



MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO



PNE 2050

PLANO NACIONAL DE ENERGIA



VERSÃO PARA
CONSULTA PÚBLICA



MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Bioenergia

O Brasil é reconhecidamente beneficiado pelas suas condições de solo e clima (características edafoclimáticas), que permitem diversas fontes de biomassa prosperarem de forma abrangente. Diante de tão profícua oferta, a bioenergia é vista como uma das alternativas mais promissoras para o futuro energético sustentável, para o quê seu cultivo deve continuar ocorrendo em áreas que respeitem a preservação das florestas nativas e que estejam de acordo com o arcabouço legal de proteção ao meio ambiente.

A utilização da biomassa ocorre através de rotas tecnológicas diversas, nas quais são consideradas características dos insumos, como poder calorífico, estado físico e aplicação. Tradicionalmente, o país aproveita energeticamente, de forma direta, a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, a lixívia, resíduo do setor de papel e celulose, e cascas de arroz através da combustão e, através da transformação em biocombustíveis, os açúcares da cana dão origem ao etanol e os óleos de culturas oleaginosas, como a soja e o algodão, e os sebos ou gorduras animais são insumos para o biodiesel e diesel renovável. Além destas, há diversas biomassas alternativas disponíveis para o aproveitamento energético no país, como resíduos da cana-de-açúcar (palhas e pontas, vinhaça e torta de filtro), resíduos da indústria madeireira (cavaco), palhas das culturas de soja e milho, cascas de arroz e café, resíduos de coco, feijão, amendoim, mandioca e cacau, resíduos agroindustriais e pecuários de confinamento, lodo de estação de tratamento de esgoto e resíduos sólidos urbanos (RSU), entre outros, que podem ser utilizadas para combustão direta ou produção de biogás. Como muitas biomassas são sazonais em seus processos de produção, sobretudo as do setor agrícola, seu aproveitamento energético deve considerar, portanto, estas variações mensais na oferta do recurso.

O potencial nacional para incremento da produção de biomassa é bastante significativo e o País tem condições de aumentar a participação de biocombustíveis no mercado doméstico e internacional de maneira sustentável. Além disso, a sinergia entre inteligência artificial, internet das coisas (IoT), robótica, *drones*, *blockchain*, realidade aumentada, realidade virtual e impressoras 3D podem aumentar a produção de biocombustíveis, e consequentemente, seu consumo. Contudo, mais especificamente para o etanol, o crescimento do mercado externo pode ser impulsionado caso haja maior número de países produtores. Atualmente, cerca de 80% da produção global é atendida por apenas dois países: Brasil e Estados Unidos. Fomentar a diversificação desta produção poderá fortalecer o mercado interno e externo.

De um modo geral, o aproveitamento energético pode se dar para atender ao setor de transportes ou para o setor elétrico. No setor elétrico, a participação da biomassa atinge 8,5%, enquanto supera os 23% no setor de transportes, alcançado parcela superior a 30% da demanda energética nacional em 2018.

No setor de transporte, espera-se que a demanda por biocombustíveis aumente progressivamente, devido à implementação da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), que entrou em vigor no início de 2020, e visa contribuir para a regularidade do abastecimento, assim como para a participação competitiva dos diferentes biocombustíveis no mercado nacional de combustíveis. Esta política cria um mercado de créditos de carbono (CBIO) para o setor de transportes, onde a parte obrigada a adquiri-los é a distribuidora de combustíveis. Atualmente, discute-se a flexibilização da sistemática de comercialização de combustíveis excluindo a necessidade da intermediação do distribuidor na venda de etanol hidratado com o revendedor (Venda Direta de Etanol). Os impactos decorrentes desta implementação neste mercado ainda necessitam de estudos mais aprofundados sobre tributação, regulação, assim como em aspectos logísticos e contratuais. Os biocombustíveis considerados no RenovaBio são: etanol anidro e hidratado (de primeira e de segunda geração); biodiesel; biometano, bioquerosene de aviação (bioQAV), além de biocombustíveis alternativos. Através de seus mecanismos de funcionamento, juntamente com as políticas vigentes de misturas obrigatórias, é esperado um incremento da participação do etanol de 1ª geração e do biodiesel na matriz de transportes, assim como o desenvolvimento da produção competitiva dos demais biocombustíveis considerados nesta política. Nesse contexto, novas matérias-primas deverão surgir como opção no processo produtivo, diversificando ainda mais o *mix* de insumos e contribuindo para a interiorização da produção nacional de biocombustíveis, manutenção do emprego e da renda no campo, assim como para a redução das emissões no transporte de combustíveis. Dessa forma, o aumento da produção e do uso de biocombustíveis poderá aumentar proporcionalmente a oferta de coprodutos e, com isso, levar ao aumento da oferta de biomassa como matéria-prima como insumo para geração de energia elétrica.

Já no setor elétrico, o aumento da produção de biomassa levará a uma maior oferta de insumos energéticos renováveis que podem ser direcionados para geração elétrica. Assim, passa a ser relevante analisar a utilização da palha da cana e de outras culturas para ampliação do fator de capacidade das UTEs que fazem uso desta fonte. Para tanto, faz-se necessário implementar sistemas de coleta que preservem as condições agrônomicas e apresentem custos competitivos, além do desenvolvimento de alternativas para o armazenamento de biomassa até a entressafra e/ou de energia e outras rotas tecnológicas.

Perspectivas Tecnológicas

No caso do setor elétrico, os insumos e tecnologias ainda não utilizados em larga escala e que contam com perspectivas para penetração na matriz energética estão apresentados na Figura 47.

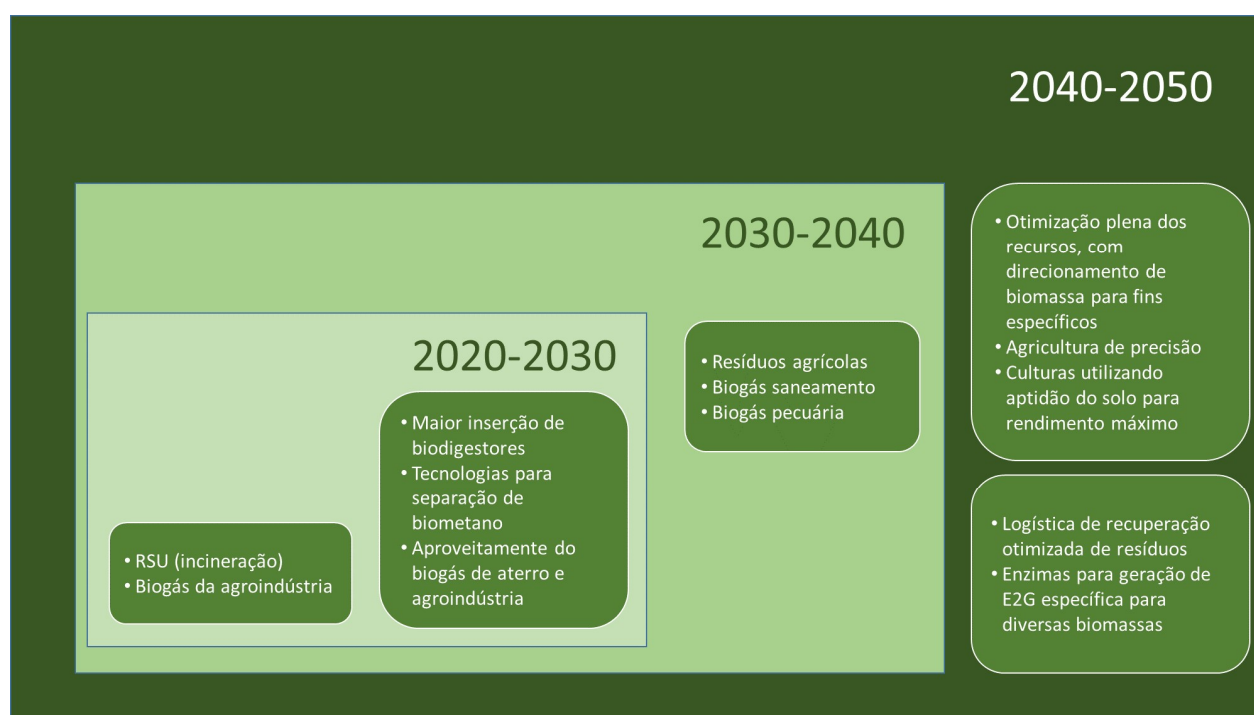


Figura 47 - Perspectivas tecnológicas ligadas à biomassa

A biotecnologia poderá proporcionar um ganho de eficiência na produção de biocombustíveis, tanto na parte agrícola quanto industrial, aumentando a produtividade global deste segmento. Destacam-se o desenvolvimento de variedades transgênicas e enzimas, assim como a adaptação das etapas de processo para oferta de novos produtos.

Novas tecnologias podem vir a utilizar biomassas heterogêneas com elevada eficiência, aumentando a oferta de energia desta fonte. Alternativas atuais ainda são pouco competitivas, mas, a longo prazo, espera-se que o consórcio de biomassas diversas seja otimizado, reduzindo ao máximo os resíduos deste processo. Nesse aspecto, a remoção das barreiras técnicas para a maior produção de etanol de segunda geração de cana-de-açúcar contribui para maior oferta desta fonte. O Brasil já possui duas plantas em operação, com capacidade de produção de 100 milhões de litros anuais deste biocombustível.

O biometano pode ser usado em frotas de veículos leves e pesados, o que contribuiria ambiental e economicamente, podendo reduzir as emissões de gases de efeito estufa e poluentes locais, assim como minimizar a dependência de combustíveis fósseis. No entanto, o potencial técnico-econômico de sua produção e uso ainda não são plenamente conhecidos. Existem ainda algumas iniciativas em âmbito estadual para incentivar o seu uso.

Os novos biocombustíveis, tais como o etanol lignocelulósico, a gasolina verde, o diesel verde e o bioquerosene de aviação se apresentam como possíveis substitutos aos seus similares de origem fóssil por serem *drop-in*. O diesel verde encontra-se em processo de regulamentação. O bioquerosene de aviação também desponta como uma opção para o futuro, dados

os acordos internacionais, como o CORSIA (*Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*), aprovado pela ICAO (*International Civil Aviation Organization*). Este instrumento baseado em condições de mercado reforça a obrigação da indústria de aviação em mitigar as emissões de CO₂e (ou GEE) de suas operações internacionais.

Ainda existem ações a realizar para a disseminação e o desenvolvimento desses novos biocombustíveis como regulamentação, desenvolvimento tecnológico e competitividade de preços frente aos substitutos fósseis.

Desafios Principais

1. *Concentração da produção de biocombustíveis em poucos países no mundo*

Brasil e Estados Unidos são responsáveis por mais de 80% da produção mundial de etanol e são os dois maiores produtores de biodiesel (37%). O crescimento e diversificação de países na produção e no consumo de biocombustíveis é uma condição necessária para que haja aumento do comércio internacional e eventual formação de um mercado internacional de biocombustíveis.

2. *Diversificação das biomassas para biocombustíveis e desenvolvimento de novos biocombustíveis*

A diversificação das biomassas e o desenvolvimento de novos biocombustíveis podem trazer soluções alternativas para auxiliar na descarbonização de segmentos do transporte como a navegação e o transporte aéreo ou em bioplásticos e biomateriais. Dadas as condições edafoclimáticas favoráveis, a diversificação da produção da biomassa pode contribuir para alavancar o desenvolvimento regional do Brasil. Por exemplo, a produção de outras oleaginosas como a macaúba e palma, além do uso de biomassas residuais, pode ampliar a produção de biocombustíveis, tanto os tradicionais quanto os novos: biodiesel base éster, diesel verde e bioQAV, etanol e biogás. Ainda existem ações a realizar para a disseminação e o desenvolvimento desses novos biocombustíveis como regulamentação, desenvolvimento tecnológico, competitividade de preços frente aos substitutos fósseis. Dessa forma, o aproveitamento de outros insumos e mesmo a expansão de biomassa já utilizada para a produção de biocombustíveis deve ser direcionada para regiões de maior aptidão agrônômica, respeitando a legislação ambiental.

3. *Diversidade de qualidade do produto e assimetria de informação*

Uma das barreiras para a ampliação do aproveitamento de biomassa é a diversidade na qualidade do combustível gerado. Por exemplo, na cogeração industrial a inexistência de padronização sobre o combustível, de modo que facilite a utilização e a validação do preço, impede seu maior aproveitamento. O mesmo vale para os biocombustíveis veiculares e sua aplicação internacional. A diversidade de qualidade leva a uma significativa assimetria de informação, aumentando os custos de transação da fonte.

4. *Diversidade de atores estabelecendo políticas públicas para o setor de transportes*

Diversas políticas públicas concorrem para o crescimento do setor de transportes de modo mais eficiente, limpo, confiável e economicamente sustentável, tais como a Política Nacional de Biocombustíveis, o Rota 2030, o Proconve, o PNPB, PBEV e a PNMU, estabelecido por ministérios, governos locais ou reguladores distintos. Adicionalmente, existem avanços para a regulação de biocombustíveis alternativos, como o diesel verde. Outras iniciativas relativas ao uso de biometano e bioQAV são registradas em âmbito nacional e algumas apenas estaduais. Mas nota-se que há um amadurecimento nesse sentido, e é esperado que no longo prazo o arcabouço legal para seu uso esteja mais robusto. Estabelecer um sistema efetivo de governança dessas políticas, do compartilhamento de estatísticas e de informações é uma tarefa complexa e que exige coordenação e estratégia de comunicação entre as diferentes partes interessadas.

Exercícios Quantitativos

Os exercícios qualitativos relacionados às perspectivas de expansão centralizada de termelétricas a biomassa dizem respeito aos seguintes aspectos no horizonte do PNE 2050:

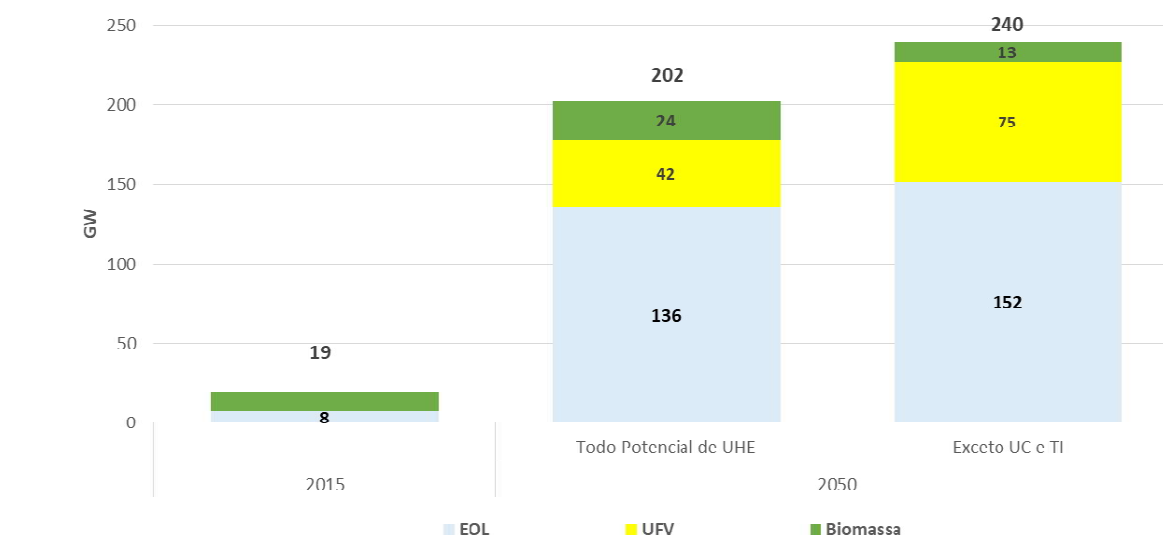
1. Como a participação relativa das UTEs a biomassa na capacidade instalada total está relacionada com a expansão da capacidade instalada de hidrelétricas?
2. Qual o efeito do aumento do fator de capacidade das UTEs a bagaço usando o insumo na entressafra? Qual a sensibilidade desse efeito em relação ao custo deste insumo?

1. *Como a participação relativa das UTEs a biomassa na capacidade instalada total está relacionada com a expansão da capacidade instalada de hidrelétricas?*

Em relação à melhor compreensão do papel da fonte bioenergia na expansão do setor elétrico, merece destaque que foram disponibilizadas duas tecnologias de combustão para a otimização por minimização de custos, uma movida a bagaço de cana, durante a safra, e outra a cavaco de madeira, com elevado fator de capacidade.

Enquanto esta última foi considerada dispendiosa para o atendimento da expansão na maior parte dos exercícios considerados, em função da necessidade de custeio do combustível e do investimento na usina, a cogeração com bagaço de cana no mínimo dobra sua potência instalada relativa ao ano base nos casos simulados, ainda que reduza sua participação relativa na matriz elétrica no fim do horizonte.

A maior expansão da bioenergia, por sua vez, parece estar ligada à maior expansão da hidrelétrica (Figura 48): A UTE a biomassa tradicional tende a entrar mais quanto maior a oferta de UHE, por conta da complementaridade sazonal.



Casos	Todo Potencial de UHE: Inclui todo potencial inventariado de UHE acima de 30 MW	Exceto UC e TI: Considera na expansão apenas UHEs acima de 30 MW sem interferência em áreas protegidas
VPL do Custo Total da Geração Centralizada (R\$ bilhões)	723	742

Figura 48 - Participação das Fontes Renováveis Não Hidrelétricas, com destaque para biomassa, nos casos comparados relativos à complexidade socioambiental das UHEs

Contudo, quando a alternativa de repotenciação de UHEs existentes é incluída nas simulações, a expansão da capacidade instalada de UTE a biomassa no horizonte não é muito diferente daquela sem repotenciação. Ou seja, embora haja um acréscimo da capacidade instalada de UHE via repotenciação, este não parece estar associado a uma expansão adicional de UTE a biomassa.

2. *Qual o efeito do aumento do fator de capacidade das UTEs a bagaço obtido usando-se o insumo na entressafra?*

Nas simulações para o **Cenário Desafio da Expansão**, a geração das UTEs a biomassa de cana fica concentrada no período da safra da cana-de-açúcar, de 7 meses por ano. Assim, mesmo levando em conta a manutenção anual da usina termelétrica (prazo típico de 1 mês), existe a possibilidade de o parque instalado funcionar por mais 4 meses, caso haja combustível disponível. Por conta da existência de palhas e pontas dispostas no campo em quantidade superior aos requisitos agrônômicos, há potencial para ser utilizado durante o período de ociosidade das usinas, mas esse aproveitamento requererá adequações de coleta, transporte e armazenamento.

Para simular todos esses custos, considerou-se alternativamente a utilização do cavaco de madeira no período de entressafra da cana, pois parte das usinas já está acostumada a esse tipo de combustível e seu custo é conhecido. Estimou-se, então, o custo mensal de combustível das UTEs a biomassa como a média ponderada entre os custos do

bagaço de cana e do cavaco de madeira, tomando como pesos os períodos de disponibilidade no ano. Os resultados em termos de energia gerada a partir de tais usinas com maior fator de capacidade aumentam de forma significativa com sua melhor utilização, além de menor custo total do que as alternativas anteriores, pois há uma melhor utilização da capacidade instalada das termelétricas a bagaço, complementadas por um combustível relativamente barato.

A Figura 49 apresenta uma possível distribuição da exportação de eletricidade por usinas a bagaço de cana e por usinas a bagaço de cana consorciada a cavaco de madeira ao longo do ano, supondo que a produção dentro do trimestre é uniforme. Vale destacar que a maior oferta de biomassa leva ao aumento da capacidade instalada durante a safra e que, na entressafra, a ociosidade da parte industrial da usina permite aumentar a exportação de eletricidade.

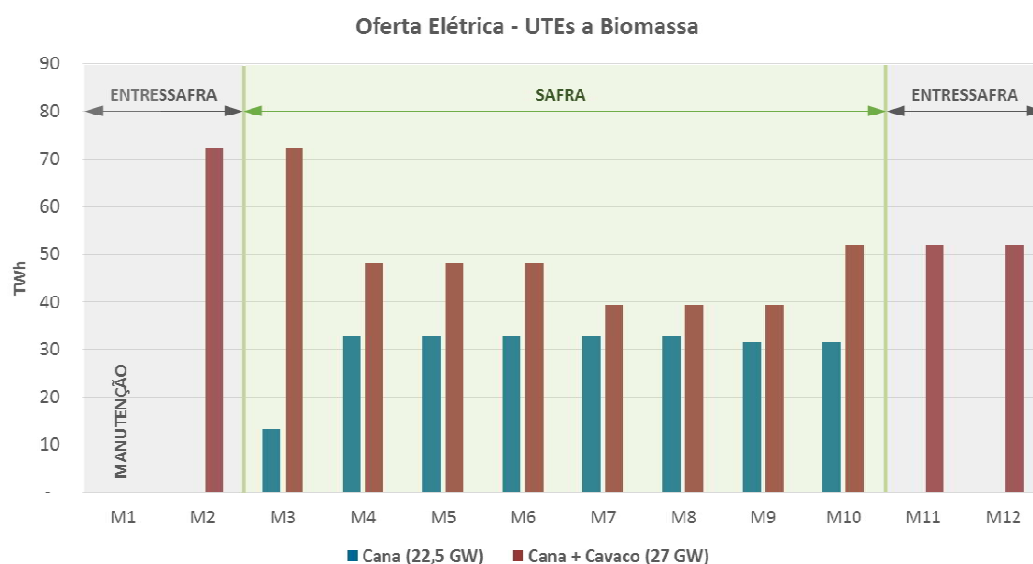
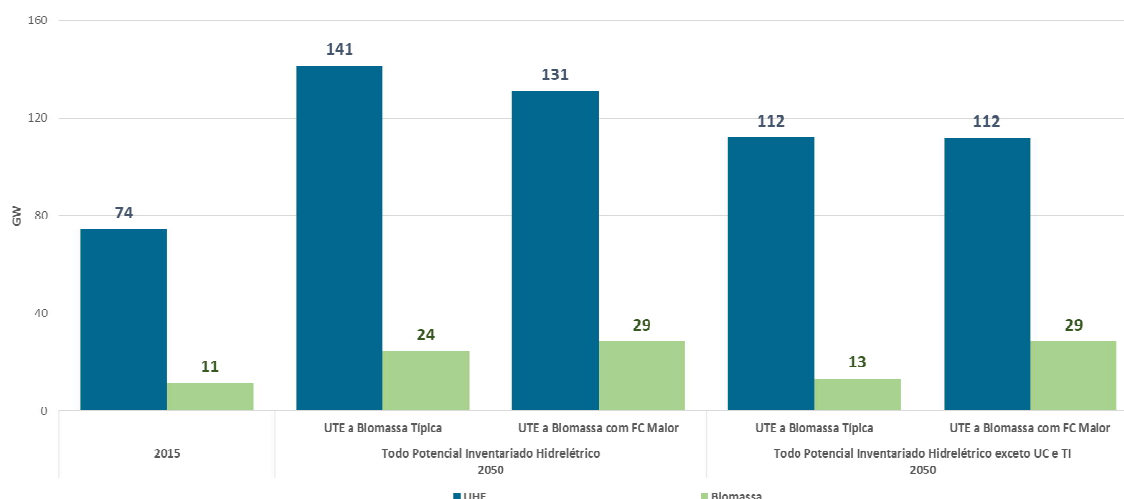


Figura 49 - Comparação entre exportação de eletricidade por usinas a bagaço de cana e por usinas a bagaço de cana consorciado a cavaco de madeira

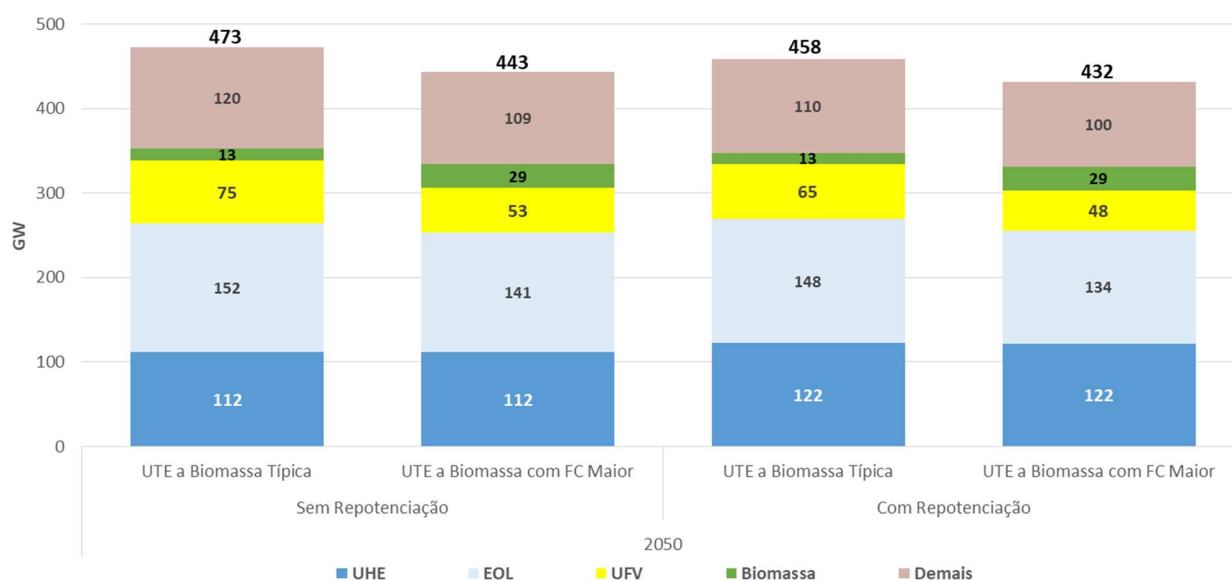
Entretanto, ao aumentar seu fator de capacidade por meio de utilização de insumo durante a entressafra, a UTE a biomassa perde a complementaridade com o parque hidrelétrico que a UTE a biomassa típica tem por conta da sua geração sazonal. Como se vê na Figura 50, no caso em que apenas a alternativa da UTE a bagaço de cana típica se apresenta, há uma relação direta entre sua expansão e a da UHEs. Por outro lado, quando a alternativa de aumento do fator de capacidade (FC) se apresenta, a menor expansão de UHE não parece alterar as perspectivas de inserção da UTE a bagaço de cana em termos de capacidade instalada. Esse efeito também ocorre perante a oferta de repotenciação.



Casos relativos a todo o potencial inventariado de UHEs acima de 30 MW	Todo Potencial Inventariado Hidrelétrico: <i>Ofertado todo potencial de UHE acima de 30 MW</i>		Todo Potencial Inventariado Hidrelétrico exceto UC e TI: <i>Ofertado apenas os projetos de UHE acima de 30 MW sem interferência com áreas protegidas</i>	
Casos relativos à possibilidade de utilização da biomassa no período de entressafra	UTE a Biomassa Típica: <i>Opera apenas durante a safra</i>	UTE a Biomassa com FC maior: <i>Opera com insumo durante a entressafra, aumentando seu fator de capacidade (FC)</i>	UTE a Biomassa Típica: <i>Opera apenas durante a safra</i>	UTE a Biomassa com FC maior: <i>Opera com insumo durante a entressafra, aumentando seu fator de capacidade (FC)</i>
VPL do Custo Total da Geração Centralizada (R\$ bilhões)	723	691	742	702

Figura 50 - Complementaridade na expansão das UHEs e das UTE a Biomassa: usina típica vs. usina com fator de capacidade maior

A combinação de aumento do fator de capacidade das UTEs a biomassa com a repotenciação do parque hidrelétrico (quando esta for vantajosa) pode levar a reduções ainda maiores do (valor presente líquido do) custo total da geração centralizada no horizonte do PNE 2050 e da capacidade instalada total em 2050. Na Figura 51, observam-se as reduções de capacidade instalada e de custo total no contexto em que a expansão de UHEs está limitada apenas às áreas sem interferência. A conclusão é análoga no caso quando todo o potencial inventariado de UHE está ofertado.



Casos relativos à repotenciação	Sem Repotenciação		Com Repotenciação: Repotenciação de parte do parque hidrelétrico brasileiro	
Casos relativos à possibilidade de utilização da biomassa no período de entressafra	UTE a Biomassa Típica: Opera apenas durante a safra	UTE a Biomassa com FC maior: Opera com insumo durante a entressafra, aumentando seu fator de capacidade (FC)	UTE a Biomassa Típica: Opera apenas durante a safra	UTE a Biomassa com FC maior: Opera com insumo durante a entressafra, aumentando seu fator de capacidade (FC)
VPL do Custo Total da Geração Centralizada (R\$ bilhões)	742	702	729	598

Figura 51 - Efeito combinado da repotenciação e da utilização da biomassa no período de entressafra no caso em que a expansão de UHEs está restrita àquelas sem interferência em áreas protegidas

2.1 Qual a sensibilidade do efeito a um maior custo deste insumo?

Avaliou-se também a sensibilidade da geração da UTE a biomassa quando ela produz o ano inteiro a custos do insumo disponível na entressafra mais elevados. A Figura 52 mostra que no caso em que há apenas as UTEs a biomassa típicas (isto é, as que só produzem durante os 7 meses de safra), observa-se a relação de complementaridade com a expansão de UHEs. Já a expansão das UTEs a biomassa que produzem o ano inteiro (portanto, com fator de capacidade mais alto) pouco varia se o potencial sem interferência com áreas protegidas está ou não disponível para a expansão. Ademais, ainda que o CVU aumente 50% e a potência instalada de UTEs a biomassa caia para cerca de 20 GW em 2050 (comparando-se com o caso em que há apenas UTEs típicas a biomassa: inferior (19 GW contra 24 GW) no caso em todo o potencial inventariado de UHE está disponível, mas, mesmo assim, maior (22 GW contra 13 GW) do que no caso em que o potencial inventariado de UHEs com interferência em áreas protegidas não está disponível), a geração no período médio continua superior ao caso com apenas UTEs a biomassa típicas, com melhor utilização da capacidade instalada. Entretanto, a custos de insumos excessivamente elevados, a expansão dessas usinas pode naturalmente, a partir de algum patamar, se mostrar pouco competitiva.

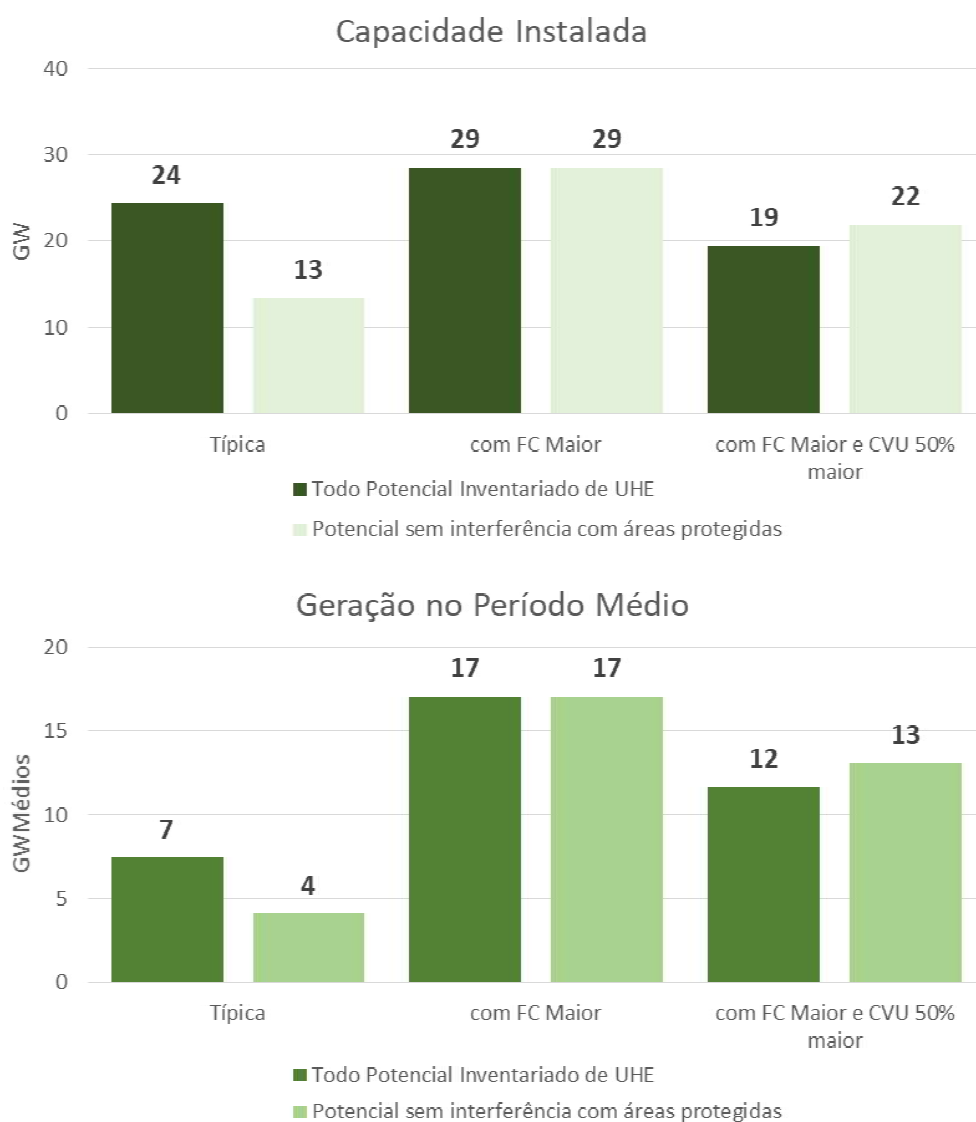


Figura 52 - Comparação da Capacidade Instalada e Geração no período médio do parque termelétrico a biomassa em 2050: Usinas Típicas e Usinas com Fator de Capacidade (FC) maior a custos diferentes

O expressivo acréscimo estimado de energia aliado à redução do custo total de geração indica a necessidade de se identificar as eventuais barreiras que impedem a utilização desse recurso energético, que ora decompõe-se no campo, bem como do ativo industrial, de modo a aumentar sua contribuição ao setor elétrico nacional.

Recomendações

1. *Articular, junto com autoridades competentes, a participação em iniciativas para aumentar a diversificação de produtores de etanol no mundo*

Articular com os órgãos responsáveis a proposição de padrão (especificação) internacional de biocombustíveis. Fomentar a participação do País em cooperações que fomentem a produção e o uso do etanol. O Brasil já participou de iniciativas neste sentido na África, objetivando aumentar a renda, emprego e melhorar nas condições de vida no continente. A cooperação bilateral técnica e tecnológica promoveu o uso de biocombustíveis, especialmente durante 2003-2010.

2. *Aumentar a atratividade dos biocombustíveis em segmentos de transportes com maior dificuldade de descarbonização por meio de ampla articulação nacional e internacional com governos, instituições e sociedade.*
Articular-se nacional e internacionalmente no sentido de ampliar a visibilidade do papel dos biocombustíveis em segmentos mais complexo de descarbonizar, promovendo o estímulo em P&D e regulamentação especialmente voltadas às áreas de navegação, aviação e bioplásticos/biomateriais. Além disso, deve-se priorizar rotas tecnológicas cujos ganhos de produtividade permitam ampliar a produção e diversificação de biocombustíveis sem o respectivo aumento de área plantada, respeitando a legislação ambiental.

3. *Articular, junto com autoridades competentes, a divulgação do cumprimento da legislação de proteção ao meio ambiente na cadeia de produção dos biocombustíveis.*
A redução de GEE associada ao maior consumo de biocombustíveis no lugar de combustíveis fósseis é um resultado expressivo nas políticas de mitigação associadas à produção de biocombustíveis. Por outro lado, é necessário articular, com autoridades competentes, melhor divulgação de que o País cumpre a legislação de proteção ao meio ambiente na cadeia de produção de biocombustíveis.

4. *Aumentar a convergência entre as políticas correlatas aos biocombustíveis*
Diversas políticas públicas (RenovaBio, Rota2030, Proconve, etc.) concorrem para o crescimento de mercado para biocombustíveis mais eficiente, limpo, confiável e economicamente sustentável. Desta forma, é necessário estabelecer um sistema efetivo de governança dessas políticas, do compartilhamento de estatísticas e de informações, que exige coordenação e estratégia de comunicação entre as diferentes partes interessadas. Especificamente para o biodiesel, é necessário adequar a evolução da mistura BX ao atendimento ao Proconve, considerando as mudanças previstas na fase P8/Euro 6. Alguns estudos apontam que estes motores não se encontram preparados para receber misturas com teores de éster acima de 7%. Observa-se que o diesel verde pode ser adicionado em quaisquer teores.

Mapa do Caminho - Bioenergia

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Concentração da produção de biocombustíveis em poucos países no mundo</i>	<i>Articular, junto com autoridades competentes, a participação em iniciativas para aumentar a diversificação de produtores de etanol no mundo</i>		
<i>Diversificação das biomassas para biocombustíveis e desenvolvimento de novos biocombustíveis</i>	<i>Aumentar a atratividade dos biocombustíveis em segmentos de transportes com maior dificuldade de descarbonização por meio de ampla articulação nacional e internacional com governos, instituições e sociedade</i>		
<i>Diversidade de qualidade do produto e assimetria de informação</i>	<i>Articular, junto com autoridades competentes, a divulgação do cumprimento da legislação de proteção ao meio ambiente na cadeia de produção dos biocombustíveis</i>		
<i>Diversidade de atores estabelecendo políticas públicas para o setor de transportes</i>	<i>Aumentar a convergência entre as políticas correlatas aos biocombustíveis</i>		