

**Estudos de Longo Prazo**

# **Papel da Biomassa na Expansão da Geração de Energia Elétrica**

**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

*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.MME.GOV.BR

WWW.EPE.GOV.BR

# Participantes - EPE

---

## COORDENAÇÃO EXECUTIVA

EMÍLIO HIROSHI MATSUMURA

THIAGO VASCONCELLOS BARRAL FERREIRA

## COORDENAÇÃO TÉCNICA

RACHEL MARTINS HENRIQUES

RENATO HADDAD SIMÕES MACHADO

## EQUIPE DE APOIO

CLEITON LEANDRO ALVES FERREIRA (ESTAGIÁRIO)

## EQUIPE TÉCNICA

CAIO MONTEIRO LEOCADIO

JORGE GONÇALVES BEZERRA JUNIOR

HERMES TRIGO DIAS DA SILVA

LUCIANO BASTO OLIVEIRA

THIAGO IVANOSKI TEIXEIRA

## 1. Introdução

Este relatório aborda o papel da geração à biomassa na expansão da geração elétrica no Brasil.

O perfil do parque de geração nacional tem se alterado nos últimos anos com a inserção cada vez maior de fontes não controláveis, como eólica e solar fotovoltaica, além da construção de usinas hidrelétricas (UHEs) a fio d'água. Assim, as ações tomadas para melhor acompanhar estas alterações consistem tanto na revisão das normas que regem a operação e as transações no mercado, quanto na mensuração de quão flexível é o parque nacional para garantir o atendimento dentro dos critérios de segurança e planejar alternativas de expansão dessa flexibilidade, quando for preciso.

Neste contexto encaixa-se o maior uso de térmicas, que atendam aos critérios de energia, capacidade e flexibilidade. Dentre as diversas fontes disponíveis para a expansão há de se considerar o grande potencial existente nos variados tipos de biomassa. As características físico-operativas possíveis de se obter com a geração a partir destes insumos pode ajudar na solução para alguns desses desafios, em diversos níveis de contribuição.

A metodologia utilizada para elaboração deste documento considerou os atributos necessários para atender os requisitos do setor elétrico, as biomassas disponíveis para aproveitamento e as tecnologias existentes que viabilizem o uso desta fonte com maior eficiência possível. Assim, estas interfaces foram avaliadas e classificadas de acordo com sua adequação a cada critério.

Este relatório está dividido em 6 seções além desta introdução. Na seção 2, são relacionadas as principais tecnologias de geração termelétrica, enquanto na seção 3 são apresentadas as principais tecnologias de geração à biomassa. Na seção 4, foram analisadas as principais necessidades do setor elétrico, tais como: requisitos de capacidade e flexibilidade mensal e horária. Na seção 5, faz-se um cotejamento entre as principais necessidades do sistema elétrico nacional e os atributos da geração à biomassa. Por fim, a seção 6 apresenta recomendações.

## 2. Tecnologias de Geração Termelétrica

A geração elétrica a partir da biomassa se dá majoritariamente por meio da termelétrica: a energia térmica, oriunda da combustão da biomassa é convertida em energia mecânica e, em última instância, em energia elétrica.

As tecnologias termelétricas são classificadas termodinamicamente por ciclos de potência, que indicam o processo termodinâmico correspondente a cada tecnologia.

Os principais ciclos de potência e as correspondentes tecnologias comercialmente disponíveis atualmente são os seguintes:

- Ciclo Brayton: turbinas a gás, industriais ou aeroderivadas;
- Ciclo Rankine: ciclo a vapor;
- Ciclo Otto: motores com ignição por centelha;
- Ciclo Diesel: motores com ignição por compressão;
- Ciclo Combinado (associação em série dos ciclos Brayton e Rankine): turbina a gás associada ao ciclo a vapor.

São apresentadas as principais características técnicas dos ciclos supracitados, desempenho e os combustíveis mais adequados. Em seguida, é apresentada uma análise comparativa entre as tecnologias.

### 2.1. Ciclo de Brayton

No ciclo Brayton, representado pelas turbinas a gás, industriais ou aeroderivadas, ocorre um processo contínuo na câmara de combustão, onde ar pressurizado e combustível líquido ou gasoso reagem quimicamente, aumentando de forma substancial a temperatura e pressão do gás resultante. Este gás é direcionado à turbina, onde a energia sob forma de pressão é convertida em energia cinética do gás que, por sua vez, transfere quantidade de movimento às palhetas da turbina, gerando potência mecânica. Na medida em que o fluido fornece trabalho às palhetas, sua pressão e

temperatura são reduzidos até a exaustão dos gases da turbina. De modo geral, o ciclo Brayton tende a ser um dos menos eficientes entre os ciclos aqui apresentados. Entretanto, apresenta características interessantes, como rapidez nas partidas a frio e a quente, além de possibilidade de operação em carga parcial mantendo o nível de eficiência.

Os recursos de biomassa tecnicamente apropriados a esta rota tecnológica podem ser o biogás, os combustíveis obtidos de processos de gaseificação e os biocombustíveis líquidos.

### 2.2. Ciclo Rankine

No ciclo Rankine, a geração de potência ocorre com o uso de um fluido de trabalho, que atua com mudança de fase, sendo comumente a água. A operação do ciclo Rankine ocorre com o bombeamento da água no estado líquido à caldeira de geração de vapor. Na caldeira, o combustível fornece calor ao fluido, gerando vapor a alta pressão e alta temperatura. Este vapor é direcionado à

turbina a vapor, onde ocorre um processo de conversão da energia térmica em energia eletromecânica. No caso de usinas dedicadas, o estado do vapor na saída da turbina se encontra saturado, sendo direcionado ao condensador. Neste trocador de calor, o vapor cede calor latente ao ambiente, reassumindo o estado líquido e retornando à bomba, fechando assim o ciclo térmico.

Alguns procedimentos adicionais são comumente aplicados ao ciclo Rankine para aumento da geração de potência ou da eficiência da usina, como por exemplo extrações de vapor superaquecido da turbina para reaquecimento do fluido de trabalho e reinjeção na turbina.

No caso de usinas que utilizem a cogeração, pode ser de interesse que o vapor na saída da turbina esteja ainda no estado superaquecido para aproveitamento em outros processos. Quando ocorre consumo do vapor d'água nestes processos, o ciclo é dito aberto, caso contrário, o ciclo é fechado.

O ciclo Rankine apresenta eficiência relativamente baixa comparada aos demais ciclos

### 2.3. Ciclo de Otto

O ciclo Otto aplicado à geração de potência é representado tecnologicamente pelos motores de combustão interna, de dois ou quatro tempos, normalmente, de média ou alta rotação. O processo de combustão é cíclico e tem sua ignição a partir de uma centelha liberada na câmara de combustão, uma vez a cada ciclo.

O ciclo Otto pode apresentar eficiência mais elevada que os ciclos Brayton e Rankine, além de

### 2.4. Ciclo Diesel

De modo semelhante ao ciclo Otto, o Ciclo Diesel se trata de um ciclo motor de combustão interna, de dois ou quatro tempos, de média ou alta rotação. Sua distinção elementar em relação ao ciclo anterior está no processo de ignição da combustão: neste caso, quando a mistura ar-combustível tem sua pressão elevada, ocorre a autoignição, eliminando a necessidade de centelhas. As características de desempenho dos motores ciclo Diesel são semelhantes às do ciclo Otto.

subsequentes. Este ciclo também não apresenta a versatilidade do ciclo Brayton, devido à inércia térmica intrínseca à geração de vapor. Contudo, uma vantagem deste ciclo é a capacidade de uso de uma ampla gama de combustíveis sólidos e líquidos, com menor necessidade de beneficiamento em relação aos demais ciclos.

As biomassas que oferecem as características mais favoráveis de combustão ao ciclo Rankine são as de estado sólido, como o bagaço de cana-de-açúcar, as palhas, os resíduos, as cascas, os Resíduos Sólidos Urbanos, briquetes e *pellets*. Combustíveis líquidos também podem ser aplicáveis ao ciclo Rankine.

rapidez nas partidas a frio e a quente e versatilidade para operação em carga parcial, mantendo a eficiência. Por outro lado, os motores apresentam limitação superior para sua potência unitária, paradas para manutenção maiores que os ciclos Brayton e Rankine e menor vida útil

As biomassas mais adequadas para este ciclo são aquelas em estado líquido ou gasoso.

As biomassas mais adequadas para o ciclo Diesel são aquelas em estado líquido ou gasoso, desde que tenham a propriedade de autoignição ou que estejam misturados a um combustível que cumpra este papel.

## 2.5. Ciclo Combinado

O ciclo combinado se trata de uma associação em série dos ciclos Brayton e Rankine, com o aproveitamento do calor dos gases de exaustão da turbina a gás para aquecimento do vapor na caldeira de recuperação do ciclo Rankine. Este ciclo tende a ser o mais eficiente entre todos os demais apresentados. Adicionalmente, a depender da configuração da usina, o ciclo combinado pode

permitir parte da versatilidade do ciclo Brayton, caso a turbina a gás opere em ciclo aberto. Entretanto, a complexidade desta tecnologia limita sua aplicação apenas a grande escala.

As biomassas aplicáveis ao ciclo Combinado são as mesmas do ciclo Brayton, devendo ser líquidas ou gasosas.

## 2.6. Comparação entre as tecnologias

A partir das características supracitadas é apresentada na Tabela 1 uma análise comparativa entre as tecnologias, em relação a um conjunto de atributos técnicos primários: potência unitária, eficiência, vida útil, eficiência em carga parcial e modularidade, tempo de partida a frio, acompanhamento da carga e operação intermitente. Além destas, outras duas características secundárias são consideradas: capacidade (que se trata do somatório das potências unitárias em usinas típicas) e flexibilidade (que aqui é considerada como um atributo resultante da média das características “eficiência em carga parcial e modularidade”, “tempo de partida a frio”, “acompanhamento da carga” e “operação intermitente”).

Conforme se pode observar na Tabela 1, as usinas de ciclo combinado são as que têm maiores condições em termos de escala de geração elétrica, agregando maior capacidade em termos de porte de usina. As demais tecnologias são equivalentemente competitivas. Já em relação à flexibilidade, as usinas a motores de combustão interna são as mais competitivas, embora apresentem menor vida útil. Em seguida, as usinas de ciclo Brayton aeroderivadas e industriais são as mais competitivas. Usinas de ciclo combinado e Rankine não são indicadas para fins de flexibilidade.



Tabela 1 – Comparativo de características técnicas de tecnologias de geração termelétricas

Tecnologia	Tipo de Ciclo	Eficiência em							Operação	
		Potência Unitária (MW)	Eficiência (%)	Vida Útil	carga parcial e modularidade	Tempo de partida a frio (min)	Acompanhamento da carga	Intermitente	Capacidade (MW)	Flexibilidade (MW/min)
Turbina a Gás Industrial	Brayton									
Turbina a Gás Aeroderivada	Brayton									
Motor de Combustão Interna	Otto ou Diesel									
Ciclo Combinado	Combinado									
Ciclo Rankine	Rankine									

### 3. Biomassa e Rotas Tecnológicas

O Brasil é reconhecidamente beneficiado pelas suas características edafoclimáticas, o que permite que em seu território diversas fontes de biomassa prosperem de forma abrangente e competitiva. Diante de tão profícua oferta, a geração a biomassa é vista como uma das alternativas mais promissoras para o futuro energético sustentável.

Os parâmetros utilizados para elencar as biomassas que são alvo deste estudo levaram em consideração as que já estão presentes na matriz energética nacional, como os resíduos da indústria sucroenergética, e as que apresentam grande potencial dentro do médio e curto prazo.

A biomassa é um recurso energético primário. Sua utilização ocorre através de rotas tecnológicas diversas, nas quais o estado físico dos insumos utilizados é de suma importância. Assim, as diversas biomassas foram agrupadas de forma que a tecnologia utilizada fosse a que oferecesse uso mais

eficiente, obtendo como produto final a energia ou o recurso energético secundário a ser direcionado para as soluções de geração termelétrica. Sendo assim, temos como biomassa.

1. Resíduos da cana-de-açúcar (bagaço, palhas e pontas, vinhaça e torta de filtro)
2. Resíduos da indústria madeireira (cavaco)
3. Palhas das culturas de soja e milho
4. Cascas de arroz e café
5. Resíduos de coco, feijão, amendoim, mandioca e cacau
6. Resíduos agroindustriais e pecuária de confinamento
7. Lodo de estação de tratamento de esgoto
8. Resíduos sólidos urbanos (RSU)
9. Resíduos das vinícolas

De acordo com as rotas tecnológicas que possibilitam seu maior aproveitamento na conversão em eletricidade, tem-se os seguintes agrupamentos das biomassas elencadas acima.

#### 3.1. Biodigestão - Biogás

As biomassas que contribuem de forma elevada na produção de biogás através da biodigestão são as líquidas ou pastosas, que dentre as elencadas destacam-se a vinhaça e a torta de filtro da indústria sucroenergética<sup>1</sup>, resíduos da agroindústria e da pecuária de confinamento, resíduos sólidos urbanos, lodo das estações de tratamento de esgoto e resíduos das vinícolas. Com um menor rendimento, mas que poderiam também contribuir pouco ou de forma indireta incluem-se o bagaço, palhas (de cana, de soja e de milho), os resíduos agrícolas<sup>2</sup> (madeira, feijão,

amendoim, mandioca, cacau e coco), as cascas (arroz e café) e RSU.

A obtenção de biogás ocorre através do processo de digestão anaeróbica, que pode ser definida como a conversão de material orgânico em dióxido de carbono, metano e lodo através de bactérias, em um ambiente pobre em oxigênio. Este processo é uma das formas mais antigas de digestão e ocorre naturalmente na ausência de oxigênio, como em plantações de arroz e aterros sanitários.

<sup>1</sup> A codigestão com a vinhaça permite melhorar a relação C/N e a produção de maior quantidade de biogás que a soma das partes.

<sup>2</sup> Os resíduos agrícolas (feijão, amendoim, mandioca, cacau) e as palhas de soja e milho se codigeridos com os resíduos da pecuária de confinamento podem favorecer a relação C/N e aumentar a produção de biogás, tal que a mesma seja maior que a soma das partes.

O biogás é composto por metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de alguns gases inertes e compostos sulfurosos. Pode ser consumido diretamente, com poder calorífico entre 4.500 e 6.000 kcal/m<sup>3</sup>, ou tratado para separação e aproveitamento do metano, cujo poder calorífico é semelhante ao do gás natural.

A quantidade de biogás produzida depende, entre outros fatores, da tecnologia empregada na

digestão e do substrato. A metanogênese é a etapa mais crítica e mais lenta da biodigestão, bastante influenciada pelas condições de operação, como temperatura, composição do substrato, taxa de alimentação, tempo de retenção, pH, concentração de amônia etc.

O biogás obtido neste processo pode ser usado adequadamente em motores do ciclo Brayton, Otto ou Diesel.<sup>3</sup>

### 3.2. Gaseificação – Gás de síntese

A gaseificação converte um insumo energético sólido (biomassa, carvão ou outros combustíveis) em um gás de síntese que pode ser queimado em turbinas a gás ou motores de combustão.

O processo de gaseificação envolve duas etapas. Na primeira, ocorre a pirólise do material, formando líquidos e gases, a partir da fração volátil, e carvão. Na segunda etapa ocorre a gaseificação, propriamente dita, dos hidrocarbonetos líquidos e do insumo, a altas temperaturas e na presença de um agente oxidante.

Os produtos da gaseificação são uma mistura de gases (rica em CO, contendo ainda H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, outros hidrocarbonetos e N<sub>2</sub> se o ar for utilizado) e carbono e cinzas. Estas duas etapas ocorrem em zonas diferentes do gaseificador, não sendo necessários equipamentos distintos.

São indicados para este processo os resíduos de madeira e de coco. Contribuem de forma limitada bagaço, palhas (de cana, de soja e de milho), os resíduos (feijão, amendoim, mandioca, cacau e coco), as cascas (arroz e café), além da torta de filtro e RSU. Esta rota não se aplica para resíduos líquidos, como vinhaça, resíduos da agroindústria e da pecuária de confinamento, lodo das estações de tratamento de esgoto e das vinícolas, que devem ser direcionados para a biodigestão.

O gás de síntese, resultado deste processo, pode ser utilizado nas turbinas do ciclo Brayton ou motores para geração elétrica.

### 3.3. A combustão direta de produtos sazonais

A sazonalidade é uma característica inerente aos produtos de biomassa, que pode agregar valor à maior estabilidade da geração elétrica. Diversos são os insumos que podem contribuir de forma positiva

para este fim. A combustão direta da biomassa ocorre de forma mais eficiente com os insumos sólidos secos: bagaço, palhas (de cana, de soja e de milho), os resíduos agrícolas (madeira, feijão,

---

<sup>3</sup> O biogás obtido pode ser melhor remunerado quando substitui o diesel no setor de transporte.

amendoim, mandioca, cacau e coco), as cascas (arroz e café) e RSU. A combustão da torta de filtro se dá de forma limitada devido à sua elevada umidade. Esta tecnologia não se aplica aos insumos líquidos, tais como: vinhaça, resíduos agroindústrias e pecuária

### 3.4. Briquetes / Pellets

A fabricação de briquetes ou pellets é indicada para determinadas biomassas, o que aumenta sua densidade energética e, conseqüentemente, a eficiência geral do processo de geração elétrica.

São indicados para a produção de briquetes/pellets principalmente os resíduos de madeira, além do bagaço e palhas de cana-de-açúcar, que possuem tecnologia já existente, porém pouco aplicada.

Podem também ser direcionadas para este fim, de forma limitada, as palhas de soja e de milho,

### 3.5. Biocombustíveis Líquido

A produção de etanol e biodiesel atende a diversos fatores para que sua utilização na geração elétrica seja produtiva. Contudo, esta não ocorre de forma disseminada pois há fontes mais competitivas e que atendem melhor questões de ordem técnica. Assim, em alguns casos específicos, estes recursos poderiam ser utilizados para geração elétrica.

confinada, lodo de estação de esgoto e resíduos de vinícolas.

Neste sentido, o ciclo Rankine é o que usa de forma mais eficiente este recurso energético.

os resíduos (feijão, amendoim, mandioca, cacau e coco), as cascas (arroz e café) e RSU.

Ressalta-se que o consórcio de alguns resíduos de biomassa pode facilitar sua produção. A fabricação de briquetes / pellets não é indicada para os resíduos com elevada umidade ou muito aquosos (torta de filtro e resíduos agroindustriais de confinamento, vinhaça, lodo de estação de tratamento de esgoto e resíduos de vinícolas).

A rota mais indicada para utilização deste insumo é o ciclo Rankine.

Estes biocombustíveis já são amplamente utilizados na frota de veículos leves e pesados, que operam com os ciclos Otto e Diesel.

## 4. Necessidades do Setor Elétrico

### 4.1. Complementaridade com parque de geração hidrelétrica

Até recentemente, a maior parte das necessidades do setor elétrico era atendida pelas UHEs que respondiam por quase 90% da geração elétrica total. No entanto, a contínua perda relativa de armazenamento nos reservatórios das UHEs tem resultado em alteração profunda na matriz elétrica nacional. Por questões geográficas e de impactos socioambientais, o país não dispõe em sua “cesta de expansão” de UHEs com capacidade de armazenamento suficiente para manter a relação entre estoque e demanda nos níveis do passado, o que garantia a prestação de diversos serviços além da geração de energia elétrica.

Um dos efeitos da perda de armazenamento é a incapacidade de estocar recursos para gerar energia no momento necessário. Dessa forma, dispor de recursos controláveis, que permitam gerar energia sempre que for necessário, faz com que, mesmo sem estoque, seja possível atender ao requisito de energia.

Ao permitir guardar água entre o período de maior e menor afluência, os reservatórios de regularização contribuem para estabilizar o preço da energia. Vale lembrar que, devido à predominância hidráulica no sistema elétrico brasileiro, o preço da energia é muito influenciado pelas vazões dos rios que possuem usinas hidrelétricas. Assim, a existência de oferta com baixo custo de operação, principalmente que possa gerar eletricidade nos momentos de menor disponibilidade hídrica, tem elevado grau de contribuição para mitigar os efeitos do menor armazenamento relativo.

Assim como o baixo custo de operação ajuda na estabilização dos preços de energia elétrica, a disponibilidade complementar com os

demais recursos do sistema ajuda a reduzir o risco de suprimento pelo efeito portfólio, onde diferentes recursos compensam a oscilação dos outros. A contribuição nesse caso é limitada pois, nem sempre, existe a capacidade de controle dessa produção e, em se tratando de recursos naturais, existe sempre a chance de estarem indisponíveis mesmo nos momentos onde há maior probabilidade de disponibilidade.

Outro serviço prestado pelas UHEs é a gestão da produção numa menor escala de tempo, que as permite variar de acordo com as necessidades do sistema. Assim, tecnologias de geração controlável com resposta rápida, que possam entrar em operação de modo inesperado, mitigam essa consequência.

Um benefício adicional à resposta rápida é a habilidade de variar a sua operação, trabalhando em diversos pontos operativos de acordo com as necessidades sistêmicas, contribuindo, assim, para os requisitos de flexibilidade, que também ficam prejudicados pelo menor armazenamento.

No rol das características com baixo grau de contribuição ou contribuição indireta, a existência de tecnologias com maior eficiência na produção de energia exige o menor uso de recursos primários. Assim, contribuem indiretamente para mitigar as consequências da diminuição da capacidade de estoque.

Nesse mesmo sentido, quanto mais próximo do centro de carga estiverem os recursos, menores serão as perdas elétricas para transmiti-los até os pontos de consumo, reduzindo, também, o uso de recursos primários e a necessidade de estoque. Como um caso particular da geração próxima ao centro de carga vale destacar a geração distribuída (GD).

## 4.2. Requisitos de capacidade

Devido à entrada de tecnologias de geração não controlável, o sistema passa a apresentar novos requisitos para o atendimento à demanda. Dentre eles, um importante e já identificado nos estudos de expansão para o curto e médio prazo é o requisito de capacidade. Dentre as características da oferta de geração que reduzam esses obstáculos, podemos destacar as citadas a seguir.

Ser um recurso controlável, que possa gerar energia sempre que necessário, é o principal atributo para agregar capacidade ao sistema, apresentando, assim, elevado grau de contribuição para o aumento da segurança operativa.

Apesar de as fontes não controláveis apresentarem complexidade para a previsão da sua disponibilidade instantânea, existe um razoável grau de previsibilidade na sua disponibilidade acumulada, por exemplo, em

escala mensal. Dessa forma, os requisitos de capacidade resultantes podem apresentar caráter complementar, eventualmente com produção de energia por pouco tempo acumulado. Assim, dispor de recursos de geração que possam operar com baixo fator de despacho é desejável para essa finalidade.

Apesar de resposta rápida e variável não serem características necessárias para esse fim, elas são desejáveis, pois os requisitos de capacidade podem surgir de forma inesperada, por exemplo pela quebra de um equipamento ou baixa inesperada de recursos naturais.

As tecnologias de geração com baixo custo variável, quando não controláveis, contribuem indiretamente para os requisitos de capacidade pois, ao gerar energia, permitem que recursos controláveis, como as UHE, por exemplo, supram o serviço de capacidade.

## 4.3. Flexibilidade mensal

Devido à perda da capacidade de estoque, a disponibilidade dos recursos se torna mais variável ao longo do tempo, inclusive em escala mensal. Dessa forma, questões relacionadas à possibilidade de variar a produção passam a ganhar importância. Em escala mensal, essa preocupação está associada à alocação dos recursos, que contribui para a otimização do uso resultando em menor desperdício (refletidos em excesso de energia) e impactando o custo final. Dentre as características da oferta de geração que mitiguem esse problema, podemos destacar as listadas a seguir.

Novamente, a capacidade de controle que permita produzir energia nos momentos de maior necessidade e reduzir (ou até mesmo zerar essa produção) em momentos de excedente energético

contribui em elevado grau para atender aos requisitos de flexibilidade mensal.

A disponibilidade complementar contribui para a flexibilidade mensal pelo efeito portfólio, onde diferentes recursos compensam a oscilação dos outros. A contribuição nesse caso é limitada pois, nem sempre, existe a capacidade de controle dessa produção e, em se tratando de recursos naturais, existe sempre a chance de estarem indisponíveis mesmo nos momentos onde há maior disponibilidade esperada.

O baixo custo variável de operação contribui de forma indireta também para a flexibilidade mensal ao permitir guardar água nos reservatórios para ser utilizada em momentos de maior

necessidade. Ou seja, sua existência contribui para que as usinas hidrelétricas aumentem sua produção nos meses de maior necessidade.

O tempo de resposta, para fins de flexibilidade mensal, não é uma característica relevante, já que

#### 4.4. Flexibilidade horária

O requisito de flexibilidade em escala intradiária, aqui representado pelo requisito horário, tem o objetivo de analisar a habilidade de variar a produção de energia em períodos de tempo compatíveis com as necessidades do sistema e maiores que os intervalos de comando de despacho do operador. A crescente importância desse tipo de análise se deve ao fato de que os recursos não controláveis incorporam mais um vetor de variações nos requisitos do sistema, que no passado era marcado apenas pelas variações na curva de carga e quebras de equipamentos. Novamente, a menor gestão sobre o recurso hidráulico, que historicamente era quem supria esse serviço, intensifica essa questão para o Brasil.

Como o foco nessa análise reside especificamente no tempo de resposta, o principal atributo desejado nas tecnologias de geração é que

nesse nível de análise o objetivo reside na alocação de recursos e não nas variações de curto prazo. Nesse sentido, recursos controláveis com resposta rápida e variável possuem baixa contribuição. O efeito positivo reside na capacidade de controle, e não nos tempos de resposta em si.

sejam controláveis com resposta rápida e variável. De forma objetiva, o tempo de resposta desejado deverá ser mensurado de acordo com as variações conjuntas das fontes não controláveis e da carga. Para o sistema operar adequadamente ele deverá contar com diferentes tecnologias que possam suprir variações de diferentes velocidades.

Com contribuição limitada devemos considerar os recursos controláveis com resposta rápida, mas sem capacidade de variar sua produção. O tempo de resposta permite ao recurso atender aos requisitos de rampa positiva (necessidade de aumentar a produção de energia), mas quando esse recurso não pode variar sua produção, eles só atenderão as rampas negativas (necessidade de reduzir a produção) se forem desligados. Ou seja, eles contribuirão parcialmente para a flexibilidade em escala horária.

#### 4.5. Baixa Emissão de Gases de Efeito Estufas (GEE)

Uma das questões socioambientais que mais tem levantado discussões e busca por solução em todo o mundo é a emissão de gases intensificadores do efeito estufa. O setor elétrico brasileiro, caracterizado pela predominância de fontes renováveis, apesar de pouco emissor é considerado um importante instrumento para que o país possa

atender as metas estabelecidas em acordos internacionais.

O principal atributo das fontes, nesse caso, está relacionado à eficiência de geração. Quanto mais eficientes forem as tecnologias de produção, maior será o deslocamento dos combustíveis fósseis, reduzindo assim as emissões totais de GEE.

#### 4.6. Disponibilidade próxima aos centros de carga

Também relacionado às questões socioambientais, os aspectos locacionais têm tido um papel cada vez mais relevante na expansão do parque gerador. Os prazos para a construção de novas interligações têm sido cada vez maiores, dentre outros fatores devido ao processo de obtenção de licenças ambientais.

Nesse contexto, a disponibilidade próxima ao centro de carga passa a ser um diferencial competitivo para as tecnologias, com elevado grau de contribuição para essa questão, já que, em muitas situações, evita a necessidade de expansão de linhas de transmissão. Por se tratar de um caso particular de disponibilidade próxima a carga, a geração

distribuída contribui da mesma forma, com o diferencial de, muitas vezes nesse caso, reduzir a necessidade de investimentos também no sistema de distribuição.

Outra característica relevante para mitigar as questões locacionais é a capacidade de transporte do combustível primário. Quando existente, essa característica faz com que as unidades geradoras possam ser instaladas no local mais conveniente, seja perto do centro de consumo de eletricidade ou perto do local de produção do combustível. Isso permite a análise de qual elemento transportar é mais benéfica sob diversos aspectos: o combustível ou a energia elétrica.



## 5. Atendimento dos requisitos do setor elétrico pela Biomassa

Como forma de correlacionar as biomassas e as necessidades de atendimento do setor elétrico,

esta seção evidencia através de quais rotas e com quais biomassas este objetivo seria atingido.

### 5.1. Complementaridade com parque de geração hidrelétrica

Contribuem de forma elevada para complementar a menor capacidade de armazenamento do SIN as biomassas que podem atuar como Recursos controláveis, que permitam gerar energia sempre que for necessário e que tenham Baixo custo variável de operação.

Todos os ciclos termodinâmicos citados e, conseqüentemente as diversas biomassas, possibilitam gerar energia sempre que for necessário, atendendo às peculiaridades específicas de cada tecnologia. Dentre elas, a que apresenta o menor custo variável de operação é o ciclo combinado.

Existem biomassas que estão disponíveis sempre que necessário, e outras que possuem disponibilidade sazonal em período coincidente com baixos regimes hidrológicos, quando há maior necessidade de geração termelétrica. Em alguns casos, os insumos a biomassa podem ser armazenados para utilização em momento oportuno, permitindo maior controle da geração termelétrica e aumentando a possibilidade de despacho. Além disso, a utilização de diferentes tipos de biomassa, de modo complementar, coincidente com seus respectivos horizontes de produtividade, podem potencializar a solução dos requisitos de disponibilidade.

Embora seja possível organizar-se para que o recurso energético esteja disponível, nem sempre ele será complementar aos demais recursos o sistema, tanto pelo caráter sazonal do insumo natural, quanto pelas características das tecnologias envolvidas.

A contribuição ao requisito de recurso controlável com resposta rápida (e resposta rápida e variável) se dá de forma limitada por relacionar-se diretamente com os motores (tanto do ciclo Otto quanto do ciclo Diesel) e as turbinas aeroderivativas do ciclo Brayton, que são as tecnologias mais adequadas para esse fim. Apenas algumas das rotas consideradas se adequam a esse tipo máquinas, principalmente as associadas ao uso de biogás ou combustíveis líquidos, ambos com armazenamento. O ciclo Rankine possui menor flexibilidade para variação da geração, o que pode limitar o uso desta tecnologia, a depender dos níveis de variação da carga, para atender ao requisito de disponibilidade para contrapor a perda de capacidade de armazenamento hidráulico do sistema.

As menores contribuições para este requisito estão relacionadas à eficiência e a disponibilidade próxima ao centro de carga e a geração distribuída.

## 5.2. Requisitos de Capacidade

Os requisitos de capacidade serão atendidos plenamente quando a rota tecnológica e a biomassa permitam gerar energia sempre que necessário. Nesse caso, todos ciclos termodinâmicos citados atendem a este requisito, e a disponibilidade de biomassa passa a ser o limitante. Como alguns insumos possibilitam a formação de estoque, estes aumentam sua previsibilidade de disponibilidade.

Outro fator relevante para este requisito é a possibilidade de operar com baixo fator de capacidade. Geralmente, as usinas economicamente mais competitivas com essas características são aquelas que operam com motores de ciclo Otto ou Diesel. Nesta situação, pode haver a necessidade de armazenamento de combustível por períodos relativamente longos, o que coloca os combustíveis líquidos e gasosos em destaque para utilização.

Os recursos controláveis com resposta rápida são importantes para esta análise, pois os requisitos de capacidade podem ocorrer de forma extemporânea, requerendo pronto atendimento. Neste sentido, os motores (ciclo Otto e ciclo Diesel)

bem como as turbinas a gás do ciclo Brayton são os que melhor respondem a este critério. Os equipamentos que compõem o ciclo combinado não permitem uma resposta rápida tão eficiente quanto aos demais ciclos já citados. O ciclo Rankine necessita de uma curva de carga que leva tempo para que o patamar ótimo de operação seja atingido, não o habilitando uma resposta rápida.

A resposta rápida e variável é um recurso que os motores (ciclo Otto e ciclo Diesel) atendem satisfatoriamente. Este recurso não é facilmente atendido pelo ciclo Brayton; e não é possível os ciclos Rankine e combinado.

Para o requisito capacidade o baixo custo variável é uma característica importante, porém irá interferir de maneira pouco significativa. Ao gerarem energia, permitem que outros recursos mais onerosos ao sistema não sejam utilizados. Neste sentido, a tecnologia mais competitiva é a do ciclo Combinado. Os demais ciclos termodinâmicos não atendem a este requisito de maneira tão eficiente.

## 5.3. Flexibilidade mensal

Se por um lado há diminuição da capacidade de armazenamento dos recursos hídricos, as biomassas possibilitam a flexibilidade mensal por possuírem a disponibilidade complementar com os demais recursos do sistema, destacadamente a sua característica de sazonalidade anual complementar a maior parte das afluições às hidrelétricas. Como exemplo, cita-se os subprodutos da indústria sucroenergética, que apresenta maior oferta nos meses de maior escassez hídrica, aumentando a robustez do sistema elétrico como um todo.

Apesar da disponibilidade complementar não ser atendida de forma plena, por tratar-se de um recurso natural suscetível a intempéries climáticas que possam comprometer a quantidade disponível deste recurso energético, o consórcio de diversas fontes de biomassa pode dirimir esta fragilidade.

A dispersão espacial do recurso pode atuar como uma característica que fortalece sua disponibilidade, pois diminui o risco de impactos do clima em todas as biomassas simultaneamente.

Os ciclos termodinâmicos, mais uma vez, apresentam características que possibilitam a geração sempre que necessário, dada a disponibilidade da fonte. Isso faz com que a flexibilidade mensal dependa de forma direta da biomassa e nem tanto das rotas tecnológicas, que podem se adequar para atender a este requisito nesta escala de tempo.

#### 5.4. Flexibilidade horária

A inserção crescente de fontes não controláveis faz com que as rotas tecnológicas que permitam uma resposta rápida (ou rápida e variável) sejam cada vez mais valorizadas na matriz elétrica nacional. A resposta rápida e variável é factível para os motores (tanto do ciclo Otto quanto do ciclo Diesel) e as turbinas aeroderivativas do ciclo Brayton. Outras tecnologias (como a do ciclo Rankine e Combinado) não atendem a este requisito da mesma forma.

A pronta resposta é uma característica intrínseca à tecnologia utilizada, não sendo tão

#### 5.5. Baixa Emissão de Gases de Efeito Estufa

A matriz elétrica brasileira destaca-se por ser uma das mais limpas do mundo, por ter recursos renováveis em grande parte da sua composição. Esta característica deve permanecer presente ao longo do horizonte deste estudo, dado a vasta oferta de fontes não fósseis disponíveis no país.

As preocupações nacionais para o atendimento das metas estabelecidas nos acordos de âmbito internacionais incluem todos os setores da economia, fazendo com que as preocupações relativas a esta questão recaiam também sobre as fontes de energia do setor elétrico. Neste sentido, a melhor contribuição consiste em adotar as rotas

O baixo custo variável de operação interfere de forma indireta neste requisito ao permitir que haja estoque de outros recursos energéticos agregando maior flexibilidade e segurança na operação.

vulnerável às características do insumo. Destarte, a multiplicidade de tecnologias poderá contribuir para que haja maior robustez na operação do sistema, aumentando a garantia de uma resposta imediata quando necessário.

Assim, a maior contribuição para resposta rápida se dará através do uso de motores de combustão interna e turbinas a gás aeroderivadas. Atenderão de forma menos eficaz os ciclos Rankine e Combinado. A resposta variável será atendida mais adequadamente pelos motores, que podem operar rampas positivas e negativas de carga.

tecnológicas que apresentam maior eficiência na geração, deslocando a máxima quantidade possível do insumo fóssil que esta substitui. Adiciona-se que o Brasil tenderá a adotar as medidas mais atrativas economicamente para mitigar suas emissões, independente a que setor econômico pertençam.

Dentre os ciclos termodinâmicos utilizados para a geração elétrica com biomassa, o que apresenta maior eficiência é o ciclo combinado, seguido pelos ciclos motores Otto e Diesel. As turbinas a gás (ciclo Brayton) e a vapor (ciclo Rankine) são as que apresentam menor contribuição neste requisito.

### 5.6. Disponibilidade próxima aos centros de carga

Considerando que os recursos de biomassa são diversos e se apresentam de forma ampla no território nacional, os aspectos locais levarão em conta a proximidade com o centro de carga, a capacidade de transporte do combustível, o pré-tratamento, se necessário, da matéria prima e a GD.

Desta forma, podem colaborar significativamente os motores Otto e Diesel, por serem bastante compactos e de estrutura simplificada, com fácil reprodução. Assim, podem ser deslocados com facilidade e

adaptados onde houver demanda energética e disponibilidade do recurso. As outras rotas tecnológicas exigem maior sofisticação e por isso apresentam uma contribuição menos significativa neste sentido. Embora a variedade de biomassa que possa ser utilizada nos ciclos Brayton e Rankine seja vasta, estes equipamentos não tem a mesma mobilidade identificada nos motores. E o ciclo combinado apresenta uma estrutura ainda mais complexa, fazendo com que sua utilização ocorra em locais pensados estrategicamente para este fim.

## 6. Tabela Síntese

A estrutura a seguir ilustra como foram abordadas as interfaces entre os requisitos do setor elétrico, as tecnologias e as biomassas avaliadas.

### 1. Menor capacidade de armazenamento no SIN

- a. Contribuição elevada
  - i. Recursos controláveis, que permitam gerar energia sempre que for necessário
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias (de acordo com as características das termelétricas) / biomassas (de acordo com a disponibilidade)
  - ii. Baixo custo variável de operação
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: cogeração ou residual (custo de combustível biomassa)
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo a vapor, ciclo Brayton e motor / Todas as biomassas
- b. Contribuição limitada
  - i. Disponibilidade complementar aos demais recursos do sistema
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias / Biomassas com disponibilidade no período de maio a novembro
  - ii. Recurso controlável com resposta rápida
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores e ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Rankine / Biomassa: biomassa sólida
  - iii. Recurso controlável com resposta rápida variável
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado e ciclo Rankine / Todas as biomassas
- c. Baixo grau de contribuição ou contribuição indireta
  - i. Eficiência na geração
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Brayton e ciclo Rankine / Todas as biomassas
  - ii. Disponibilidade próxima ao centro de carga
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias / Biomassas disponíveis próximas ao centro de carga
  - iii. Geração distribuída
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton e ciclo Rankine / Todas as biomassas
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado (Restrição é o custo da tecnologia) / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos

## 2. Requisitos de Capacidade

- a. Contribuição elevada
  - i. Recursos controláveis, que permitam gerar energia sempre que for necessário
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as Tecnologias/biomassas (características das termelétricas)
  - ii. Possibilidade de operar com baixo fator de capacidade
  - iii. Recurso controlável com resposta rápida
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores e ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Rankine / Biomassa: biomassa sólida
  - iv. Recurso controlável com resposta rápida variável
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado e ciclo Rankine / Todas as biomassas
- b. Baixo grau de contribuição ou contribuição indireta
  - i. Baixo custo variável de operação
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: cogeração ou residual (custo de combustível biomassa)
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo a vapor, ciclo Brayton e motor / Todas as biomassas

## 3. Flexibilidade Mensal

- a. Contribuição elevada
  - i. Recursos controláveis, que permitam gerar energia sempre que for necessário
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as Tecnologias/biomassas (características das termelétricas)
- b. Contribuição limitada
  - i. Disponibilidade complementar aos demais recursos do sistema
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias / Biomassas com disponibilidade no período de maio a novembro
- c. Baixo grau de contribuição ou contribuição indireta
  - i. Baixo custo variável de operação
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: cogeração ou residual (custo de combustível biomassa)
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo a vapor, ciclo Brayton e motor / Todas as biomassas
  - ii. Recurso controlável com resposta rápida
    - 1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores e ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    - 3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Rankine / Biomassa: biomassa sólida
  - iii. Recurso controlável com resposta rápida variável

1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado e ciclo Rankine / Todas as biomassas

#### 4. Flexibilidade Horária

- a. Contribuição elevada
  - i. Recurso controlável com resposta rápida variável
    1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado e ciclo Rankine / Todas as biomassas
  - b. Contribuição limitada
    - i. Recurso controlável com resposta rápida
      1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores e ciclo Brayton / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
      2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo combinado / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
      3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Rankine / Biomassa: biomassa sólida

#### 5. Emissão de GEE

- a. Contribuição elevada
  - i. Eficiência na geração
    1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Ciclo combinado e ciclo Rankine / Todas as biomassas
    2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Brayton e ciclo Rankine / Todas as biomassas

#### 6. Aspectos Locacionais

- a. Contribuição elevada
  - i. Disponibilidade próxima ao centro de carga
    1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias / Biomassas disponíveis próximas ao centro de carga
  - ii. Geração distribuída
    1. Contribuiriam de forma elevada: Tecnologia: Motores / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
    2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton e ciclo Rankine / Todas as biomassas
    3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo combinado (Restrição é o custo da tecnologia) / Biomassa: biogás e combustíveis líquidos
  - iii. Capacidade de transporte do combustível

1. Contribuiriam de forma elevada: Todas as tecnologias / Biomassa: combustíveis líquidos
2. Contribuiriam pouco ou de forma indireta: Tecnologia: Ciclo Brayton, ciclo combinado e motores / Biomassa: biogás
3. Contribui de forma limitada: Tecnologia: Ciclo Rankine / Biomassa: biomassa sólida



## 7. Considerações e Recomendações

A análise apresentada neste documento norteia-se pelas principais características já identificadas pelo planejamento do sistema elétrico, e como as diversas tecnologias de geração e disponibilidade de recursos provenientes de biomassa se relacionam com elas. Com base nos pontos levantados, é possível identificar que há alguns obstáculos que podem ser suplantados.

Os critérios utilizados para classificar as biomassas e as rotas tecnológicas consideraram aspectos como sua sazonalidade e possibilidade de armazenamento, bem como outras propriedades que poderiam aumentar a sinergia entre elas, impulsionando a eficiência dos processos de geração. As rotas tecnológicas avaliadas, embora já consolidadas, ainda podem ter melhorias que promovam o incremento de sua eficiência. Cabe adicionar que algumas rotas que hoje apresentam-se pouco competitivas podem tornar-se mais atrativas caso novas soluções sejam incorporadas. Ações que aumentem a atratividade econômica das tecnologias e das fontes utilizadas podem acrescer sua participação na matriz elétrica brasileira.

Cada rota apresenta características que podem atender completa ou parcialmente os requisitos identificados para o setor elétrico. É possível o desenvolvimento tecnológico que potencialize as características que atendam completamente as necessidades do setor elétrico e/ou supere os obstáculos que as façam atender parcialmente. Esse desenvolvimento pode se dar tanto pela relação de diferentes formas de biomassa e tecnologias de geração termelétrica, quanto ao cultivo, manejo e armazenamento dos recursos primários. Cita-se como exemplo a maior utilização das palha e pontas no setor sucroenergético, ampliando o período de geração das usinas deste setor.

O perfil do parque de geração nacional tem se alterado nos últimos anos com a inserção cada vez

maior de fontes não controláveis, como eólica e solar fotovoltaica, além da construção de usinas hidrelétricas a fio d'água. Assim, as ações tomadas para melhor acompanhar estas alterações consistem tanto na revisão das normas que regem a operação e as transações no mercado, quanto na mensuração de quão flexível é o parque nacional para garantir o atendimento dentro dos critérios de segurança e planejar alternativas de expansão dessa flexibilidade, quando for preciso.

Neste contexto encaixa-se o maior uso de térmicas, que atendam aos critérios de energia, capacidade e flexibilidade. Conforme exposto, a biomassa, com seus diferentes tipos de insumo e de tecnologias associadas, pode assumir um papel relevante para o atendimento a esses requisitos do setor elétrico frente às mudanças em curso das características do sistema.

Medidas que podem ser tomadas neste sentido incluem a remuneração adequada pelo setor elétrico dos serviços requeridos. Com isso, os empreendimentos a biomassa serão candidatos a prover o atendimento às necessidades do sistema. Adiciona-se a possibilidade de impulsionar o desenvolvimento de tecnologias e processos com objetivos específicos. Por exemplo, para contrapor a menor capacidade de regularização do sistema, assim como para atender os requisitos de capacidade e de flexibilidade mensal ou horária, o desenvolvimento de tecnologias e métodos de armazenamento de combustíveis poderia aumentar a contribuição da biomassa.

O aprimoramento do processo de produção e a consolidação da utilização do biogás para geração termelétrica, como um recurso controlável com resposta rápida, poderia agregar benefícios significativos para o sistema elétrico. Neste aspecto, agrega-se o crescimento do arcabouço legal, em âmbito nacional e estadual, com o objetivo de incentivar o uso do biogás para esse fim.

O direcionamento de esforços no sentido de aumentar a eficiência das plantas geradoras existentes ou das futuras, por meio de modernização, contribuiria direta ou indiretamente para o aumento da relevância da biomassa no atendimento a diferentes requisitos sistêmicos, além da redução nas emissões de gases do efeito estufa. Assim, o fomento a linhas de pesquisas que vislumbrem soluções tecnológicas alternativas, bem como a identificação de entraves burocráticos que criam óbice à maior inserção da biomassa são relevantes.

Cabe registrar a promulgação da Política Nacional de Biocombustíveis - RenovaBio, instituída pela Lei nº 13.576/2017 que estimula a maior eficiência das usinas sucroenergéticas e cria um

mercado de certificados. Esta legislação atua de forma indireta no contexto elétrico pois há um incentivo para que mais unidades deste setor exportem energia para o SIN, aumentando o uso da biomassa e interferindo de forma significativa no cenário atual.

Outras ações com o mesmo objetivo poderiam considerar a promoção de selos para tecnologias mais eficientes, políticas de subsídios decrescentes ou ainda beneficiamento com a futura adoção de tarifa horária.

Um mercado de carbono internacional forte também pode estimular a maior participação de biomassa em âmbito nacional.