estufa e mitigação das mudanças climáticas. No Brasil, as eólicas constituem um recurso renovável de excepcional aproveitamento energético, especialmente no Nordeste do país, e a tendência é que seu crescimento aumente substancialmente nos próximos anos. No entanto, a energia eólica também é suscetível à mudança climática global. Algumas mudanças associadas com a evolução do clima provavelmente beneficiarão a indústria de energia eólica, enquanto outras mudanças podem impactar negativamente a evolução da energia eólica, dependendo da região considerada.

O principal e mais direto mecanismo pelo qual a mudança climática global pode impactar a indústria de energia eólica é por meio da mudança da distribuição geográfica e/ou da variabilidade

existente seja pequeno ou mesmo ligeiramente positivo. No entanto, existe a possibilidade de variações substanciais entre as regiões e até mesmo dentro dos países.

Lima et al. (2014) estudaram os efeitos das mudanças climáticas no regime hidrológico de bacias hidrográficas e na energia assegurada de aproveitamentos hidrelétricos existentes e futuros. Como conclusão, apresentam que, com base nos cenários futuros de mudanças climáticas, a partir de 2041, haverá uma média de redução de energia assegurada de 15% do parque existente e de 25% do parque futuro (tomando por base a configuração do PNE 2030). Os resultados são compatíveis com o cenário de projeções de aumento de períodos secos e chuva concentrada e um parque hidrelétrico com baixa capacidade para armazenar água.

inter/intra anual do recurso eólico. A variabilidade anual das velocidades do vento, dos índices de vento e da densidade de energia são naturalmente função do clima regional e da frequência e intensidade dos sistemas de tempestades transitórias. Estudos recentes examinaram como as correntes de vento poderão mudar no futuro, à medida que a Terra aquecer. O vento acontece porque a luz do Sol aquece diferentes partes do planeta em diferentes níveis, criando regiões de alta energia e baixa energia. O ar flui de regiões de alta energia para regiões de baixa energia, criando o vento. As mudanças climáticas afetam diretamente esse equilíbrio, tornando as regiões frias quentes e as regiões quentes frias, ocasionando a diminuição da intensidade e frequência dos ventos.

A análise das mudanças climáticas conduzida para regiões com considerável penetração da energia eólica, sugerem que no curto e médio prazo

(ou seja, até meados do século atual) a variabilidade natural excede o sinal de mudança climática no recurso de energia eólica e velocidades extremas do vento. Em contrapartida, no final do século XXI, há evidências de mudanças de pequena magnitude no recurso eólico (embora o sinal da mudança permaneça incerto), para aumentos nas velocidades

3.2.3 Energia solar

A energia solar é frequentemente levantada como solução possível para os indícios de avanço do aquecimento global. O que muitas vezes é desconsiderado é qual impacto o aquecimento global terá sobre a energia solar.

Os efeitos do aquecimento global na energia solar poderão variar dependendo da localização e do tipo de usina. Tanto os painéis solares fotovoltaicos quanto as usinas de energia solar concentrada (CSP) - que usam um sistema de espelhos ao invés de semicondutores - tenderão a observar sua eficiência alterada. Segundo Dubey et al. (2013), nas usinas fotovoltaicas, a redução da eficiência com aumento da temperatura pode variar de 0,1 a 0,6% para cada 1°C de aumento na temperatura de operação.

3.2.4 Biomassa

Em relação à cultura da cana-de-açúcar, OSCAR JUNIOR et al. (2016) apontam que as condições climáticas da região Sul devem se tornar mais adequadas até 2041. A região Centro-Oeste deve apresentar poucas alterações, mas se tornando cada vez mais dependente de irrigação a partir de 2071. O estado de São Paulo e a Zona da Mata Nordestina devem ser pouco afetadas, mas o noroeste paulista deve demandar irrigação mais intensiva. Além da irrigação, o melhoramento genético é apontado como importante medida de adaptação para as culturas agrícolas em SAEPR

extremas do vento. Assim, o atual estado da arte não sugere nenhuma mudança detectável no recurso eólico ou em outras condições externas que possam comprometer a exploração continuada da energia eólica, embora sejam necessárias mais pesquisas para proporcionar maior confiança nessas projeções.

Destaca-se que nem todas as áreas seriam positivamente afetadas pelo aumento da irradiação solar. Usinas que se utilizam de painéis fotovoltaicos poderão ter pior eficiência frente as plantas de CSP. Isso ocorre porque os painéis fotovoltaicos funcionam melhor em temperaturas baixas, enquanto o CSP aproveita o calor e, portanto, temperaturas mais altas tendem a beneficiar a evaporação do fluido. Entretanto, climas mais quentes e secos só aumentarão a demanda de água para resfriar os sistemas destas usinas heliotérmicas. A tecnologia de refrigeração a seco também se torna menos eficaz à medida que as temperaturas aumentam. Com esse trade-off em mente, e dado o aumento previsto no potencial, a pesquisa e o investimento devem se concentrar em tornar a energia solar mais eficiente.

(2015). Já estudo do MCTIC (2016) conclui que, em virtude do aumento contínuo da temperatura, a cultura atingirá um ótimo entre os recortes temporais de 2011 e 2070, podendo ampliar em cerca de 17 milhões de hectares a área propícia ao cultivo. Porém, a partir daí as condições climáticas já não propiciarão condições tão confortáveis para o cultivo, demandando elevação paulatina por irrigação para suprir a carência hídrica, o que poderá provocar queda na área cultivada para até 13 milhões de hectares em função do significativo aumento da temperatura no Centro-Oeste brasileiro.

Já a cultura da soja, de acordo com OSCAR JUNIOR et al. (2016), deve ser impactada pelo aumento da temperatura e escassez hídrica. No pior cenário, as perdas podem chegar a 40% na região Centro-Oeste em decorrência de escassez hídrica. A região Sul pode ter um melhor aproveitamento para esta cultura, mas que não compensa a perda na região Centro-Oeste.

Para a produção de eucalipto, BAESSO, RIBEIRO e SILVA (2010) usaram dados dos cenários de alta emissão (A2) e de baixa emissão (B2) do modelo climático global CCSR/NIES para alimentar o modelo de crescimento 3-PG para projetar o impacto da mudança do clima no incremento médio anual (IMA) do eucalipto, para o norte do estado do Espírito Santo e Sul do estado da Bahia. Os resultados apontaram para uma redução de 40% no IMA para o cenário A2 e de 24% para o cenário B2. As mudanças climáticas esperadas para a região do estudo foram aumento da temperatura e redução da precipitação, o que resultou na redução do IMA. EVANGELISTA (2006) usando a mesma metodologia encontrou

resultados semelhantes também para a região Centro-Leste do estado de Minas Gerais.

Em relação à produção brasileira de biodiesel (girassol, mamona, soja e cana-de-açúcar), estima-se que, devido à mudança do clima, a oferta de área apta para o cultivo de girassol sofrerá redução, sobretudo, nos estados de Mato Grosso e Goiás, significando uma redução de área apta de até 18% em 2100, além de queda na produtividade das demais, principalmente em função do estresse térmico ao qual estará suscetível o gênero. Para a produção de mamona, pouca alteração ocorrerá na área apta para o seu cultivo. A maior repercussão será na Bahia e em Pernambuco, que, em função da redução do teor de umidade no solo, poderá apresentar redução da produtividade desse gênero agrícola. Ainda assim, vale ressaltar que o aproveitamento do óleo destas culturas é uma atividade econômica secundária, uma vez que o mercado alimentício, para a maioria, e industrial, para algumas, absorve a maior parcela dos produtos.

3.2.5 Termelétricas

Os desafios ambientais colocados pelas mudanças aceleradas no clima exigem que os empreendimentos de geração de energia elétrica revisem a vulnerabilidade de suas usinas existentes a tais mudanças e assegurem que os projetos para usinas futuras sejam mais resilientes aos mesmos. As usinas termelétricas (UTE) estão submetidas à riscos devido à mudança no clima, uma vez que sua eficiência e desempenho dependem da densidade do ar, temperatura ambiente e parâmetros meteorológicos. Além disso, essas usinas são vulneráveis a possíveis danos ocasionados por fenômenos violentos incomuns causados por mudanças climáticas, como enchentes e furacões.

As mudanças climáticas podem afetar as usinas termelétricas de duas maneiras. Em primeiro

lugar, o aumento da temperatura ambiente reduz a eficiência das usinas termelétricas na transformação de combustível em eletricidade (isto é, reduz a relação entre a eletricidade produzida e a quantidade de combustível usada na produção). Em segundo, em altas temperaturas ambientes, a produção de uma usina termelétrica pode ser limitada pela pressão máxima do condensador, pela temperatura máxima permitida para a água de retorno ou pela dificuldade de acesso à água como resultado de possíveis secas, podendo acarretar ainda no aumento da frequência de paralisações. Além dos exemplos mencionados, os danos adicionais às UTE incorridos em cenários com mudanças climáticas em comparação com cenários sem mudança climática são relativamente pequenos.

Uma das frentes de adaptação às mudanças climáticas de uma usina termelétrica pode ser através do investimento na tecnologia de economia de água (resfriamento), com o objetivo de evitar uma redução na eficiência e redução da produção de energia elétrica da planta. No curto prazo, a UTE tem a possibilidade de se adaptar às condições ambientais usando novas tecnologias incorporadas na usina existente. A longo prazo, é factível reformar a planta com novas tecnologias (por exemplo, uma torre de resfriamento suplementar) para lidar com condições ambientais adversas e manter a capacidade da planta.

A ampliação maciça da participação das energias renováveis com características intermitentes na oferta de energia enfrenta desafios como a necessidade de expansão de potência complementar, devido à sua vocação limitada para o atendimento aos requisitos de potência e variabilidade de produção, o que pode ser perfeitamente realizado pelas usinas termelétricas. A opção de UTE a gás natural se apresenta até o momento como a referência natural para a expansão de geração termelétrica, principalmente pelo aumento da sua disponibilidade no mercado nacional e a seu menor índice de emissões de GEE quando comparados às usinas que utilizam carvão ou óleo como combustíveis. A curto e médio prazos, o GNL importado representa o combustível padrão para o desenvolvimento de novas usinas. O desenvolvimento das reservas do Pré-Sal poderá ampliar significativamente a contribuição do gás natural na matriz energética brasileira. Além disso, a alternativa de aproveitamento do gás natural em campos onde o transporte apresenta dificuldades técnicas ou não é rentável, denominada Gas-to-wire (GTW), surge como um caminho interessante no sentido de aumentar a oferta de gás e energia elétrica do sistema, bem como aproveitar de forma mais eficiente o gás associado, reduzindo as emissões através da queima irrestrita do mesmo.

Em relação ao carvão mineral nacional, o aproveitamento para novas plantas esbarra nas

dificuldades ambientais, especialmente em relação ao alto índice de emissões de emissão de GEE dessas plantas. Entretanto, a longo prazo considera-se a possibilidade de que novas usinas possam vir a fazer parte da expansão do sistema, com a adoção de novas tecnologias para redução da emissão de GEE, a exemplo da captura e armazenamento de carbono (CCS), utilização de leito fluidizado e uso de turbinas a vapor mais eficientes.

Tendo em vista a necessidade latente de oferta de energia firme ao longo dos próximos anos, a expansão nuclear também surge como opção natural, uma vez que se trata de uma termelétrica com baixíssimo nível de emissão de GEE. Porém, o início de desenvolvimento do primeiro projeto após Angra 3 deverá ocorrer após o fim do horizonte decenal, em função dos prazos envolvidos de estudos e obtenção de licenças. Após a concretização do primeiro empreendimento, acredita-se que os seguintes poderão ocorrer em intervalos mais curtos, provavelmente de 5 a 7 anos.

Para as usinas termelétricas variações nas condições ambientes afetam a eficiência do ciclo termodinâmico provocando a redução da geração de energia elétrica ou aumento do consumo de combustível (US DOE, 2013).

O impacto do aumento da temperatura depende das características da planta e de fatores locais. As turbinas a gás são as mais vulneráveis a variação de temperatura e estima-se que o decréscimo de produção seja de 0,6-0,7% com aumento de 1°C na temperatura do ar, para as demais a redução é um pouco menor (US DOE, 2013).

O sistema de refrigeração pode utilizar ar ou água e é essencial para o funcionamento das termelétricas, exceto turbinas a gás. As termelétricas que utilizam refrigeração a seco também serão mais vulneráveis a alterações na temperatura ar. Já as usinas que utilizam água para refrigeração, geralmente de maior porte, o aumento da temperatura da água e a redução da disponibilidade

hídrica comprometem a sua operação. Sistemas de refrigeração aberto, que trabalham com captação elevada e baixo consumo de água, são menos suscetíveis às restrições de consumo se utilizado água do mar; entretanto pode haver elevação da temperatura da água devolvida em níveis acima dos padrões legais de poluição térmica (Schaffer et al., 2012). Em sistemas de refrigeração fechados, que utilizam geralmente água doce, o consumo de água é

3.2.6 Transmissão

O planejamento da transmissão tem fortemente contribuído para a crescente incorporação de fontes de geração localizadas em diferentes e muitas vezes extremos geográficos do território nacional. Além das grandes hidrelétricas, nos últimos anos tem crescido a integração de fontes renováveis, tais como eólica, biomassa, PCH e solar.

Seu papel como instrumento para redução do aquecimento global tem sido colocado em destaque mundialmente e o aprimoramento na capacidade de transmissão de longa distância tem contribuído para a expansão da base de recursos relativas às fontes menos poluentes e para a redução dos custos associados com o desenvolvimento da energia renovável (IAC, 2007).

Entretanto, as mudanças climáticas poderão afetar a operação do atual sistema de transmissão no País, assim como a concepção das futuras linhas de transmissão, das subestações e de equipamentos associados.

Dentre outras alterações conhecidas que podem afetar essas instalações, destacam-se o aumento das temperaturas máximas regionais, a intensidade dos ventos, a radiação solar e a densidade do ar, a intensidade e a frequência das chuvas e descargas atmosféricas. Outras variáveis precisam ser investigadas para se verificar seus potenciais impactos no sistema de transmissão.

de 2-3 vezes maior devido a necessidade de reposição (US DOE, 2013), logo, se tornam mais suscetíveis a restrição hídrica.

A ocorrência de eventos extremos aumenta o risco de danos à integridade das instalações (US DOE, 2013). No caso de usinas nucleares as preocupações são maiores devido ao risco de exposição de material radioativo ao meio ambiente.

Para as linhas de transmissão atualmente em operação, que foram projetadas para uma vida útil de 30 anos ou mais, a elevação da temperatura poderá reduzir a capacidade de transmissão de energia, assim como ventos mais fortes que os atuais poderão danificar as instalações pondo em risco a integridade das linhas. Uma alteração na densidade do ar poderá interferir no desempenho das linhas, por afetar o efeito do campo elétrico em suas proximidades.

Uma mudança nos padrões de intensidade ou frequência das chuvas e das descargas atmosféricas também poderá ter consequências importantes. Têm-se, como exemplo, as estiagens prolongadas em certas regiões secas que provocam o aumento de partículas depositadas nas cadeias de isoladores das linhas de transmissão, nos intervalos entre chuvas, potencializando o desgaste de materiais e curto-circuito. Por outro lado, aumento dos níveis de descargas atmosféricas pode provocar uma alteração no desempenho do isolamento elétrico das linhas, com consequência para a sua confiabilidade.

Essas são algumas das vulnerabilidades dentre as conhecidas, existindo atualmente uma preocupação na comunidade científica em se identificar outras ainda não conhecidas e suas consequências.

Mudanças climáticas podem, então, provocar no sistema de transmissão nacional, dentre outras, redução na capacidade de transmissão de energia

elétrica, aumento de perdas elétricas, redução de confiabilidade e elevação nos custos de implantação de novos projetos.

3.3. Petróleo e Gás Natural

A exploração e produção de petróleo e gás natural no Brasil é predominantemente offshore com infraestrutura na linha da costa. Estas instalações são especialmente vulneráveis ao dano causado pela maior incidência de tempestades, aumento do nível do mar, além de outros eventos extremos (Schaffer et al, 2012). Como consequência destes eventos, aumenta-se o risco de vazamentos de produtos de alta inflamabilidade e potencial poluidor que podem provocar acidentes graves e incêndios de grandes proporções.

Dessa forma, a vulnerabilidade a que o sistema de transmissão nacional pode estar sujeito frente às mudanças climáticas indica a necessidade de se aprofundar as investigações dessas mudanças no país e preparar o sistema atual e do futuro para as novas condições ambientais.

Com relação à restrição hídrica e aumento de temperatura da água, a etapa mais vulnerável é o refino de petróleo, pois possui demanda elevada por água devido ao uso sistema de fechado de resfriamento (Schaffer et al, 2012). Caso o Brasil inicie a exploração de recursos não convencionais de petróleo, tais como folhelho e formação fechada, por depender do uso intensivo de água para a realização fraturamento hidráulico, de 10 mil m³ a 25 mil m³ de água por poço (Brasil, 2016), a restrição hídrica pode ser crítica.

4. Incorporação das mudanças climáticas no planejamento de longo prazo

Certamente, um dos grandes desafios para o setor atualmente é como tratar as mudanças climáticas na esfera do planejamento energético.

No que tange à mitigação das emissões, a estratégia tem se baseado em análises de custo-benefício das trajetórias possíveis para atender aos acordos e compromissos assumidos pelo Brasil. No PDE, isso é feito por meio da análise das emissões de diferentes cenários de expansão elétrica. No âmbito da demanda de energia, são elaborados estudos de eficiência energética, incluindo pesquisas primárias sobre consumo e potencial de eficiência (no setor industrial e de serviços), elaboração de cenários de eficiência energética a partir de modelos setoriais de demanda e avaliação e propostas de políticas para promoção da eficiência energética. A eficiência energética é uma das ações com melhor relação custo-benefício para mitigação de emissões. A EPE também participa das discussões sobre precificação de carbono, analisando seu possível impacto no setor elétrico e na demanda por combustíveis. Caso evolua a possibilidade de taxaço de carbono no Brasil, os modelos de expansão da geração elétrica poderiam ser aprimorados para incorporar um preço associado ao carbono contido nos combustíveis.

Em relação à adaptação, espera-se uma complexidade maior em função das incertezas acerca das projeções. Diante disso, entende-se que uma estratégia interessante é identificar qual aspecto do planejamento energético é mais sensível aos efeitos das mudanças climáticas. Para isso, foram avaliados os estudos já existentes, o impacto no planejamento

e as análises atualmente possíveis. Como esperado, diversos estudos apontam para a sensibilidade da geração hidrelétrica aos efeitos climáticos e é reconhecido que a fonte também é a mais estudada devido à sua importância para o SEB. Embora ainda haja incertezas e limitações dos modelos climáticos, já se verifica certa convergência nas projeções quanto às mudanças no regime de chuvas para as regiões brasileiras.

Nessa linha, está em andamento o estudo “Análise dos Reflexos das Mudanças Climáticas nas Metodologias de Planejamento de Sistemas Elétricos” que faz parte do Projeto Meta (Projeto de Assistência Técnica do Setores de Energia e Mineral) lançado pelo MME.

O estudo tem como objetivo avaliar a consistência das ferramentas e metodologias que revelam os impactos das mudanças climáticas junto ao setor elétrico nacional, identificando como as alterações dos parâmetros climáticos afetam as metodologias e modelos de planejamento de sistemas elétricos. Primeiramente, buscou-se avaliar a vulnerabilidade do setor frente às projeções climáticas para o Brasil. Posteriormente, foram consideradas projeções de uso consuntivo da água e de uso e cobertura do solo para se obter a projeção de vazões hidrológicas com base nas mudanças climáticas.

A expectativa é que o estudo resulte em propostas para o aperfeiçoamento de metodologias e modelos para o planejamento elétrico no longo prazo.

5. Considerações Finais

O principal desafio associado às mudanças climáticas para o Brasil no longo prazo é a necessidade de maiores investimentos em medidas de mitigação e adaptação. Entretanto, são medidas de natureza diferente e devem ser tratadas separadamente, considerando o grau de incerteza associado a elas.

Naturalmente as questões de mitigação têm um caráter mais imediato e são mais objetivas, visto que já são discutidas e indicadas na esfera dos compromissos internacionais, como o Acordo de Paris. Quanto às medidas de adaptação, o estudo de impactos é complexo e exige uma análise de probabilidade de ocorrência de tal impacto para se optar por investir. Nos cenários macroeconômicos, isso implicará em uma ampliação do investimento ao longo do tempo para que se alcance o mesmo crescimento econômico.

A relevância da questão das mudanças climáticas é evidente e o setor energético deve se preparar para enfrentar os múltiplos desafios que certamente virão.

Nos estudos de médio e longo prazo, propõem-se dividir o tema em dois grupos: mitigação de emissão de GEEs e adaptação às mudanças climáticas.

O primeiro grupo abarca as negociações do clima, as trajetórias almejadas e as metas e compromissos assumidos. A questão da mitigação está mais consolidada e os próprios estudos desenvolvidos na EPE, como o PDE, servem como base para a escolha dos caminhos a serem seguidos pelo setor.

O tema da adaptação pressupõe avaliações mais complexas pois envolve mais incertezas e os

desafios são maiores. Diante disso, entende-se que é necessário avançar principalmente nessa questão.

Por fim, buscou-se levantar os principais desafios para incorporar as mudanças climáticas no planejamento, as limitações atuais e o que pode ser feito nos estudos de longo prazo. Nesse sentido, abaixo estão as considerações que se destacam na discussão:

- Uma matriz energética cada vez menos emissora de GEEs e renovável implica uma participação cada vez maior de fontes variáveis, que, de forma geral, são mais vulneráveis às mudanças climáticas. Nesse contexto, o setor tem como desafio garantir a segurança do sistema.
- Na geração hidrelétrica, é interessante fazer sensibilidades para incorporar nas simulações do modelo previsões de redução de energia para o parque gerador existente e futuro.
- A melhoria dos sistemas de dados é essencial para aprimorar a abordagem das mudanças climáticas no planejamento. Enquanto os modelos têm evoluído rapidamente, o levantamento de dados ainda é deficiente, é preciso produzir mais dados e aumentar sua precisão.
- Sobre as medidas de mitigação, é primordial realizar um inventário das atividades econômicas, em todos os setores, para avaliar seus potenciais de contribuição e os custos de transação. A partir daí, chegar às medidas mais custo-efetivas para o contexto brasileiro e conhecer as ações capazes de remover as barreiras que atualmente impedem a implantação das atividades de mitigação de baixo custo.

6. Referências

- BAESSO, R. C. E.; RIBEIRO, A. e SILVA, M. P.. **Impacto das Mudanças Climáticas na Produtividade do Eucalipto na Região Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 335-344, abr.-jun., 2010.
- BANCO MUNDIAL, 2010. **Estudo de baixo carbono para o Brasil**. Washington: Banco Mundial
- Brasil, 2016. **Aproveitamento de hidrocarbonetos em reservatórios não convencionais no Brasil** / Programa de Mobilização da Indústria Nacional de Petróleo e Gás Natural. Comitê Temático de Meio Ambiente. Brasília: PROMINP/CTMA - Projeto MA 09, 2016.
- CENTRO CLIMA, 2015. IES-Brasil – **Implicações Econômicas e Sociais**: Cenários de Mitigação de GEE 2030. Disponível em: <http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/>. Acesso em Nov 2018.
- DUBEY, Swapni; SARVAIYA, Jatin Narotam; SESHADRI, Bharath. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. **Energy Procedia**, Volume 33, 2013
- EVANGELISTA, R. C.. **Impacto das Mudanças Climáticas na Produtividade de Eucalipto em Duas Regiões do Brasil**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Orientador: Aristides Ribeiro. 2006.
- IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, US
- KETZER, J. M. M. et al. [Organizadores]. **Atlas Brasileiro de Captura e Armazenamento Geológico de CO2**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2016.
- LIMA, J.W. M.; COLLISCHONN, W.; MARENGO, J.A. (Org.). **Efeitos das Mudanças Climáticas na Geração de Energia Elétrica**. 1ed.São Paulo: Hunter, 2014, v. 3, 282p.
- MCKINSEY, 2009. **Caminhos para uma economia de baixa emissão de carbono**. São Paulo: Mckinsey&Company.
- MCTIC – Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2017. **Opções de Mitigação de Emissões de Gases de Efeito Estufa em Setores-Chave do Brasil**. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/>> Acesso em: Nov 2018
- _____. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. 2016
- MME – Ministério de Minas e Energia. Termo de Referência nº 66 - **Análise dos Reflexos das Mudanças Climáticas nas Metodologias de Planejamento de Sistemas Elétricos**. Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral – Projeto META. 2018. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/projetos/meta/documentacoes>. Acesso em: 1 nov. 2018
- MOREIRA, J. R.. Mudanças Climáticas e seus Impactos nos Recursos Energéticos do Brasil. In: FGV-Energia. (White Paper) **As Questões Climáticas e os Impactos nos Negócios de Energia**. 2017.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa**. Disponível em: <http://plataforma.seeg.eco.br/sectors/mudanca-de-uso-da-terra-e-floresta>. Acesso em outubro de 2018.
- OSCAR JUNIOR, A. C.S.; FERREIRA, V. J. R. P.; SILVA, W. L. & BARRETO, R. C.. Vulnerabilidade do setor de energias renováveis no Brasil às mudanças climáticas. In: MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. **Modelagem climática e vulnerabilidades Setoriais à mudança do clima no Brasil**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2016.
- SAEPR - Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Brasil 2040** – Resumo Executivo. Brasília. 2015.
- SCHAEFFER, R. et al.. **Energy sector vulnerability to climate change: A review**
- US Department of Energy, 2013. **U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather**.