

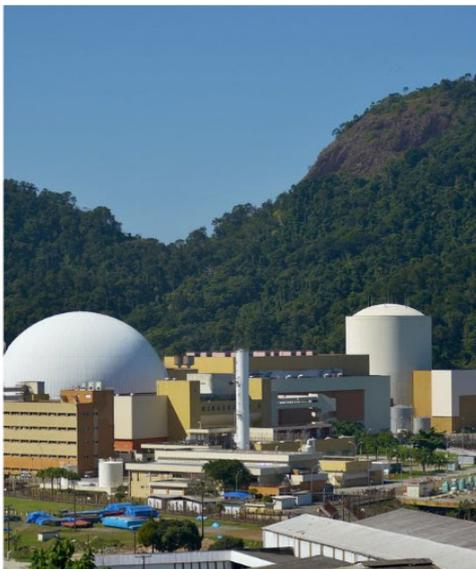


MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

WORKSHOPS DE FONTES ENERGÉTICAS NO ÂMBITO DO PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÕES E ESTUDOS ENERGÉTICOS





MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Júnior

Secretária Executiva

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Reive Barros dos Santos

Secretário Adjunto de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Hélvio Neves Guerra

Diretor do Departamento de Informações e Estudos Energéticos

André Luiz Rodrigues Osório

Coordenador-Geral

Rodolfo Zamian Danilow

Equipe Técnica:

Adriano Jeronimo da Silva

Daniele de Oliveira Bandeira

Gilberto Kwitko Ribeiro

João Antonio Moreira Patusco

Mônica Caroline Manhães dos Santos

Ana Carolina Pinheiro Faria - estagiária

Suellen de Almeida Lopes - estagiária

Apoio Administrativo:

Azenaite Ruivo Advincola Roriz

Empresas Participantes:

Rosatom

Associação Brasileira do Carvão Mineral - ABCM

Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura - CERI/FGV

Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos - ABREN

Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ

Westinghouse

Ministério de Minas e Energia

Esplanada dos Ministérios - bloco U - 5º andar

70.065-900 - Brasília - DF

Tel.: (55 61) 2032-5986 / 2032-5825

Relatório

Workshops de Fontes Energéticas no Âmbito do Planejamento de Longo Prazo

A Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE) do Ministério de Minas e Energia (MME), através do Departamento de Estudos e Informações Energéticas (DIE), promoveu os Workshops de Fontes Energéticas no Âmbito do Planejamento de Longo Prazo. Essa iniciativa foi composta por uma série de seis eventos que abordaram diferentes temas, como aproveitamento de recursos energéticos e tecnologias de geração. Esses workshops tiveram como objetivo o nivelamento de conhecimento e capacitação sobre as qualidades e usos dessas fontes. Por se tratarem de temas ainda pouco debatidos na sociedade, as discussões têm por finalidade ajudar a identificar seus potenciais benefícios ao país, assim como levantar questões relevantes para o planejamento de longo prazo do setor energético brasileiro.

Esses eventos foram realizados entre agosto e dezembro de 2019, no auditório do MME, em Brasília/DF. Cada um dos workshops foi realizado em parceria com empresas e associações especialistas nos temas selecionados. Dessa maneira, foi possível congregiar profissionais com vasto conhecimento e experiência em suas áreas, e apresentar o estado da arte das tecnologias. Os debates foram intensos e muito proveitosos para obter novas perspectivas de planejamento energético.

O presente relatório tem como objetivo registrar as principais mensagens transmitidas nos workshops. A estrutura segue a ordem cronológica de realização dos eventos, contendo um capítulo para cada tema abordado. Este documento também é fruto da cooperação entre o MME e os organizadores parceiros, os quais são os autores dos capítulos conforme segue:

Rosatom	<i>Capítulo 1. Tecnologia de Pequenos Reatores Nucleares Modulares (small modular reactor)</i>
ABCM	<i>Capítulo 2. Carvão Mineral: Geração Elétrica e Outros Usos</i>
CERI/FGV	<i>Capítulo 3. Geração Térmica a Gás Natural</i>
ABREN	<i>Capítulo 4. Recuperação Energética de Resíduos (waste-to-energy)</i>
IBÁ	<i>Capítulo 5. Biomassa Florestal Dedicada</i>
Westinghouse	<i>Capítulo 6. Tecnologias de Reatores para Geração Nuclear</i>

Portanto, enquanto os workshops aumentaram o diálogo da SPE com a sociedade, é necessário destacar a ressalva de que a opinião e posicionamento apresentados pelos organizadores parceiros neste Relatório são exclusivamente seus, e não necessariamente representam o posicionamento do MME.

Relação com o PNE

O debate promovido através dos workshops ocorreu em paralelo à elaboração do Plano Nacional de Energia 2050 – PNE 2050. Esse é o instrumento de planejamento energético de longo prazo do Governo, constituindo o alicerce a partir do qual os planos, políticas, programas e iniciativas são elaborados. O PNE é uma publicação do MME, que cumpre o papel de delinear as diretrizes de política e estratégia de governo para a elaboração dos estudos técnicos pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE.

Construído a partir das principais questões relevantes no horizonte, o PNE 2050 explora, por meio de cenários, os diversos aspectos da evolução do setor em uma perspectiva de diversas alterações na produção e uso de energia.

Em um contexto de grande incerteza, o objetivo do PNE 2050 é explorar alternativas de futuro de modo a aprimorar o processo de tomada de decisão em políticas energéticas. A variedade de possibilidades e a incerteza resultante requer que o tomador de decisão de política energética evite fazer escolhas que resultem em eventuais trajetórias tecnológicas que tornem mais custosa a opção de sair delas, caso se mostrem posteriormente equivocadas, fenômeno conhecido como trancamento tecnológico.

Agradecimentos

A SPE/MME agradece a todas as instituições que atuaram como organizadores parceiros dos eventos, aos profissionais que participaram e apoiaram a realização dos Workshops de Fontes Energéticas no Âmbito do Planejamento de Longo Prazo, bem como a todas as áreas de apoio do Departamento de Informações e Estudos Energéticos e suporte.

Em especial, a SPE agradece a Rosatom, Associação Brasileira do Carvão Mineral - ABCM, Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura - CERI/FGV, Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos - ABREN, Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ e Westinghouse.



Capítulo 1

TECNOLOGIA DE PEQUENOS REATORES NUCLEARES MODULARES (*Small Modular Reactor*)

Data: 26 de agosto de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Térreo

Co-organizador: Rosatom América Latina

Muitos países estão mudando seus paradigmas no âmbito da energia, buscando fontes eficientes, confiáveis, de baixa emissão e localizadas próximas aos consumidores. Assim, os reatores modulares pequenos se configuram como uma opção no cumprimento dos novos requisitos do sistema.

Além de preservar todas as vantagens da geração de energia nuclear (tais como a compatibilidade ambiental, a estabilidade dos suprimentos e a previsibilidade do preço de geração), esses reatores têm uma série de vantagens específicas: menor investimento de capital e de tempo de construção, arranjo compacto, modularidade, e possibilidade de operação em diferentes tipos de redes.

1.1 INTRODUÇÃO

A Rosatom é uma empresa verticalmente integrada única que cobre todo o ciclo do combustível nuclear, desde a mineração de urânio (chamada *front-end*), construção e operação da central nuclear (NPP) e operação e *back end* e desativação.

Além disso, a empresa pode garantir aos clientes suporte e serviços para todo o ciclo de vida do projeto. Essa estabilidade a longo prazo é realmente importante para a previsibilidade dos custos de eletricidade dos países e a estabilidade do fornecimento de eletricidade. A Rosatom também desenvolve seus negócios e pesquisas em setores não energéticos, por exemplo, reatores de pesquisa, tecnologias de radiação, medicina nuclear, quebra-gelo.

A empresa fornece soluções nucleares há mais de 70 anos para mais de 50 países em todo o mundo nos 5 continentes. A Rosatom é líder no mercado russo de geração de energia, gerando cerca de 19% da eletricidade russa. Como fornecedor, possui o maior portfólio de construção de NPP, principalmente em projetos de implementação de NPP no exterior. Atualmente, possui 36 unidades de energia nuclear no portfólio no exterior. Nos últimos 13 anos, encomendou com sucesso 14 NPPs na Rússia e no exterior. A Rosatom também cobre cerca de 14% do mercado global de extração de urânio.

O principal produto da Rosatom é o reator VVER-1200. É uma solução de geração de energia testada e altamente referencial. Por 7 décadas, a Rosatom construiu mais de 70 unidades VVER na Rússia e no exterior. Novas unidades VVER estão sendo construídas na Rússia no Novovoronezh NPP II, Leningrad NPP e no exterior no Ostrovets NPP na Bielorrússia. Hungria, Finlândia, Turquia, Egito e Bangladesh também planejam implementar a tecnologia VVER-1200.

Além da vasta experiência na construção da NPPs em larga escala, a Rosatom tem uma longa experiência no projeto e fabricação de reatores de pequena capacidade para aplicações marítimas. E a empresa continua desenvolvendo essas tecnologias para NPPs baseadas em SMR, que podem ser flutuantes e terrestres.

É importante dizer que a Rosatom não apenas projeta o futuro SMR, mas, no final de 2019, a primeira NPP flutuante do mundo baseado em SMR Akademik Lomonosov foi conectado à rede.

Hoje, a Rosatom oferece ao Brasil cooperação no projeto, construção e operação de pequenos reatores nucleares (SMR), a fim de fornecer eletricidade aos consumidores em áreas remotas e costeiras.

Em agosto de 2019, os especialistas da Rosatom realizaram oficinas de SMR em São Paulo e Brasília.

Durante o seminário de dois dias, os especialistas russos apresentaram questões técnicas, econômicas, de licenciamento e os principais modelos de implementação de projetos baseados em SMR. Este artigo apresenta os principais tópicos destacados durante o workshop.

1.2 TECNOLOGIAS ROSATOM SMR

1.2.1 O QUE É TECNOLOGIA SMR?

A Rosatom tem uma longa experiência no projeto e fabricação de reatores de pequena capacidade para aplicações marítimas. Em 1958, a União Soviética construiu o submarino nuclear e em 1959 o primeiro no navio nuclear mundial - quebra-gelo "Lenin". Hoje, a Rússia continua desenvolvendo essas tecnologias para NPPs baseado em SMR, que podem ser flutuantes e terrestres.

É importante dizer que a Rosatom não projeta apenas o futuro SMR, mas, no final de 2019, o primeiro SMR foi conectado à rede - o primeiro no mundo flutuante da central nuclear Akademik Lomonosov. Akademik Lomonosov possui dois reatores KLT-40S que podem gerar até 77 MW de energia elétrica. Isso é suficiente para uma cidade com mais de 50.000 pessoas.

Após o sucesso do FNPP Akademik Lomonosov, a ROSATOM está desenvolvendo um NPP flutuante otimizado. Um FNPP otimizado terá dois reatores RITM-200M, cada um com 50 MWe. Atualmente, os reatores da série RITM são uma solução pronta para uso: 6 reatores RITM-200 são instalados em novos quebra-gelo multiuso "Arktika", "Sibir" e "Ural". É por isso que é possível dizer que essa tecnologia de reator é referente.

As principais características do FNPPS otimizado são maior eficiência de combustível e dimensões mais compactas - é quase duas vezes menor em massa que o FNPP “Akademik Lomonosov “. O FNPP otimizado com os reatores RITM-200M está agora na fase de projeto conceitual.

A Rosatom não funciona apenas em soluções SMR flutuantes. Até agora a empresa já desenvolveu um projeto conceitual da SMR terrestre com dois RITM-200 (57 MWe cada). O NRP SMR terrestre tem uma vida útil de projeto de 60 anos, um ciclo de reabastecimento de até 6 anos, tempo de construção de 3 a 4 anos e fator de disponibilidade de 90%. Esses reatores são modulares e têm capacidade de NPP pode ser dimensionado para a demanda crescente de até 342 MW de capacidade elétrica instalada.

Para o projeto FOAK, a Rosatom agora está considerando vários locais para instalação na Rússia. A decisão principal sobre a construção da NPP FOAK no território da Rússia já foi tomada. Está planejado obter a licença de construção em 2023 e concluir a implantação comercial da FOAK SMR NPP em 2027. Até agora foi desenvolvido um projeto conceitual da pequena NPP baseada em terra. A SMR NPP baseada em terra da Rosatom é uma ótima solução para países com regiões remotas.

O SMR NPP da Rosatom possui excelentes características de segurança. É seguro e cumpre totalmente todos os requisitos de segurança pós-Fukushima.

1.2.2 QUAIS SÃO AS VANTAGENS?

O SMRS, tanto terrestre quanto flutuante, tem certas vantagens em comparação com NPPS em larga escala, fontes renováveis e fontes de energia convencionais.

a) SMR NPP em terra

As vantagens comparadas à NPP em larga escala são as seguintes:

- o SMRS pode ser considerado para uma ampla gama de locais em potencial, incluindo aqueles situados em zonas climáticas extremas ou sem acesso à infraestrutura da rede;
- pequena área ocupada e menor área de planejamento de emergência;
- período de construção reduzido (menos de 36 meses a partir do primeiro concreto para o NOAK);
- menor CAPEX;
- configuração integral dos principais equipamentos;
- modularidade;
- pessoal otimizado e alto grau de automação;
- carga flexível de acordo os recursos.

As vantagens comparadas às energias renováveis são as seguintes:

- independência das condições climáticas;
- operação de carga base;
- menor emissão (“*footprint*”) por 1 MW de capacidade instalada;
- aplicação multiuso (por exemplo, aquecimento urbano e dessalinização da água);
- longo ciclo de vida;
- carga flexível de acordo com os recursos.

As vantagens comparadas aos combustíveis fósseis são as seguintes:

- zero emissão de CO₂;
- previsibilidade dos custos operacionais (sem volatilidade nos preços dos combustíveis);
- longo ciclo de vida.

b) NPPS Flutuante

As vantagens em comparação com a NPP de larga escala são as seguintes:

- solução energética adequada para áreas isoladas e remotas com acesso limitado ou sem acesso às redes elétricas, por exemplo, ilhas, arquipélagos, litorais;
- flexibilidade máxima e rápida mudança para um novo local de operação;
- não há necessidade de desmontar as obras e deixar o local com contêineres SNF ou construir depósitos de resíduos radioativos quando o desmantelamento da NPP. Desmantelamento da NPP até “greenfield”;
- configuração integral dos principais equipamentos;
- carga flexível de acordo com os recursos.

As vantagens comparadas às energias renováveis são as seguintes:

- independência das condições climáticas;
- aplicação multiuso (por exemplo, aquecimento urbano e dessalinização da água);
- flexibilidade máxima e rápida mudança para um novo local de operação;
- uso do modelo de negócios da BOO ou *leasing* úmido, que aumenta a flexibilidade operacional, reduz os custos do consumidor para a criação de sua própria infraestrutura para operação do FNPP e gerenciamento de combustível.

As vantagens comparadas aos combustíveis fósseis são as seguintes:

- zero emissão de CO₂;
- flexibilidade máxima e rápida mudança para um novo local de operação;
- previsibilidade de custos (sem volatilidade nos preços dos combustíveis);
- o uso do modelo de negócios BOO ou locação (“*wet leasing*”), que aumenta a flexibilidade operacional, reduz os custos do consumidor para a criação de sua própria infraestrutura para operação do FNPP e gerenciamento de combustível;
- operação de carga base.

1.3 APLICAÇÃO NO MUNDO

Muitos países hoje, desenvolvidos e em desenvolvimento, estão mudando seus padrões de produção de energia, defendendo a substituição de carboidratos pelas fontes de energia da próxima geração: eficientes em termos de energia, confiáveis, livres de emissões e orientados para o consumidor. Nesse novo paradigma energético, que depende fortemente de fontes de energia renováveis, as pequenas usinas nucleares podem ajudar a indústria atômica a manter sua posição no mercado global.

Pequenas usinas nucleares compartilham todas as vantagens da geração nuclear convencional, como respeito ao meio ambiente, suprimento sustentável e preços previsíveis de eletricidade, com algo a oferecer além disso. A solução SMR atrairia uma grande variedade de clientes em todo o mundo devido a seus gastos de capital relativamente baixos, tamanho reduzido, modularidade, termos de construção reduzidos e compatibilidade com redes de baixa tensão.

De acordo com as estimativas mais conservadoras da Rosatom, até 2040, haverá um mercado SMR de 23 GW e a Rosatom espera ter uma participação de 15 a 20%.

A seguir estão os mercados-alvos para SMR:

- países em desenvolvimento, onde os pequenos NPPS podem ser usados como uma fonte confiável e eficiente de eletricidade, calor e água doce limpa nas áreas subdesenvolvidas ou localizadas longe das redes centrais;
- países desenvolvidos que buscam otimizar seu sistema energético e aumentar sua participação em fontes de energia limpa, onde pequenos NPPS podem fornecer grandes instalações industriais e comunidades remotas, contribuindo para o desenvolvimento da geração distribuída. O SMRS também seria eficiente em sistemas híbridos, quando usado ao lado de fontes de energia renováveis.

1.4 OPORTUNIDADES NO BRASIL

De acordo com as estimativas preliminares, o Brasil enfrentará um déficit de 3,6 GW até 2030. O SMRS pode ser uma solução adequada para preencher essa lacuna.

Por exemplo, pequenos reatores modulares da Rosatom podem ser aplicados em regiões isoladas do Amazonas e Roraima no Brasil. Considerando que áreas remotas com infraestrutura de rede fraca cobrem a superfície, o que corresponde a quase 50% do território nacional, a NPPS baseado em SMR poderia realmente se tornar uma solução confiável e segura para atender às necessidades locais de energia.

Além disso, o Brasil é rico em recursos naturais e continua desenvolvendo seu setor de mineração.

A modularidade dos reatores SMR terrestres da Rosatom é a solução para as empresas de mineração e processamento com alto consumo de energia. A capacidade da NPP pode ser ampliada para a crescente demanda. Essa vantagem da SMR possibilita dobrar a produtividade dessas empresas.

Para a geração de energia nas áreas costeiras, a Rosatom propõe considerar sua principal solução SMR como uma NPP flutuante otimizada. Esse FNPP poderia ser a melhor solução para instalações de produção intensivas em energia que demandam fontes temporárias de energia. Nesse ponto, a tecnologia SMR flutuante mais avançada da Rosatom poderia ser implementada sob diferentes modelos de cooperação, como leasing e co-engenharia.

Além disso, os pequenos reatores modulares da Rosatom podem ser localizados em unidades flutuantes de armazenamento e descarga de produção (FPSO) no centro dos campos de petróleo/gás e com a capacidade instalada de até 100 MW, alimenta vários navios de produção ao mesmo tempo. Essa solução está em desenvolvimento e deve ser investigada mais detalhadamente.

1.5 CUSTOS (CAPEX, OPEX, DESCOMISSIONAMENTO ETC.)

a) CAPEX

Custos de capital específicos de NPPS pequeno ou NPPS flutuante provavelmente estarão acima dos de NPPS grande (devido a economias de escala). No entanto, os custos de capital podem ser calculados com precisão apenas após a conclusão de um estudo de viabilidade do SNPP ou FNPP.

Os custos de capital podem variar muito, dependendo, entre outras coisas, de:

- canteiro de obras. Por exemplo, disponibilidade de água de resfriamento, estabilidade sísmica, solo, ausência de condições desfavoráveis;
- condições de construção. Por exemplo, custo e disponibilidade de recursos de construção e experiência da indústria de construção local;
- requisitos regulamentares;
- requisitos de proteção de efeitos externos;
- localização do cliente e outros requisitos específicos.

b) OPEX

As despesas operacionais agregadas (OPEX) de SNPP ou FNPP serão muito menores do que as das grandes NPPs, devido ao menor número de funcionários, sistemas de segurança e custos de segurança.

c) LCOE

O LCOE desejado para nossos projetos de SMR é de cerca de 90 USD/MWh, dependendo das condições específicas do projeto.

Para os primeiros projetos, o LCOE será maior que o dos grandes NPPS devido à ausência de efeito de economia de escala; no entanto, espera-se que o LCOE para pequenas NPPs seja competitivo com o dos principais tipos de geração de energia (diesel, fontes renováveis, carvão e gás). Na NPP serial, os custos de construção serão reduzidos gradualmente

devido à fabricação em série dos principais equipamentos e ao uso em componentes padrão específicos de projetos.

É importante observar que os preços do combustível (urânio) contribuem menos de 20% para o custo de geração de energia da NPP, e é por isso que os preços do combustível dificilmente afetam o custo da eletricidade produzida pela NPPS e, portanto, o custo nivelado da eletricidade é muito previsível para todo ciclo de vida da NPP com mais de 60 anos.

d) Descomissionamento e Custos De Back End

Os custos de back end do VVER-1200 representam cerca de 5 a 10% do CAPEX. Para NPPs pequenas ou NPPs flutuantes, é muito cedo para estimar os custos de back end, pois ainda não há um projeto de referência. No entanto, para a RITM, PWR integrado, a quantidade de equipamentos e componentes afetados pela radiação durante a operação é muito menor, portanto esperamos custos mais baixos no back end.

Para a FNPP, aplicaremos nossa experiência com o descomissionamento do quebra-gelo nuclear. Esses trabalhos podem ser realizados na fábrica de construção naval do Báltico.

Os custos de descomissionamento para pequenas NPPs ou FNPPs podem ser estimados com mais precisão depois que seu design for desenvolvido mais detalhadamente.

1.6 MODELOS DE FINANCIAMENTO

A escolha entre o setor público ou o setor privado que atua como força motriz para desenvolver, implementar e financiar a construção de uma nova construção nuclear é uma decisão fundamental para a estruturação de um plano de investimento.

Em termos gerais, duas fontes de financiamento podem ser previstas para um investimento em um projeto de nova construção nuclear: alocações orçamentárias públicas (geralmente disponibilizadas anualmente) e recursos derivados do setor privado. Embora centrado em torno de duas fontes âncoras (orçamento e fundos privados), três modelos ou mecanismos de financiamento podem ser previstos para esse investimento:

- a) O Modelo Soberano: o investimento é realizado sob a liderança do governo do país anfitrião. O investimento é financiado através de contribuições do orçamento do estado, que talvez precisem vir de empréstimos nacionais adicionais. Na maioria dos casos, qualquer empréstimo ocorrerá como parte do programa geral de empréstimos do governo (vendendo títulos de médio a longo prazo a investidores institucionais), em vez de estar vinculado a um projeto específico;
- b) O modelo corporativo: Sob esse modelo, o nova NPP é desenvolvida, construído e operado por uma entidade corporativa que opera de acordo com os princípios comerciais (baseados no mercado). O proprietário da nova central nuclear é, portanto, responsável pela preparação geral e pela entrega do novo ativo de construção. Posteriormente, é sua responsabilidade adquirir e financiar o plano de investimentos a ele associado. Nesse contexto, o proprietário da NPP provavelmente terá a maior proporção (se não a totalidade) dos riscos gerais do projeto, particularmente o risco financeiro durante a fase de construção. No entanto, durante a fase de operação, as vendas da produção de eletricidade para um ou mais compradores de contratos de longo prazo provavelmente reduzirão em certa medida o preço da eletricidade e os riscos de volume. Por fim, o grau de transferência de risco alcançável permanece relativamente restrito nesse cenário;
- c) O Modelo Baseado em Projeto: um veículo para fins especiais (“SPV”) é estabelecido por um grupo de acionistas para adquirir e financiar o investimento: o projeto deve, portanto, ser o principal (único) ativo na balança do SPV. Quanto ao modelo corporativo, o projeto normalmente será financiado por meio de uma combinação de patrimônio líquido e dívida, porém, durante a fase de operação, os credores recorrerão às receitas geradas apenas pelo novo projeto e pelos ativos da empresa. SPV, e não a outras receitas e/ou ativos dos acionistas. Este é um modelo estabelecido para uso em que o risco tecnológico é relativamente baixo e com alta segurança de receita (por exemplo, IPPS e outras parcerias público-privadas baseadas na disponibilidade).

Embora várias tentativas tenham sido feitas para adquirir e financiar uma nova construção nuclear de acordo com o princípio do financiamento direto a projetos (por exemplo, sem recurso) (por exemplo, projeto Barakah nos Emirados Árabes Unidos ou Hinkley Point C no Reino Unido), nenhum deles foram bem-sucedidos até o momento.

Note-se que nenhum dos Modelos de Financiamento descritos acima é, em princípio, definitivo ou exclusivo.

Combinações e/ou variações podem ser consideradas, o que fornece alguma flexibilidade e espaço para um certo grau de inovação financeira, a fim de atender aos requisitos específicos do projeto. Por exemplo, uma variação no Modelo Baseado em Projeto é fornecida pelo modelo de concessão, pelo qual o governo do país anfitrião “terceiriza” a aquisição e, possivelmente, a operação, de uma NPP de nova construção. Nesse cenário, o governo do país anfitrião normalmente define as obrigações e concede contratualmente os direitos de construir, possuir e transferir (“BOT”) ou construir, possuir, operar e transferir (“BOOT”) uma nova NPP para uma empresa que possua as habilidades, recursos e experiência para adquirir e entregar o investimento no contexto de um contrato de concessão. No final do período contratual previsto no contrato, a NPP é transferida de volta ao governo do país anfitrião ou a qualquer entidade que teria sido identificada nos acordos de concessão, de acordo com os mecanismos de transferência contratualmente acordados, incluindo o pagamento de um preço de transferência de acordo com o valor residual do ativo.

1.7 PROCESSO DE LICENCIAMENTO

A ROSATOM possui a maior experiência de licenciamento do mundo: nos países que iniciam seus programas nucleares e nos países com autoridades reguladoras maduras. Nos últimos anos, licenças obtidas na Bielorrússia, Bangladesh, China, Índia, Turquia e um país na região MENA. Atualmente, a experiência de licenciamento está sendo adquirida no Egito, Finlândia e Hungria.

O diagrama abaixo mostra o processo de emissão de uma licença para usinas nucleares na Rússia.

FIGURA 1: PROCESSO DE EMISSÃO DE UMA LICENÇA PARA USINAS NUCLEARES NA RÚSSIA.



De acordo com a Lei Nacional de RF, o Serviço Federal de Supervisão Ambiental, o Serviço de Supervisão Tecnológico e Nuclear (Rostechndzor) realiza licenciamento de atividades no campo do uso de energia atômica.

O período administrativo máximo para a tomada de decisão de emissão de licença é de 95 dias úteis mais 12 meses para a revisão de documentos¹ para:

- licença de instalação;
- licença de construção;
- licença de operação.

Isto é, o período máximo total é de 16,5 meses.

Essas são as principais atividades a serem licenciadas. Outras atividades sujeitas a licenciamento pela Rostechndzor são as seguintes:

- descomissionamento de instalações nucleares, fontes de radiação, instalações de armazenamento de materiais nucleares e substâncias radioativas, instalações de armazenamento de resíduos radioativos;
- fechamento de instalações de eliminação de resíduos radioativos;
- gerenciamento de materiais nucleares e substâncias radioativas, incluindo exploração e mineração de minério de urânio, produção, uso, processamento, transporte e armazenamento de materiais nucleares e substâncias radioativas;

1 De acordo com uma Portaria 453 de 08/10/2014 da Rostechndzor registrada no Ministério da Justiça por 36496 de 20 03 2015.

- gerenciamento de resíduos radioativos durante o armazenamento, processamento, transporte e disposição;
- uso de material nuclear e/ou substâncias radioativas em pesquisa e desenvolvimento (P&D);
- projeto e construção de instalações nucleares, fontes radioativas, instalações de armazenamento de materiais nucleares e substâncias radioativas, instalações de armazenamento de resíduos radioativos;
- projeto e produção de equipamentos para instalações nucleares, fontes radioativas, instalações de armazenamento de materiais nucleares e substâncias radioativas, instalações de armazenamento de resíduos radioativos;
- revisão de segurança (revisão de análise de segurança) de instalações nucleares e (ou) tipos de atividades no campo do uso de energia atômica.

1.8 CONCLUSÃO

Em 2014, a Rosatom abriu o Escritório Regional do Rio de Janeiro, a Rosatom Latin America, que visa intensificar a cooperação com parceiros da região, apoiando projetos em andamento e buscando novas oportunidades de cooperação com empresas latino-americanas, combinando experiência regional com o produto especializado das divisões da Corporação Estatal.

De fato, a solução SMR pode se tornar uma fonte confiável de energia para uma grande variedade de usos potenciais de diferentes consumidores brasileiros de energia. Por muitos anos, a Rosatom tem sido um parceiro responsável na área nuclear, e acreditamos que existem muitas oportunidades e potencial para uma cooperação frutífera entre nossos países, particularmente na esfera do desenvolvimento do SMRS.



Capítulo 2

CARVÃO MINERAL – GERAÇÃO ELÉTRICA E OUTROS USOS

Data: 06 e 13 de setembro de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Térreo

Co-organizador: Associação Brasileira do Carvão Mineral - ABCM

O evento foi o segundo de uma série de debates sobre fontes energéticas no âmbito do planejamento de longo prazo do MME, sendo realizado por dois dias. Este buscou capacitar o público quanto à produção e usos do carvão mineral nacional, mostrando sua importância na matriz de geração de energia no Brasil e no mundo.

Foram apresentados as tecnologias de combustão e caracterização dos tipos de turbinas mais utilizadas na geração de energia e posteriormente foi ressaltado as tecnologias para controle de emissões; o potencial do carvão para a carboquímica em outros usos não elétricos desta fonte; foi apresentado também o processo de captura e estocagem de carbono, a injeção de CO₂ como uma rota tecnológica promissora para o médio prazo e a tecnologia para gaseificação do carvão e as potencialidades do carvão nacional para a siderurgia.

2.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A FONTE EM DISCUSSÃO

2.1.1 COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO CARVÃO

O carvão é uma rocha de origem sedimentar, composta majoritariamente por carbono, enxofre, nitrogênio, hidrogênio e oxigênio. Em menor proporção estão o sódio, potássio, alumínio, magnésio, cálcio, silício, titânio, fósforo e o ferro. Para ser considerado carvão, a rocha deve ter pelo menos 50% em massa e 70% em volume de matéria carbonosa.

As principais características dos carvões brasileiros, comparados os carvões internacionais, são: alto teor de cinzas, baixo teor de matéria volátil e elevado teor de enxofre. Em função disso, as suas aplicações tecnológicas demandaram a adoção de métodos de beneficiamento para adequar essas características e permitir sua utilização para a metalurgia e geração de energia, originando os rejeitos.

2.1.2 FORMAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DO CARVÃO

Sua formação ocorreu a partir da sedimentação de matéria orgânica em bacias alagadas pouco profundas, combinada com o recobrimento de sedimentos que, através do aumento de pressão e temperatura, submetem a matéria orgânica a um processo de carbonização. Em um ambiente anaeróbico, à medida que o tempo (geológico) passou, a matéria carbonosa foi sendo concentrada, diminuindo sua umidade intrínseca e aumentando a energia nela contida.

Em ordem crescente de matéria carbonosa e energia contida, o carvão pode ser classificado como linhito ou sub-betuminoso (baixo *rank*), e betuminoso ou antracito (alto *rank*). Em todas as suas formas, o carvão tem aplicações como fonte de geração de energia, reservando-se aos carvões de alto *rank* as aplicações na indústria metalúrgica.

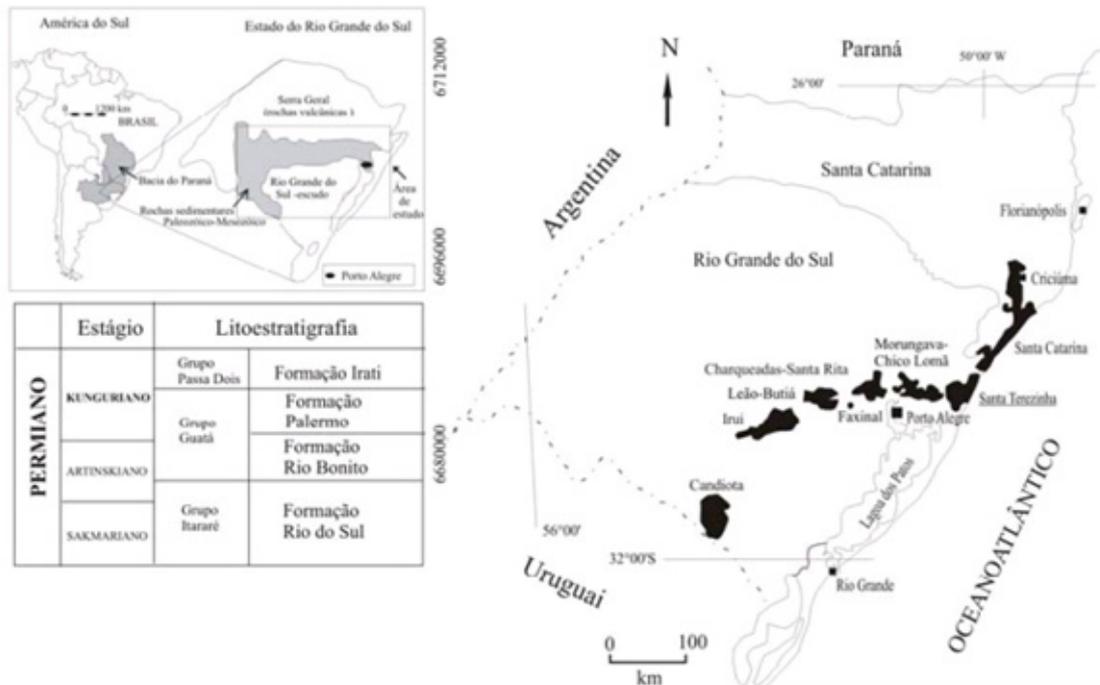
Atualmente tem crescido a utilização do carvão como insumo para gaseificação ou liquefação de combustíveis. A indústria química utiliza como matéria-prima o gás de síntese (produto do processo de gaseificação), cinzas da combustão e/ou rejeitos do beneficiamento.

2.1.3 ONDE ENCONTRAMOS

O carvão mineral é o principal recurso energético do planeta, respondendo por 38% da demanda mundial de energia (IEA, 2019). Suas reservas estão distribuídas ao longo de todo o planeta, com destaque para a Estados Unidos (237 Bt), Rússia (154 Bt), China (115 Bt), Índia (61 Bt) e Austrália (78 Bt).

No Brasil as reservas de carvão se concentram nos estados da região sul que, juntos, somam 99,97% dos recursos identificados no Brasil. Desse do total, 89,27% das reservas estão no Rio Grande do Sul, 10,38% em Santa Catarina e 0,32% no Paraná (Figura 1). A reserva brasileira, apesar da pouca relevância da produção nacional de carvão frente ao total produzido mundialmente, atinge patamares semelhantes à Polônia, chegando a 6 Bt.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS RESERVAS DE CARVÃO CONHECIDAS NO BRASIL



Em 2018, foram produzidas 7,81 Bt de carvão em todo o mundo (IEA, 2019), sendo os principais produtores a China (3550 Mt), a Índia (771 Mt), os Estados Unidos (685 Mt), a Indonésia (549 Mt), a Austrália (483 Mt) e Rússia (420 Mt). O Brasil produziu em 2017 o montante de 10,2 Mt de carvão bruto (ABCM, 2018), sendo Santa Catarina responsável pela produção de 6,4 Mt, o Rio Grande do Sul 3,6 Mt e o Paraná 0,2 Mt.

2.1.4 TERMINOLOGIA DE RESERVAS E RECURSOS BRASILEIROS

Recurso mineral é uma mineralização estimada por pesquisa, na qual são determinadas a massa ou volume, o teor, propriedades qualitativas, conteúdo mineral, morfologia, continuidade e outros parâmetros físico-químicos. Dependendo do grau de confiabilidade das informações da pesquisa mineral, um recurso pode ser inferido ou indicado. Uma vez aprimorada a pesquisa mineral a ponto de permitir estimativas com base em dados mais confiáveis, pode-se determinar a fração lavrável desses recursos, passando a ser considerada esta fração como uma reserva mineral. A fração lavrável de um recurso indicado é chamada de reserva indicada ou provável, enquanto a fração lavrável de um recurso medido é chamada de reserva medida ou provada.

Antes do Programa de Mobilização Energética lançado pelo governo federal, em função das crises do petróleo na década de 70, os recursos conhecidos de carvão mineral no Brasil eram da ordem de 3,8 bilhões de toneladas. Como resultado dos trabalhos de pesquisa realizados pelo DNPM e CPRM no final da década de 80, as reservas brasileiras haviam atingido um total de quase 32 bilhões de toneladas (Tabela 1).

Desde então já se vão três décadas com pouco ou nenhum investimento público em pesquisa geológica, sobretudo em carvão mineral que deixou de ser prioridade a partir da década de 90.

TABELA 1– RECURSOS E RESERVAS DE CARVÃO MINERAL NO BRASIL

Estado	Reservas [Mt]				Reservas Marginais	Rec. Totais Identificados
	Medida	Indicada	Inferida	Total	[Mt]	
SP	3,50	1,00	0,00	4,50	4,00	8,50
PR	73,62	22,64	3,72	99,98	2,65	102,63
SC	395,95	875,90	1.035,56	2.307,41	1.041,40	3.348,81
RS	2.616,11	6.079,32	5.943,20	14.638,63	14.159,30	28.797,93
TOTAL	3.089,18	6.978,86	6.982,48	17.050,52	15.207,35	32.257,87

Fonte: Modificado de CPRM – Projeto Borda Leste (1986).

2.1.5 MÉTODOS DE LAVRA E DE BENEFICIAMENTO E DESTINAÇÃO DOS REJEITOS

As minas de carvão, dependendo da profundidade da camada, podem ser lavradas tanto por métodos a céu aberto como subterrâneos. O método a céu aberto mais empregado no mundo é o *striping mining*, ou lavra em tiras, onde o material que recobre a camada de carvão (cobertura) é removido antes da extração do minério, e redepositado em local onde o carvão já foi removido. Os métodos subterrâneos mais utilizados são o câmara e pilares e o *longwall*. No primeiro, o desenvolvimento da lavra ocorre diretamente na camada, remanescendo pilares que compõem o sistema de sustentação do teto da mina. No *longwall*, a camada de carvão é extraída completamente no painel de lavra, ocorrendo o abatimento do teto na porção já minerada. Em situações específicas, para ambos os métodos, os espaços minerados podem ser preenchidos com material (rejeito, areia, etc.), de forma a evitar ou diminuir processos de subsidência.

As metodologias conhecidas para o beneficiamento do carvão compreendem operações clássicas de cominuição e concentração, usualmente jig ou meio denso, ambas baseadas nas propriedades físicas dos componentes do minério, tirando proveito das diferenças de dureza e densidade para aplicação de processos gravimétricos, concentrando a fração mais leve do carvão, pelo descarte das frações mais densas representadas pelos minerais sulfetados e fragmentos de rocha. Esse material descartado precisa ser depositado em locais próprios em condições controladas. A gênese e caracterização do carvão proporciona a base para a definição do uso e do seu processamento, além de determinar o seu preço e os custos de produção.

2.1.6 PRINCIPAIS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Existe uma vasta gama de equipamentos que podem ser empregados nas operações unitárias de uma mina de carvão, cujo dimensionamento leva em consideração diversos fatores, tais como: método de lavra, dimensões da camada, intercalações, demanda de produção, distância de transporte, seletividade da lavra, propriedades da cobertura.

Nas minas brasileiras a céu aberto predomina a utilização de escavadeiras hidráulicas e shovel para a descobertura e extração do carvão, e de caminhões traçados e fora-de-estrada para o seu transporte. As minas subterrâneas utilizam mineradores contínuos para o desmonte da camada e LHD, shuttle-car ou mini-tratores para o carregamento e transporte em subsolo. Algumas frentes subterrâneas fazem o desmonte à fogo, necessitando de perfuratrizes para instalação dos explosivos. Para a sustentação do teto são utilizadas perfuratrizes para a instalação dos tirantes. A mina de Candiota, no Rio Grande do Sul, operada pela Companhia Riograndense de Mineração - CRM, conta com uma walking dragline para a descobertura.

2.1.7 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O carvão tem sido utilizado como fonte de calor, principalmente para a geração de vapor seguida de geração de potência por séculos, sendo ainda hoje uma das principais fontes para a produção de energia elétrica. Por consequência as tecnologias de geração de calor e de vapor estão bem estabelecidas tecnicamente, e tem sido objeto de estudo e desenvolvimento quanto ao aumento de eficiência e a redução dos impactos ambientais. A redução dos impactos

ambientais pode ser alcançada pela combinação do carvão com outros combustíveis, dentre os quais podemos destacar os rejeitos de beneficiamento de carvão.

A geração de calor a partir da utilização de carvão é baseada fundamentalmente na utilização de caldeiras para transformação da água líquida em vapor nas condições de atendimento das turbinas. Estes equipamentos são altamente otimizados termicamente e compostos basicamente por uma fornalha para a queima do combustível além dos trocadores de calor (paredes d'água, superaquecedores, economizadores, pré-aquecedores). Dentre as tecnologias mais utilizadas atualmente temos o carvão pulverizado e o leito fluidizado circulante. Quanto as eficiências, as plantas têm migrado da utilização de vapor subcrítico com turbinas operando com ~180 bar, ~565°C e eficiência de 40% em múltiplos estágios, para ciclos operando com turbinas mais avançadas utilizando vapor supercrítico utilizando pressões acima de 245 bar, ~570°C e eficiência alcançando 46%. Estudos indicam que turbinas que operam com vapor ultra-supercrítico com pressão acima de 260 bar e 700°C, podem alcançar eficiências de 50-55%.

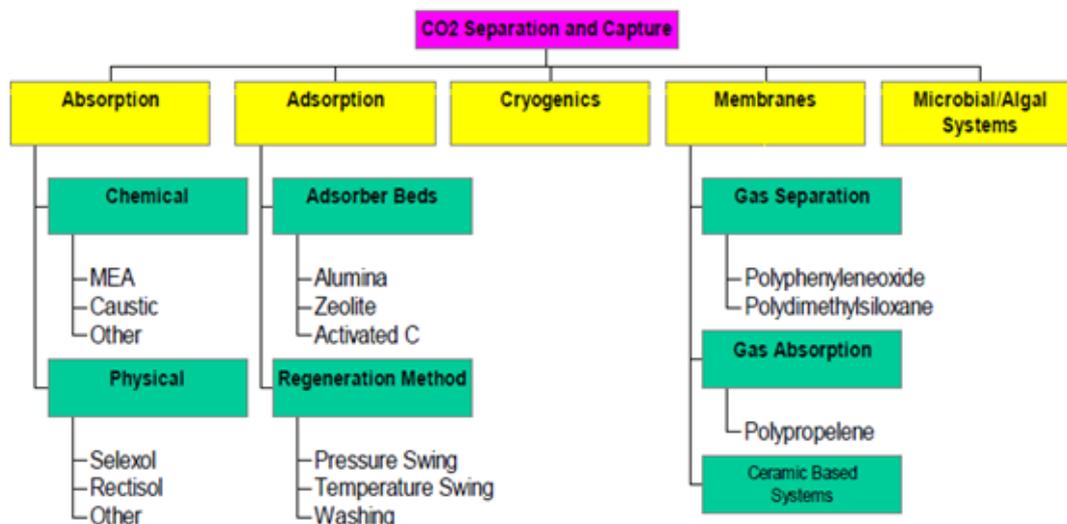
A geração de energia elétrica a partir do carvão pode ocorrer através da gaseificação, processo de conversão de materiais carbonosos em uma mistura gasosa pela ação de calor e de um agente gaseificante, que pode ser ar, oxigênio e/ou vapor d'água. O produto resultante, denominado de gás de síntese (*syngas*), é constituído por uma mistura de hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono, hidrocarbonetos, compostos condensáveis e vapor d'água, o qual pode ser insumo para a produção de hidrogênio, fertilizantes, vapor, combustíveis sintéticos (gasolina, gás natural, etc.) e eletricidade. Existem diversos tipos de gaseificadores comercialmente disponíveis podendo operar em leito fixo, fluidizado ou de arraste, a definição da tecnologia a ser utilizada deve considerar as propriedades do combustível e a composição do gás de síntese desejada. O processo de geração de energia elétrica a partir da gaseificação é conhecido como Gaseificação Integrada com Ciclo Combinado (IGCC), onde o gás de síntese passa pela turbina a gás e posteriormente na turbina a vapor, o que permite alcançar eficiência de aproximadamente 40% sem captura de CO₂, e da ordem de 30% com captura de CO₂.

2.1.8 CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A remoção ou redução de poluentes atmosféricos produzidos pelo setor energético inclui tecnologias que podem ser instaladas na pré ou pós combustão, e/ou no processo de combustão. A seleção da tecnologia depende dos limites legais de emissão de cada poluente, do combustível utilizado e do processo de geração de energia. Os poluentes com maior impacto, provenientes da combustão do carvão mineral são: material particulado (MP), óxidos de enxofre (SOx), e óxidos de nitrogênio (NOx). As emissões de MP podem ser controladas por ciclone, precipitador eletrostático, filtro de mangas e/ou lavador úmido alcançando eficiência superior a 99,5%. O controle das concentrações de SOx e NOx, por *spray dryer*, tecnicamente pode abater 99% das emissões de SOx. Os dessulfurizadores a úmido utilizam reagentes como o calcário, a amônia ou a água do mar, produzindo sulfato de cálcio ou sulfato de amônia produtos com valor comercial.

A captura de CO₂ em processos químicos e de geração térmica e elétrica à carvão mineral possui o objetivo de abater as emissões do dióxido de carbono, apontado como uma das possíveis causas do aquecimento global. Atualmente são várias as formas de separação de captura, conforme indicado na Figura 2. Porém, pode-se dividir os processos de captura de CO₂ em três principais grupos de tecnologias: 1) Absorção química e física empregando solventes líquidos; 2) Adsorção física e química empregando adsorventes (sólidos); 3) Separação por membranas. As tecnologias de absorção química e física com solventes como amina e amônia são os mais avançados e já possuem viabilidade técnica, sendo já aplicados em escala comercial. Porém, a penalidade energética e os custos associados a estas tecnologias são as grandes barreiras para uma implementação generalizada. A penalidade energética de processo de captura de CO₂ pós combustão em usinas de carvão mineral pode chegar a 30%, e o custo de eletricidade, após a instalação das torres de absorção/regeneração e seus periféricos, pode aumentar o custo de eletricidade em até 85%. Para se tornar mais acessível, estima-se que os custos com o abatimento de CO₂ devem ficar abaixo de US\$30-45/t de CO₂ após 2030, atualmente o valor é de US\$60-90/t de CO₂. Tecnologias alternativas empregando membranas e adsorventes (aminas enriquecidas, zeólitas, CaO, carvão ativado, dentre outros) estão em fase de desenvolvimento e devem ser aplicadas na indústria com foco na redução dos custos de captura. Estudos desenvolvidos pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos têm indicado que processos empregando adsorventes podem limitar o aumento do custo de eletricidade para aproximadamente 35%. Portanto, a inserção de processos de adsorção com oscilação de pressão (PSA) e temperatura (TSA) em escala comercial tem sido o objetivo de diversas indústrias e grupos de pesquisas no Brasil e principalmente no exterior.

FIGURA 2 - TECNOLOGIAS DE CAPTURA DE CO2



Fonte: RUBIN, Edward S. et al. The outlook for improved carbon capture technology. Elsevier: Progress in Energy and Combustion Science, Pittsburgh, p.630-671, 12 mai. 2012.

A metodologia de injeção de dióxido de carbono em reservatórios geológicos (camadas de carvão, rochas sedimentares porosas e vulcânicas fraturadas) possui 02 objetivos essenciais:

- a) Reduzir as emissões dos GEE por meio do armazenamento geológico de carbono (CCS);
- b) Proporcionar a recuperação avançada em reservatórios de petróleo (EOR), gás natural (EGR) e metano contido em camadas de carvão (ECBM).

Em projetos de conversão de carvão mineral o armazenamento é executado através de poços injetores que, após a captura e separação do CO₂, conduzem o fluxo de gás até o reservatório selecionado em profundidade (este possuindo múltiplas rochas selo que evitam a ocorrência de vazamentos em superfície). O dióxido de carbono ficará então armazenado em definitivo no meio geológico, aprisionado no meio poroso e confinado sob pressão. Todos os projetos de injeção de CO₂ apresentam um avançado sistema de controle ambiental para monitorar, medir e verificar (MMV) a eficiência do processo de armazenamento.

2.2 QUAIS OS DIFERENCIAIS E VANTAGENS

O carvão mineral se justifica por uma série de razões. Por sua abundância no sul do Brasil acaba sendo um combustível de preço acessível, resultando em custo unitário variável de energia mais baixo comparativamente a derivados de petróleo ou gás natural. A consequência deste fator reflete-se em baixo Custo Variável Unitário (CVU) o que estimula o despacho das usinas a carvão.

Outro aspecto determinante para sua atratividade em termos nacionais é o fato de que sua extração e todas as operações necessárias para a estrutura de suprimento às usinas termelétricas criam empregos na região, cuja quantidade pode chegar a centenas de milhares, ou seja, para cada emprego gerado na mineração há um grande número de empregos resultantes em toda sua cadeia de suprimento e economia associada.

Como a maior parte dos custos de produção são associados à produção local, não há dispêndios em moeda estrangeira o que reflete positivamente para a balança comercial.

Como todos os fatores de custo têm seu crescimento indexado a parâmetros econômicos utilizados pelo sistema brasileiro sempre poderá haver uma previsibilidade para o seu preço.

A implantação de Usinas Térmicas a carvão no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, principalmente, constitui-se em fator de estímulo a regiões destes dois estados que são carentes de desenvolvimento e situam-se mais distantes dos grandes empreendimentos hidrelétricos das regiões Norte e Sudeste, tornando-os importadores de energia do

centro do País o que resulta em maior custo de uso do sistema de transmissão.

As modernas tecnologias de geração Termelétrica a carvão têm características operacionais que as tornam menos poluentes do que as antigas unidades instaladas nas décadas de 40, 50 e 60, significando uma nova geração de energia a carvão com impactos ambientais compatíveis com as exigências da legislação ambiental brasileira.

Um aspecto em que as Usinas termelétricas se mostram mais competitivas é o fato de representarem uma fonte de geração firme sempre disponível para o despacho independentemente de regimes hidrológicos o que acaba sendo muito conveniente para o equilíbrio do Setor Elétrico Brasileiro (SEB), uma vez que poderão ser implantadas próximas aos principais centros de carga na região, aliviando as necessidades de fluxo energético do centro para o Sul do País.

2.3 APLICAÇÃO NO MUNDO

Mundialmente, o carvão mineral está presente em cerca de 70% do aço produzido, em 85% do cimento e em 38% da geração de energia elétrica (WCA, 2018).

A Ásia, impulsionada por projetos na China e Índia, destaca-se como a região onde o carvão tem a maior participação na capacidade de geração instalada. Essa capacidade correspondia a 38% do total mundial em 2000, e deve alcançar 77% em 2040. Mesmo com as restrições cada vez maiores, o carvão deverá aumentar a sua participação na matriz mundial de demanda de energia primária em 7,76% até 2040. Nesse horizonte, as renováveis deverão aumentar a sua participação nessa matriz dos atuais 25% para 41%.

O que ainda viabiliza novos projetos a carvão no mundo, além da Ásia, é a utilização de tecnologias de geração mais eficientes, com planta supercríticas e ultra supercríticas, cuja eficiência pode alcançar até 45% e baixas taxas de emissão atmosféricas, incluindo o CO₂.

Os Estados Unidos, através do Programa Coal FIRST, visam aumentar a eficiência e flexibilidade das plantas a carvão, inclusive daquelas com de menor porte. Além disso, através de um ousado programa de pesquisa, tem buscado agregar valor à cadeia produtiva do carvão, especialmente com a obtenção de materiais estratégicos a partir do carvão e seus subprodutos como, por exemplo, elementos terras raras.

No Brasil, a indústria carbonífera também tem se dedicado a estudar rotas de produção que agreguem mais valor ao carvão e seus subprodutos. As principais pesquisas são com relação a captura de CO₂ a partir de zeólitas sintetizadas com a cinza do carvão, o estabelecimento de um novo segmento industrial para o país através da gaseificação do carvão e a obtenção de produtos químicos estratégicos para o setor industrial tendo como insumos o rejeito e a drenagem ácida.

2.4 OPORTUNIDADES NO BRASIL

A transformação da indústria carbonífera no Brasil e no mundo abre a possibilidade de sua utilização de forma sustentável, podendo produzir energia e produtos de alto valor com baixas emissões de CO₂.

Em Santa Catarina, as pesquisas têm se dedicado a estudar a captura de carbono através de uma planta piloto que utiliza zeólitas como material adsorvente. Também vem sendo conduzidas pesquisas sobre a obtenção de elementos terras raras a partir do carvão e seus subprodutos, além de outros produtos para o setor industrial.

Outra iniciativa relevante é a discussão sobre a modernização do parque gerador a carvão, em especial nos estados da Região Sul do Brasil, através de plantas mais eficientes e projetadas para consumir o carvão nacional de acordo com suas características, além de rejeitos originados no passado, como uma forma simbiótica de produção de energia e recuperação de passivos ambientais.

No Rio Grande do Sul, o projeto Pampasul, em Candiota, viabilizou uma planta de 345 MW, com investimento de 1,8 bilhão de reais. Outro projeto relevante no estado é o do Polo Carboquímico do Baixo Jacuí, na Região Metropolitana de Porto Alegre, onde a empresa Copelmi pretende revolucionar o setor carbonífero oferecendo gás natural sintético (SNG) para a produção de energia, metanol e ureia, insumos de alta relevância para o estado e país com forte vocação agrícola. O impacto desse empreendimento pode representar um acréscimo de 4,4% ao PIB do Rio Grande do Sul e a criação de quase 7.500 postos de trabalho, diretos e indiretos.

2.5 CUSTOS

Os custos incidentes em uma mina variam de acordo com o seu porte e complexidade (lavra, ventilação, geologia, distâncias de transporte, etc). Como base, podemos observar a composição da fórmula paramétrica que servia para o cálculo do preço do carvão, incluindo transporte e manuseio. A fórmula paramétrica serviu como base para a definição do preço de venda do carvão em Santa Catarina até 2015, quando foi substituída pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), dada a relativa aderência entre esses dois índices em boa parte de suas séries históricas.

A fórmula paramétrica e o peso de cada um dos seus itens foram definidos a partir de um estudo detalhado da estrutura de custos das empresas mineradoras e, enquanto esteve vigente, corrigia o preço-base (P0) estabelecido no início do contrato. A Tabela 2 mostra o peso percentual típico dos itens na estrutura de custos de uma empresa de mineração de carvão.

TABELA 2: PARTICIPAÇÃO PERCENTUAL DOS ITENS², NO CUSTO.

Mão de Obra	27,9%
Combustíveis e Lubrificantes	4,4%
Explosivos	4,9%
Materiais de Borracha	3,7%
Materiais Metálicos	9,7%
Outros Materiais	15,0%
Energia Elétrica	6,1%
Outros	28,3%
TOTAL	100,0%

A partir do novo contrato de venda de carvão mineral, houve uma redução no número de empresas fornecedoras e a manutenção da quantidade total a ser fornecida, ocorrendo, conseqüentemente, um aumento na demanda de fornecimento de cada empresa. Esse aumento da demanda não pode ser suprido através da produção marginal das empresas, que precisaram aumentar suas frentes de lavra para cumprir o contrato. Além de investimentos com máquinas e equipamentos, tornou-se necessária a contratação de mais mão de obra. Além disso, em função do cumprimento do cronograma de recuperação ambiental e do maior número de condicionantes ambientais, nos últimos anos, alguns itens têm tido uma participação maior do que a estabelecida na tabela acima, em especial os gastos com mão de obra meio ambiente.

2.6 FINANCIAMENTO

Segundo a International Energy Agency (IEA, 2018), em todo o planeta existe cerca de um bilhão de pessoas sem acesso à energia elétrica e 2,7 bilhões de pessoas sem acesso à energia limpa para sequer cozinhar. Para atender a esta e à demanda cada vez mais crescente por energia, há necessidade de investimento em fontes seguras e baratas de geração de eletricidade.

Nos últimos anos, as fontes para captação de recursos para financiamento de novos projetos de minas e termelétricas a carvão mineral estão se restringindo, apesar do avanço da tecnologia que permite uma geração termelétrica mais eficiente a partir deste combustível. Essas restrições têm sido aplicadas principalmente na Europa e Estados Unidos, fato que causou o “deslocamento” de novos projetos para o continente asiático, impulsionados principalmente por China e Índia (Tabela 3).

2 Outros refere-se a Serviços de terceiros (9,7%); meio ambiente (3,9%); despesas administrativas (11,6%); depreciação (1,9%); despesas financeiras e tributárias (1,2%)

TABELA 3: PLANTAS TERMELÉTRICAS A CARVÃO EM OPERAÇÃO E EM CONSTRUÇÃO, POR REGIÃO.

Região	Em operação [MWe]	Em construção [MWe]
Ásia	201.413	94.575
Europa	24.133	6.045
Oriente Médio	0	3.786
Eurásia	300	0
América do Norte	665	0

Fonte: modificado de IEA (2017)

No Brasil, o maior desafio para investimentos em novos projetos tem sido estabelecer a estrutura de financiamento, dadas as limitações de participação do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) até o presente momento para projetos a carvão mineral. Uma alternativa tem sido incluir nos projetos executivos financiamentos embutidos nos fornecimentos externos de equipamentos e tecnologia, como uma alternativa a esta limitação.

2.7 DESAFIOS E REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAL

2.7.1. MEIO AMBIENTE

Outro assunto de especial relevância dentro do setor carbonífero é com relação ao meio ambiente. A região sul de Santa Catarina possui uma conjuntura socioeconômica, cultural, política e ambiental fortemente influenciada pela mineração de carvão, na qual a relação entre os benefícios trazidos por essa atividade e os atuais passivos, com destaque ao ambiental, é bem conhecida. Nesta região, a mineração tem mais de um século, sendo que as áreas impactadas ambientalmente, em sua maior parte, foram resultado da mineração executada em uma época em que a legislação ambiental era praticamente inexistente. Como resultado, formaram-se grandes áreas de passivo ambiental, tendo como principal impacto a geração de drenagem ácida de mina (DAM).

A recuperação ambiental da bacia carbonífera deu-se a partir do cumprimento e execução da sentença judicial, com a Ação Civil Pública (ACP nº. 93.8000533-4), proferida pelo Ministério Público Federal (MPF). Desde então, o MPF tornou imperativa a caracterização e a identificação do passivo ambiental, objeto de condenação. Na última campanha dos trabalhos de validação em campo, foi aferido total de 6.503 hectares degradados ambientalmente. Para cada uma destas áreas há um cronograma de recuperação, com identificação do responsável em executá-la, no caso, o réu indicado na ACP. Muitas destas áreas são órfãs, outras já foram recuperadas, contudo, segundo os critérios técnicos definidos pelo Grupo Técnico de Assessoramento à Execução da Sentença (GTA) estas devem ficar submetidas ao monitoramento de suas características ambientais, no intuito de averiguar a efetividade da recuperação que foi executada.

Partindo do princípio de que é possível o consenso entre as partes e de que a plena recuperação do passivo ambiental decorrente da exploração de carvão na região será alcançada com maior rapidez e efetividade na medida em que as partes forem capazes de unir esforços técnicos, instituiu-se o GTA, composto por representantes técnicos das partes. Este Grupo Técnico tem a missão, de respeitadas as divergências, maximizar os entendimentos no nível técnico e, em consequência, minimizar os conflitos que devam ser decididos pelo Juízo. Para permitir um melhor acompanhamento pela sociedade civil sobre a recuperação ambiental, foi criado o site www.acpcarvao.com.br, onde todas as informações relativas aos relatórios do GTA estão disponíveis. No site, também é possível navegar pelo mapa de áreas degradadas ou fazer o download das feições monitoradas.

As empresas de mineração têm aprimorado seus controles nos depósitos de rejeitos, na mineração sem desmonte de pilares, no controle da drenagem, na implantação de estações de tratamento de efluentes e na introdução de Sistemas de Gestão Ambiental. Como resultado, desde 2008, toda a cadeia produtiva do carvão mineral brasileiro possui certificação ISO 14.001.

2.7.2 SAÚDE E SEGURANÇA

A saúde e segurança do trabalhador das minas de carvão é, sem dúvida, o assunto de maior relevância dentro do setor. Para evitar o estigma herdado do passado, o setor tem trabalhado de forma a implantar medidas que assegurem a preservação do seu trabalhador. A atividade de mineração é classificada como de alto risco, sendo necessária a contínua melhoria das normas e da infraestrutura de segurança. Os antigos problemas de pneumoconiose foram eliminados desde a implantação, ainda na década de 1970, da furação à úmido. Desde então, outras medidas visam a segurança contra os principais riscos: caimento de blocos do teto e pilar, estabilidade de taludes, trânsito de máquinas e equipamentos, choques elétricos, manutenção de correias, poeiras, temperatura, espaço confinado, entre outros.

Desde o ano 2000 o setor conta com a Comissão Regional do Setor Mineral (CRSM), onde representantes das empresas e dos trabalhadores se reúnem periodicamente para debater e aprimorar as normas de segurança. Também são feitas análises de acidentes e tomadas medidas preventivas para evitar novas ocorrências, além de serem promovidos cursos e treinamentos para qualificação dos engenheiros de segurança do trabalho.



Capítulo 3

GERAÇÃO TÉRMICA A GÁS NATURAL

Data: 03 de outubro de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Térreo

Co-organizador: FGV CERI

O evento foi o terceiro de uma série de debates sobre fontes energéticas no âmbito do planejamento de longo prazo do MME. O debate centrou-se nas tecnologias, recursos, infraestrutura, contratação e desenho de mercado voltados para a geração térmica a gás. Este documento sintetiza os principais pontos discutidos na ocasião.

3.1 INTEGRAÇÃO ENTRE OS SETORES DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL

As reformas recentes nos setores de energia elétrica e de gás natural brasileiros trazem a necessidade de harmonização entre as duas indústrias. O tema tem sido amplamente discutido no âmbito da iniciativa Novo Mercado de Gás e do Grupo de Trabalho (GT) de Modernização do Setor Elétrico, capitaneados pelo MME, com participação de outras entidades governamentais e associações dos setores. Os esforços para maior integração entre os setores foram iniciados na iniciativa Gás para Crescer, com subcomitê para o tema (SC8).

As linhas gerais do plano de trabalho para a harmonização dos setores foram apresentadas pelo MME durante o Workshop. O grupo de trabalho dedicado ao tema deve ser concluído até junho de 2021. As atividades previstas estão descritas na Tabela 4.

TABELA 4 – ATIVIDADES DO GT - HARMONIZAÇÃO ENTRE OS SETORES DE ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL

Atividade	Descrição	Prazo de execução
Atualização dos diagnósticos e recomendações do relatório do SC8 (Gás para Crescer)	Análise da atualidade e pertinência das recomendações e das prioridades elencadas no relatório do SC8. Identificação do alinhamento entre diagnósticos e recomendações do programa Novo Mercado de Gás e do grupo de Modernização do Setor Elétrico. Levantamento regulatório dos avanços já implementados.	out/19
Análise dos documentos de planejamento energético	Identificar a interação do planejamento energético com a integração entre os setores elétrico e de gás natural. Compatibilização de ações.	out/19 - mar/20
Levantamento dos modelos de negócios de UTEs a gás natural já implementadas ou em implementação	Análise das experiências dos empreendedores de UTEs e soluções de negócios. Identificação de oportunidades de melhorias para reduzir barreiras à implementação de UTEs a gás natural.	out/19 - dez/19
Levantamento de custos e riscos da interface dos dois setores	Elaboração de matriz de custos e riscos.	nov/19 - jan/20
Implementação de recomendações do relatório do SC8 que tenham sido validadas	Identificação e encaminhamento de ações para implementação das recomendações do relatório do SC8 que tenham sido validadas.	fev/20 - jul/20
Eliminação de barreiras ao desenvolvimento de modelos de negócio de UTEs a gás natural	Identificação de oportunidades de melhoria na legislação e regulamentações. Proposição de alterações. Eliminação/mitigação de barreiras legais e regulatórias à viabilização e implementação de modelos de negócio de geração térmica a gás natural	mai/20 - jun/21

Elaboração: FGV CERJ, com base em dados do MME

A geração termelétrica a gás natural é elemento crucial para a expansão do parque gerador no Brasil, como atestam as contratações realizadas nos últimos leilões de energia e o planejamento indicativo da EPE. Trata-se de uma alternativa robusta para a segurança de suprimento, especialmente em cenário de acentuada participação de energias renováveis variáveis (ERV), como eólica e solar.

O desenvolvimento potencial das ERV depende da provisão de flexibilidade do sistema residual, responsável por atender à demanda não suprida pelas fontes variáveis. Os principais recursos de flexibilidade envolvem geração flexível, interconexão com outros (sub) sistemas e mercados, resposta da demanda e estocagem.

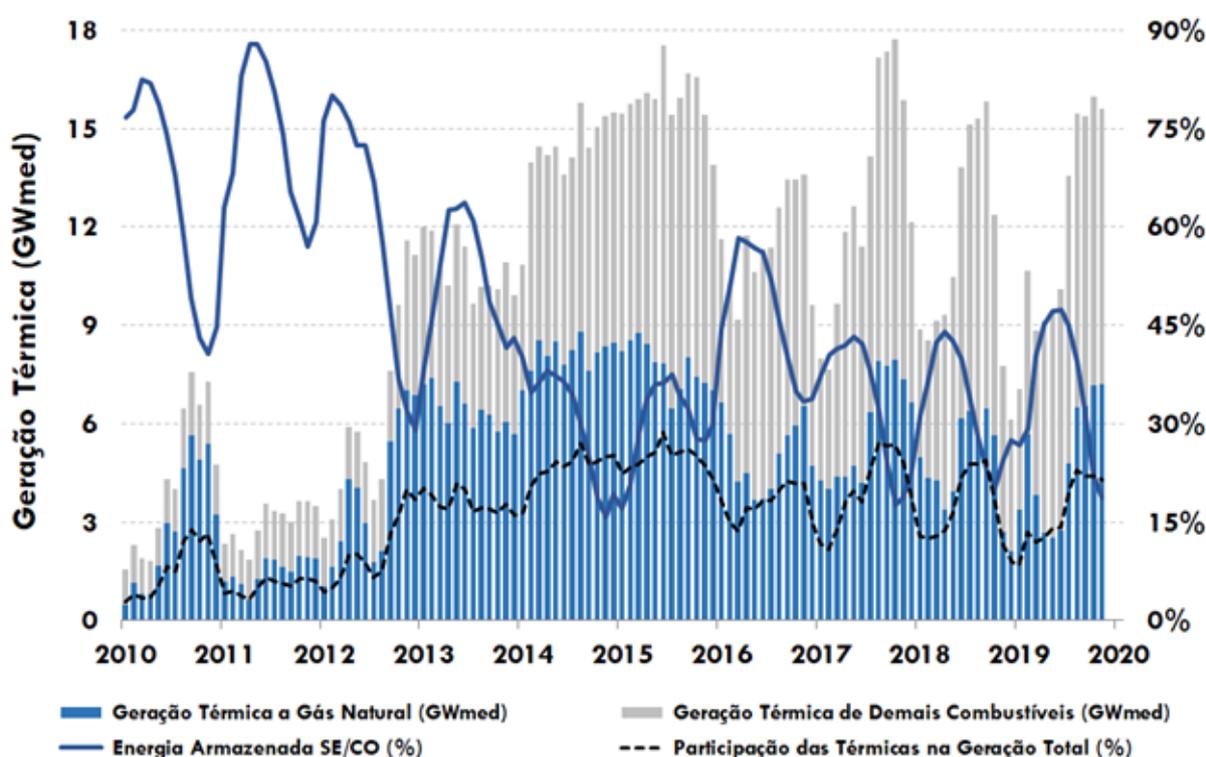
O sistema elétrico brasileiro conta com hidrelétricas com grandes reservatórios, interconectadas no extenso Sistema Interligado Nacional (SIN). No entanto, desde a década de 1990 não há expansão significativa de reservatórios. As novas hidrelétricas instaladas são a fio d'água, sem capacidade de regularização plurianual, acentuando a variabilidade da oferta. Com a perda de regularização dos reservatórios e o aumento da oferta variável, observa-se maior deplecionamento da reserva hídrica e necessidade de complementação de geração de energia e de potência para atender a demanda máxima do sistema.

Neste contexto, destaca-se a contribuição das térmicas, sobretudo a gás natural, tanto para geração de energia, quanto para provisão de flexibilidade. O Gráfico 1 apresenta a elevação da complementação térmica e a sua variabilidade em função do nível dos reservatórios da região Sudeste/Centro-Oeste (responsáveis por 70% do volume total do país), com deplecionamento cada vez mais acentuado ao longo do ano. O gráfico apresenta a contribuição da geração térmica a gás e de demais combustíveis, revelando o protagonismo crescente do energético na matriz brasileira. Desde 2012, a complementação da geração térmica saltou da média histórica de 5% para 20%, com oscilações cada vez mais significativas entre períodos úmido e seco.

A otimização do parque hidrotérmico brasileiro sempre preconizou térmicas flexíveis, incompatíveis com a oferta doméstica constituída preponderantemente de gás associado (tabela 5). Consequentemente, a gestão centralizada da Petrobras e a importação de GNL foram as soluções encontradas para conciliar as necessidades de flexibilidade da oferta de gás.

A maior complementação térmica na geração de energia configura novo paradigma operativo do sistema brasileiro. Neste novo contexto, há espaço tanto para térmicas na base da geração, quanto para térmicas flexíveis. A perspectiva de aumento da oferta de gás (associado) do Pré-Sal e de menor coordenação da Petrobras na cadeia do gás, após a estratégia e o compromisso de desinvestimentos, tornam a integração gás-eletricidade fundamental para: aproveitamento dos recursos domésticos, expansão da malha integrada de gasodutos e maior confiabilidade do suprimento.

GRÁFICO 1 - GERAÇÃO TÉRMICA E ENERGIA ARMazenADA NOS RESERVATÓRIOS



Elaboração: FGV CERi, com dados do ONS

TABELA 5 - EVOLUÇÃO DO BALANÇO DO GÁS NATURAL (VALORES MÉDIOS ANUAIS, MILHÕES M³/D)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019*	% 2019	% 19/11	EVOLUÇÃO
+ Produção Nacional	66,0	70,6	77,2	87,4	96,2	103,8	109,9	111,9	114,4	100%	73%	
Em terra	16,8	16,7	20,6	23,3	23,0	23,8	21,5	22,0	20,5	18%	22%	
Em mar	49,1	53,9	56,6	64,1	73,3	80,0	88,4	90,0	93,9	82%	91%	
Associado	48,6	49,0	51,4	58,6	70,2	78,2	84,8	88,7	94,3	82%	94%	
Não-Associado	17,3	21,6	25,8	28,8	26,1	25,6	25,1	23,3	20,2	18%	17%	
- Reinjeção	11,1	9,7	10,6	15,7	24,3	30,2	27,6	35,1	38,6	34%	248%	
Em terra	7,8	6,8	6,1	7,3	8,4	9,1	8,2	8,4	9,0	23%	15%	
Em mar	3,3	2,9	4,6	8,4	15,9	21,2	19,4	26,7	29,6	77%	798%	
- Queima e Perda	4,8	4,0	3,6	4,4	3,8	4,1	3,8	3,7	5,0	4%	4%	
- Consumo em E&P	10,2	10,6	10,9	11,5	12,2	12,9	13,4	13,7	13,6	12%	34%	
- Absorção em UPGNs	3,4	3,5	3,6	3,6	3,8	4,2	4,6	4,3	3,9	3%	16%	
= Oferta Doméstica	36,5	42,8	48,5	52,2	52,2	52,4	60,5	55,1	53,3	47%	46%	
+ Importação - Bolívia	26,8	27,5	31,8	32,8	32,0	28,3	24,3	22,1	15,2	64%	-43%	
+ Importação - Argentina	0,0	0,0	0,2	0,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0%	0%	
+ Importação - GNL	1,7	8,5	14,6	19,9	17,9	3,8	5,1	6,9	8,4	36%	395%	
= Oferta Importada	28,5	36,0	46,6	52,9	50,4	32,1	29,4	29,0	23,6	100%	-17%	
- Perdas em Gasodutos	3,4	3,9	3,7	5,8	3,9	4,3	4,3	5,3	6,2	9%	83%	
= Oferta Total	61,6	74,9	91,4	99,3	98,6	80,3	85,6	78,9	70,7	100%	15%	
- Demanda Não-Termelétrica	51,2	52,0	51,3	52,4	52,7	50,7	51,3	51,2	48,8	69%	-5%	
- Demanda Termelétrica	10,4	23,0	40,1	46,8	45,9	29,6	34,3	27,7	21,8	31%	110%	
= Demanda Total	61,6	75,0	91,4	99,2	98,6	80,3	85,6	78,9	70,6	100%	15%	

* Dados até julho de 2019

Elaboração: FGV CERI, com dados do MME

3.2 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DA GERAÇÃO TERMELÉTRICA A GÁS NATURAL

A expansão da capacidade instalada nos próximos anos deve englobar fontes e tecnologias que agreguem geração de energia, provisão de flexibilidade e potência ao sistema elétrico brasileiro. Este cenário é favorável à expansão de térmicas a gás natural.

As usinas de ciclo combinado³ já são utilizadas há décadas em diferentes sistemas elétricos, constituindo fonte eficiente e confiável de geração de energia. Avanços tecnológicos aprimoraram a capacidade de partida rápida das térmicas a gás, capazes de prover geração flexível e serviços ancilares – como reserva operacional –, além de aportar potência para atender aos picos de demanda. As turbinas mais recentes utilizadas em ciclos combinados flexíveis, além de proverem partidas e paradas rápidas, utilizam menos água e tem emissões reduzidas durante o arranque de potência para atender as rampas de carga.

Já existem soluções para geração de energia através de térmicas a gás em áreas remotas com acesso marítimo ou fluvial. Trata-se de plantas de tamanho reduzido para aplicações industriais específicas, redes isoladas ou geração temporária ou de emergência. Este tipo de ativo pode ser estabelecido em espaços limitados e dispensam investimentos intensivos para aquisição de terreno. Seu uso também pode ocorrer em plataformas *offshore* com geração *gas-to-wire*⁴ ou mesmo para substituir pequenas usinas com combustíveis mais poluentes. Sua principal vantagem é o menor custo e risco de construção, com execução mais rápida de projeto.

O Brasil poderia aumentar em até 305% sua capacidade de produção de energia por meio de cogeração a gás natural nos próximos anos. Segundo a Associação da Indústria de Cogeração de Energia – Cogen, seria possível adicionar

3 Estas utilizam turbinas a gás e a vapor associadas em uma única planta, ambas gerando energia elétrica a partir da queima do mesmo combustível. Para isto, o calor existente nos gases de exaustão das turbinas a gás é recuperado e utilizado para acionar um ciclo a vapor.

4 Geração de energia no local onde o gás é produzido.

7,2 GW da tecnologia no país, chegando a 10,7 GW a partir dos 3,5 GW atuais⁵. A cogeração é a produção simultânea e de forma sequenciada de duas ou mais formas de energia a partir de um único combustível. O processo mais comum é a produção de eletricidade e energia térmica (calor ou frio) a partir do uso de gás natural, biomassa ou biogás.

Os principais benefícios da cogeração são a alta eficiência da transformação energética (acima de 70%) e as possibilidades de: (i) atendimento total da demanda; (ii) utilização como backup; e (iii) geração próxima à carga, em grandes centros metropolitanos. No Brasil, o potencial da cogeração concentra-se nos segmentos comercial e industrial.

A estocagem de gás natural constitui importante alternativa para garantir a segurança de suprimento, além de assegurar flexibilidade nos momentos de pico de demanda (EPE, 2018). O Brasil ainda não explora o potencial da estocagem de gás. Experiências internacionais demonstram os benefícios da estocagem de gás, especialmente na presença de sazonalidades climáticas. Em países com climas rigorosos, a estocagem tem papel essencial para a manutenção do fornecimento de gás natural durante o inverno. Neste período, impulsionada especialmente pelo uso do insumo em aquecedores residenciais, a demanda de gás chega a dobrar em relação aos níveis de consumo de períodos mais quentes.

Há três tipos principais de tecnologias de estocagem subterrânea: campos depletados, aquíferos naturais e cavernas salinas. Para explorar o potencial, portanto, é necessário conhecimento geológico e desenho de mercado que favoreça o desenvolvimento da atividade, com monetização dos serviços prestados pela estocagem.

A flexibilidade da oferta de gás natural no Brasil é suprida pela gestão de portfólio da Petrobras e pela importação de gás natural liquefeito (GNL). Com atuação em todos os elos da cadeia – da produção ao consumo, passando pela comercialização e gestão dos fluxos da malha integrada, com ingerência sobre todos os pontos de entrada e saída –, a Petrobras garantiu o atendimento ao mercado e a provisão de flexibilidade. Já os três terminais de regaseificação (Rio de Janeiro, Bahia e Ceará), aportaram capacidade de injeção de gás para suprir o parque térmico em condições de pleno despacho, com aquisição no mercado spot.

Com a redução do papel da Petrobras nos diversos elos da cadeia do gás e considerando que os terminais de GNL tenderão a atuar de forma diferente da atual (como resultado da diversificação de agentes produtores e comercializadores de gás), serão necessárias outras maneiras de otimizar o portfólio de oferta.

A estocagem poderia beneficiar o Brasil no sentido de (i) garantir e otimizar o fornecimento de gás para as usinas termelétricas; (ii) otimizar a utilização das infraestruturas de gás existentes (terminais GNL e rede de transporte); (iii) facilitar a abertura do mercado, por meio do desenvolvimento de uma carteira de fornecedores; (iv) estruturar novas opções para que produtores de gás associado monetizem sua produção com mais valor agregado sem interferir na produção de petróleo; (v) estabelecer um produto que auxilie no balanço físico da rede de transporte de gás natural; e (vi) aperfeiçoar a segurança do suprimento.

3.3 RECURSOS E INFRAESTRUTURA PARA GERAÇÃO TÉRMICA

Até o início da operação do Gasoduto Bolívia-Brasil (GASBOL), em 1999, a oferta de gás natural no país era limitada, voltada principalmente para indústria. Desde então, a difusão de termelétricas a gás natural no Brasil tem alternado fases de expansão e estagnação. As características marcantes dessa trajetória foram: incentivos governamentais temporários, em contexto de crises de abastecimento de curto prazo; dificuldades de conciliar os níveis distintos de maturidade dos setores de eletricidade e gás natural; e poder de mercado da Petrobras (Losekann, 2015; CNI, 2018).

A importação de GNL ganhou representatividade na oferta nacional de gás especialmente motivada pela demanda por garantia de suprimento e flexibilidade da geração térmica pelo setor elétrico. A Resolução CNPE nº4/2006 declarou prioritária a implementação de projetos para importação de GNL, com objetivos de assegurar a disponibilidade de gás natural para o mercado nacional com vistas a priorizar o atendimento das termelétricas e de facilitar o ajuste da oferta de gás às características do mercado nacional por meio de suprimento flexível. A resolução foi publicada em contexto de incertezas sobre a real disponibilidade do combustível às termelétricas existentes, tendo ocorrido falhas na entrega de gás a diversas usinas em 2004 e 2006. Desde o início da operação em 2009, os terminais registram significativa ociosidade da capacidade instalada (FGV CERI, 2017).

5 Brasil Energia, 27/09/2019. “Cogeração a gás tem potencial para crescer mais de 300% no Brasil”. Disponível em: <https://energiahoje.editorabrazilenergia.com.br/cogerao-a-gas-tem-potencial-para-crescer-mais-de-300-no-brasil/>

Os terminais de regaseificação tornaram a garantia de suprimento mais robusta no país, mas não colaboraram para o desenvolvimento do mercado de gás. Sem previsão de garantia de acesso de terceiros na Lei do Gás (Lei nº 11.909/2009), a importação ficou restrita à Petrobras. A expansão da malha de gasodutos também não deslançou após a Lei, que previu a concessão de novos dutos através de complexo processo estruturado em torno do Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário (PEMAT).

Desde 2014, foram contratadas nos leilões de expansão de energia novas usinas termelétricas associadas a novos terminais de regaseificação. A expansão via GNL reflete, por um lado, a assimetria entre o perfil de oferta doméstica de gás preponderantemente associado (inflexível) e da demanda por geração térmica flexível pelo setor elétrico no Brasil. Por outro lado, a opção pelo GNL também reflete dificuldades enfrentadas por novos entrantes para acessar a infraestrutura existente, comprometendo o desenvolvimento da indústria no país.

Entre 2014 e 2019 foram contratadas cerca de 8 GW de potência de novas térmicas a gás natural, com 5,6 GW médios de garantia física e 5,4 GW médios de energia contratada – os valores correspondem, respectivamente, a 40%, 48% e 54% do total contratado nos leilões de energia nova nesse período. A tabela 6 apresenta os modelos de negócios e as características dos empreendimentos termelétricos a gás natural vencedores dos últimos Leilões de Energia Nova (LEN).

O preço médio, ponderado pela energia contratada, corresponde a R\$ 216/MWh. Considerando atualização do IPCA para dezembro de 2019, o valor corresponde a R\$ 255/MWh. Os preços médios das térmicas a gás estão 16% acima do preço médio de todos os leilões de energia nova realizados no período, ponderado pela energia contratada de cada empreendimento⁶. Os investimentos declarados das térmicas a gás somam cerca de R\$19 bilhões (R\$22,5 bilhões atualizados pelo IPCA). Excluindo a térmica Rio Grande, com outorga revogada, e a térmica Jaguatirica, localizada no sistema isolado de Boa Vista, a expansão de térmicas a gás adicionará cerca de 6,6 GW de potência ao SIN, 5 GW médios de garantia física e 4,8 GW médios de energia contratada.

Cabe destacar a relevância das térmicas movidas a GNL importado atreladas a novos terminais de regaseificação: a potência desses empreendimentos corresponde a 80% do total a ser instalado de térmicas a gás (modelo *LNG-to-power*⁷). Essa alternativa tem se revelado competitiva para a contratação de energia nova.

Três projetos *LNG-to-power* estão próximos de entrar em operação: UTE Porto do Sergipe I, em Barra dos Coqueiros/SE, com previsão de entrada em operação já em 2020; e as UTEs GNA I (antiga UTE Novo Tempo) e GNA II no Porto do Açu, em São João da Barra/RJ, com previsão para 2021 e 2023, respectivamente.

6 Importante ressaltar que o preço médio das térmicas nos leilões se traduz no Índice Custo Benefício (ICB) dos empreendimentos, representando um valor esperado do preço da energia, projetado por cenários hidrológicos futuros. O preço da energia de fato, percebido pelo consumidor cativo ao longo dos anos, dependerá da evolução do custo do gás natural, da indexação escolhida pelo gerador e, principalmente, da geração térmica efetiva. Nos contratos de disponibilidade, as termelétricas firmam o nível de geração inflexível, o custo variável de operação (CVU) e a receita anual fixa (para cobrir custos fixos, inclusive geração inflexível de energia); porém, a geração de energia depende da operação otimizada pelo ONS.

7 Usinas termelétricas a gás natural vinculadas a terminais de GNL.

TABELA 6 – TERMELETRICAS A GÁS NATURAL VENCEDORES DOS ÚLTIMOS LEILÕES DE ENERGIA NOVA

ANO	LEN	Início da Operação / Prazo	Empreendimento	Empresa / Consórcio Proprietário	UF	Sub-mercado	Invest. (R\$ mi)	Potência (MW)	Garantia Física (MW/med)	Energia Contratada (MWh/med)	Preço (ICB) (R\$/MWh)	Receita Fixa (R\$ mi/ano)	Origem do Gás Natural	Modelo de Negócio		
2014	20ª LEN A-5	01/01/2019 25 anos	MAUÁ 3	AmGT (100%)	AM	N	1.232	583	507	484	203,50	760	Onshore	Gás de Urucu		
			GNA I (NOVO TEMPO)*	Gás Natural Açr (100%)	RJ (PE)	SE (NE)	3.052	1.238	612	611	206,50	626	626	GNL Importado	GNL-to-power, terminal de regaseificação com capacidade adicional para outros segmentos	
2015	21ª LEN A-5	01/01/2020 20 anos	RIO GRANDE	Consórcio UTE Rio Grande (100%)	RS	S	2.945	1.238	605	604	206,50	620	GNL Importado	Outorga revogada em 2017. Em discussão a possibilidade de transferência do PPA		
			PORTO DE SERGIPE I	Celso - Golar Power (50%), Ebrasil (50%)	SE	NE	3.295	1.516	867	867	279,00	1.250	1.250	GNL Importado	GNL-to-power, terminal de regaseificação com capacidade adicional para outros segmentos	
2015	22ª LEN A-3	01/01/2018 20 anos	PROSPERIDADE I	Imetame (100%)	BA	NE	93	28	23	23	214,25	26	Onshore	Geração de energia onshore (gas-to-wire)		
2016	23ª LEN A-5	01/01/2021 20 anos	OESTE DE CANOAS I	Oeste de Canoas Petróleo e Gás (100%)	MA	N	17	6	3	3	258,00	6	Onshore	Geração de energia onshore (gas-to-wire)		
			GNA II (PORTO DO ACU III)	Gás Natural Açr (100%), Patria Investimentos (50,1%), Shell (29,9%)	RJ	SE	3.432	1.673	1.547	1.450	213,91	2.086	2.086	GNL Importado	GNL-to-power, terminal de regaseificação com capacidade adicional para outros segmentos	
2017	28ª LEN A-6	01/01/2023 25 anos	MARLIM AZUL (VALE AZUL II)	Mitsubishi (20,0%), Patria Investimentos (50,1%), Shell (29,9%)	RJ	SE	1.226	466	421	421	211,90	642	Offshore (Pré-sal)	Monetização do gás natural do pré-sal (gas-to-power), aproveitando escoamento existente		
2018	28ª LEN A-6	01/01/2024 25 anos	PARNABA SA E S8	Eneva (100%)	MA	N	1.089	363	326	326	179,98	272	Onshore	Fechamento do ciclo aberto da UTE Parnaíba I (reservoir-to-wire)		
2019	1ª LEN S. ISOLADO BOA VISTA	28/06/2021 15 anos	Jaguatirica II	Eneva (100%)	RR	N	425	126	126	126	798,17	429	Onshore (GNL de Azulão)	Gás natural fornecido por GNL (por combiñão), liquefeito do campo de Azulão (AM)		
			MC2 NOVA VENEZIA 2	Eneva (100%)	MA	N	405	92	77	70	188,22	85	85	Onshore	Fechamento de ciclo da UTE MC2 Nova Venécia 2 (reservoir-to-wire)	
2019	30ª LEN A-6	01/01/2025 25 anos	NOVO TEMPO BARCARENA	BEP (24,75%), Ceiba (1%), Golar Power (49,5%), OAK (24,75%)	PA	N	1.502	605	584	570	188,95	712	GNL Importado	GNL-to-power, terminal de regaseificação com capacidade adicional para outros segmentos		
			PROSPERIDADE II	Imetame (100%)	BA	NE	122	37	35	33	188,90	25	25	Onshore	Geração de energia onshore (gas-to-wire)	
TOTAL / MÉDIA											18.834	7.971	5.609	5.463	216,43	
EXCLUINDO RIO GRANDE											15.889	6.733	5.003	4.859	222,29	

* Em 2017, a ANEEL aprovou transferência do outorga para o GNA, no Porto do Açr. Início de operação em 01/01/2021, com 23 anos de contrato.

Elaboração: FGV CERJ, com dados da CCEE

Os projetos da Gás Natural Açú (UTES GNA I e GNA II) constituem o maior complexo termelétrico da América Latina, com potência instalada de 3 GW. Juntas, as duas usinas poderão consumir mais que o dobro do volume importado de GNL em 2017 e atender o equivalente a 14 milhões de residências. Há estudos para integrar o Porto do Açú à malha nacional de gasodutos, além de integrar o complexo a novos dutos de escoamento oriundos da Bacia de Campos (Pré-sal).

A UTE Porto de Sergipe já está em fase de comissionamento e a sua entrada em operação está prevista para janeiro de 2020. A unidade de estocagem e regaseificação flutuante (FSRU, em inglês) terá capacidade para regaseificar 21 milhões de m³/dia. Para potencializar a utilização da capacidade de regaseificação do FSRU, a Golar Power irá desenvolver um projeto piloto de caminhões movidos a GNL, além de transportar o GNL para outras localidades da costa nordestina por meio de cabotagem (EPE, 2019).

O projeto mais recente no modelo *LNG-to-power*, aprovado no Leilão A-6 de 2019, foi a UTE Novo Tempo Barcarena, no Pará, com participação da Golar Power. O projeto também será estruturado por meio de um novo terminal de regaseificação, viabilizando a expansão na região Norte com distribuição do insumo para outros segmentos⁸.

Além do modelo *LNG-to-power*, os leilões mais recentes também tiveram predominância de modelos *gas-to-wire* e *reservoir-to-wire*, viabilizando a monetização de recursos *onshore*. Parnaíba é o caso emblemático de recursos em localização com restrita alternativa para monetização, dada a inexistência de infraestrutura e mercado potencial.

O projeto Marlim Azul também é emblemático, por ser o primeiro a utilizar gás dedicado do Pré-Sal, com fornecimento pela Shell; porém, a termelétrica aproveitará infraestrutura existente de escoamento (Rota 2). Aponta-se, assim, para a possibilidade promissora de utilização dedicada de gás associado (inflexível), mas ainda não se viabiliza novas rotas de escoamento. O projeto não teria capacidade ancorar nova infraestrutura de escoamento, sinalizando a necessidade de novos arranjos e coordenação.

O desenvolvimento das reservas de gás do Pré-Sal requer investimentos adicionais em infraestrutura no médio prazo, especialmente gasodutos de escoamento, que possuem elevados custos de capital. O processo de decisão de investimento no segmento upstream requer compromissos de longo prazo, com certeza sobre a comercialização do gás. Em contexto de mercados de gás pouco desenvolvidos, a comercialização é geralmente antecipada, dado os riscos de destinação do gás para o projeto. Assim, produtores ainda enfrentam dificuldades para viabilizarem contratos de gás associado dedicados a térmicas que envolvam expansão de infraestrutura de escoamento ou transporte.

A UTE Jaguatirica II, vencedora do 1º Leilão do Sistema Isolado (Boa Vista), é alternativa para a segurança energética de Roraima, com inovações importantes. O fornecimento de gás para a usina será feito a partir do campo terrestre de Azulão, localizado na Bacia do Amazonas. De acordo com a Eneva (2019), proprietária do empreendimento, o projeto irá desenvolver a produção de gás e a geração termelétrica de forma integrada, replicando em uma nova geografia o modelo de negócios *reservoir-to-wire* de Parnaíba. O projeto integrado Azulão-Jaguatirica contará com um gasoduto virtual para transporte do gás natural do Amazonas até Roraima, com liquefação do gás e transporte pelo modal rodoviário para abastecer a térmica (cerca de mil quilômetros de distância). Estima-se que a geração a gás contribua para redução de 36% nas emissões de CO₂ e de 38% no custo de geração do sistema isolado.

3.4 NOVOS DESENHOS DE MERCADO E PERSPECTIVAS DE EXPANSÃO

No Brasil, o desenvolvimento da indústria do gás natural não evoluiu de forma harmoniosa com o setor elétrico. Parte da explicação se deve à assimetria entre o perfil da oferta de gás doméstico inflexível (associado) e a demanda por geração térmica flexível, sujeita a disponibilidade de recursos variáveis, nível dos reservatórios e comportamento da demanda.

Com prioridade na política energética nacional, o setor elétrico endureceu gradativamente os requisitos em relação ao fornecimento de gás às térmicas, de forma a reduzir os riscos à segurança de abastecimento. Esse recrudescimento teve consequências para a estrutura da indústria de gás natural. Na ausência de uma interlocução entre as duas indústrias, os interesses do setor de gás natural ficaram subordinados aos do setor elétrico, limitando o desenvolvimento de um mercado mais robusto.

⁸ EPBR, 19/10/2019. "Leilão de energia viabiliza primeiro terminal de GNL do Pará". Disponível em: <https://epbr.com.br/leilao-de-energia-viabiliza-primeiro-terminal-de-gnl-do-para/>

A Figura 3 apresenta as necessidades e requisitos do setor elétrico e as características relacionadas ao setor de gás natural, apontando as magnitudes de custos envolvidos para o suprimento. Observa-se que nos modelos vigentes remanesce uma dificuldade de capturar os diferentes serviços oferecidos pelas termelétricas e precificá-los de forma adequada.

FIGURA 3 – RELAÇÕES ENTRE O SETOR ELÉTRICO E DE GÁS NATURAL E MAGNITUDE DE CUSTOS ENVOLVIDOS

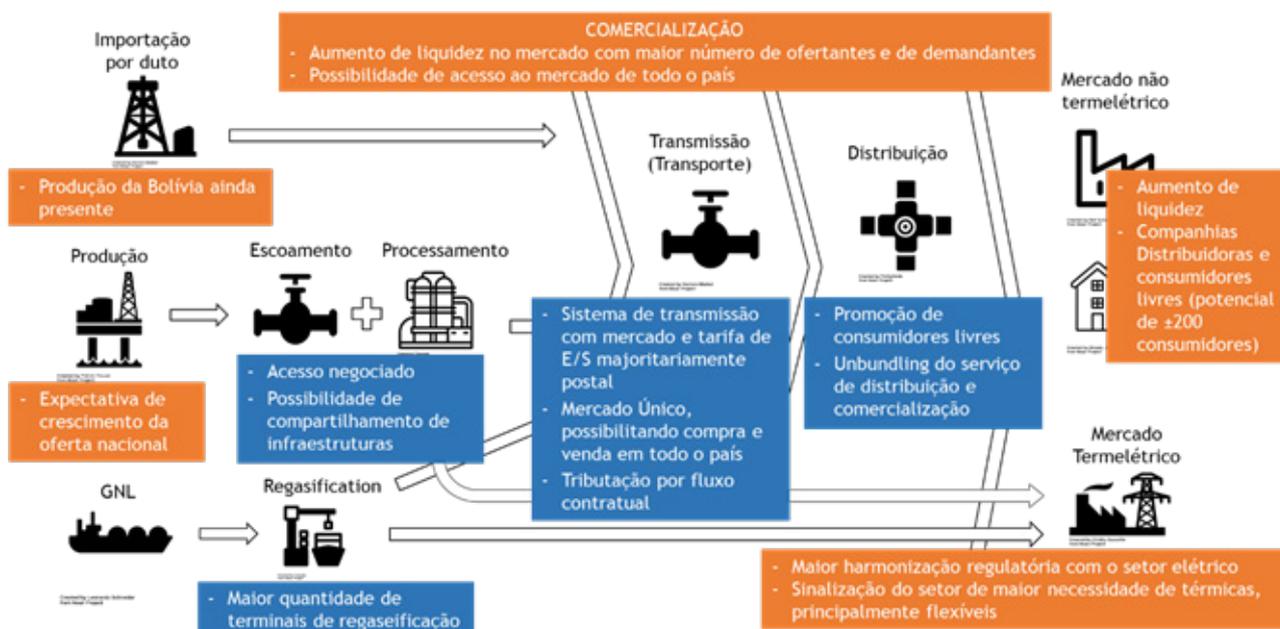
Necessidades	Requisitos	Característica do Suprimento de GN	Custo
Atendimento Energético	Entrega firme de energia elétrica	- Produção firme - Uso contínuo de infraestrutura de GN	
Complementariedade Energética	Geração flexível de médio prazo	- Produção variável - Uso descontínuo de infraestrutura de GN - GNL / Estocagem	
Segurança elétrica: variação instantânea da demanda e da oferta de fontes intermitentes	Geração flexível de prontidão	- Produção variável - Uso descontínuo de infraestrutura de GN - GNL / Estocagem - Máquinas adequadas a modulação	

Fonte: PETROBRAS

Após a iniciativa Gás para Crescer, inúmeros avanços foram alcançados através de regulação infralegal – como tratamento das penalidades por falta de combustível; sazonalização mensal da inflexibilidade; flexibilização de parâmetros para geração flexível e inflexível, com possibilidade de estratégias distintas de indexação da receita fixa e do CVU; reajuste mensal da parcela de combustível para geração inflexível na receita fixa; indexação em dólares da parcela relativa aos custos de regaseificação; e a remuneração do despacho por Reserva Operativa de Potência. Esses aprimoramentos favoreceram a maior contratação das térmicas a gás nos últimos leilões de energia, também impulsionada pela redução do preço do GNL no mercado internacional; porém, restam desafios para integração efetiva entre os setores.

Durante o Workshop, foram apontados desafios e oportunidade para aprofundar a harmonização entre os setores. Neste contexto, destacam-se as propostas de mudanças no marco regulatório e no desenho do mercado de gás natural no Brasil (figura 4), reunidas na iniciativa “Novo Mercado de Gás”, além do Plano de Ação da modernização do setor elétrico em curso.

FIGURA 4 – POSSÍVEL DESENHO DO MERCADO DE GÁS NATURAL NO BRASIL APÓS REFORMA DO SETOR



Fonte: PETROBRAS

Em benefício da competitividade do país, as reformas concomitantes nos setores elétrico e do gás natural caminham na direção de aprofundar a abertura e a concorrência em ambas as indústrias. Já estão em vigência comitês de monitoramento da abertura nos setores, além de determinações infralegais disciplinando a abertura e demandando estudos adicionais de órgãos regulatórios competentes.

O Grupo de Trabalho de modernização do setor elétrico elaborou Plano de Ação a ser implementado nos próximos dois anos, instituindo o Comitê de Implementação da Modernização do Setor Elétrico (Portaria MME nº 403/2019). Dentre os quinze temas endereçados pelo trabalho em curso destacam-se: formação de preços, governança, abertura de mercado, processo de contratação e integração gás - energia elétrica.

Os esforços de modernização do setor de gás natural, por seu turno, retomados com a iniciativa “Gás para Crescer” em 2016, apontam para profunda reformulação: avanços infralegais, reposicionamento da Petrobras em todos os segmentos da cadeia, maior ênfase na defesa da concorrência e aguardada reforma legal.

Dando continuidade aos avanços infralegais supracitados, o Decreto nº 9.616/2018 alterou o Decreto nº 7.382/2010, que regulamenta a Lei do Gás, visando (i) destravar os estudos para expansão da malha dutoviária; (ii) indicar a migração para o modelo de entrada e saída na malha de transporte; e (iii) determinar que a ANP estabeleça diretrizes para o acesso de terceiros às infraestruturas essenciais (escoamento, processamento e terminais de regaseificação) e autorize, regule e fiscalize a atividade de estocagem⁹.

No atual governo, os esforços de aprimoramento foram retomados na iniciativa “Novo Mercado de Gás”, com vistas a: (i) promoção da competição em segmentos competitivos; (ii) harmonização das esferas de regulação federal e estaduais; (iii) remoção de barreiras tributárias; (iv) revisão do modelo de expansão do transporte; (v) instituição do modelo de entrada e saída para contratação de capacidade; e (vi) estabelecimento de acesso negociado a infraestruturas essenciais.

Em junho de 2019, a Resolução do CNPE nº 16 definiu diretrizes para o aperfeiçoamento das políticas energéticas e regulatórias no mercado de gás natural, estabelecendo como princípio de transição para um mercado concorrencial de gás a integração do setor de gás natural com os setores elétrico e industrial. Dentre as medidas, o CNPE recomendou que o MME, a ANP e a EPE se articulem para promover o apoio de treinamento e capacitação das agências reguladoras estaduais.

Em julho de 2019, o Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE) aprovou o Termo de Cessação de Conduta (TCC) relacionado à atuação da Petrobras na indústria do gás. Também em julho, o Governo publicou o Decreto nº 9.934/2019, instituindo o Comitê de Monitoramento da Abertura de Mercado, formado pelo MME, Ministério da Economia, CADE, ANP e EPE.

Dentre as medidas previstas pelo TCC celebrado entre o CADE e a Petrobras, destacam-se: (i) a negociação do acesso de terceiros às rotas de escoamento e unidades de processamento de gás natural; (ii) a redução de volumes adquiridos pela Petrobras a partir de outros produtores e terceiros; e (iii) a definição de capacidade excedente nos gasodutos de transporte, indicando as suas demandas por entrada e saída de gás, por área de concessão das distribuidoras e consumo próprio, nos sistemas da NTS e da TAG, eliminando flexibilidades e congestionamento contratual (volumes contratados e não movimentados).

Em alinhamento às reformas dos setores, a Petrobras manifestou intenção de alienar de controle de termelétricas ao longo de 2020; entretanto, alguns desafios terão de ser superados para que se consiga criar um modelo de negócio que seja atrativo para investidores. Nesse contexto, cabe abordar: a comercialização das usinas com contratos de energia prestes a vencer, a definição do preço do gás para futuro fornecimento e a competitividade dos empreendimentos existentes vis-à-vis a novos projetos nos leilões de energia a serem realizados em abril de 2020. Estima-se que as usinas deverão arrematar um terço da demanda a ser disponibilizada nos leilões de abril¹⁰.

Os leilões de energia existente A-4 e A-5 de 2020 visam contratar energia de termelétricas a gás natural e a carvão mineral nacional, para a substituição de contratos de usinas a carvão, a gás, a óleo diesel e a óleo combustível com vencimento a partir de 2023. Serão ofertados contratos por disponibilidade de 15 anos¹¹. O período de vigência, considerado longo na comparação com prazos normalmente contratados em outros leilões de energia existente, foi definido em razão do vencimento de grande quantidade de contratos de térmicas a partir de 2021. Incluem-se aqui os que foram negociados em certames de energia nova de 2005, 2006 e 2007, assim como contratos remanescentes do

9 Em 2019, a EPE lançou o Plano Indicativo de Gasodutos (PIG) e o Plano Indicativo de Processamento e Escoamento de Gás Natural (PIPE).

10 Valor Econômico, 12/12/2019. “Estatal tem desafios para venda das térmicas”. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/12/12/estatal-tem-desafios-para-venda-das-termicas.ghtml>

11 O período de suprimento será de janeiro de 2024 a dezembro de 2038, no caso do A-4, e de janeiro de 2025 a dezembro de 2039, para o A-5.

Programa Prioritário de Termelétricidade (PPT¹²).

A ANEEL também está formulando estudo comparativo sobre o custo-benefício de se optar por termelétricas no modelo “boca do poço”. Nesse caso, cabe equacionar a infraestrutura de transmissão para levar energia aos mercados consumidores, ou por usinas instaladas próximas aos locais de consumo, que poderiam ser potencialmente supridas por gás *offshore*, ancorando novos investimentos em infraestrutura de escoamento¹³.

A contratação de sistemas isolados, que teve evolução expressiva a partir da Portaria MME nº 67/2018, também pode constituir fonte expressiva de expansão no uso do gás natural, com benefícios para diversos segmentos. Sugeriu-se, no âmbito do Workshop, que o MME organize, a partir de relatório de planejamento da EPE, Leilões de Sistemas Isolados periódicos/anuais para (i) reduzir os subsídios à CCC para arcar com custos de geração; e (ii) substituir o diesel por outras fontes energéticas locais e mais eficientes. De acordo com a EPE, considerando as 270 localidades isoladas do país, 61% poderão registrar déficit de demanda ou necessidade de substituição de máquinas existentes, apontando potencial de penetração expressiva de novas fontes também nos sistemas isolados.

A contratação futura de térmicas a gás dependerá diretamente das definições dos novos desenhos de mercado, do setor elétrico e do gás natural. Dentre as incertezas presentes, destaca-se a proposta de estabelecer mecanismo de contratação de capacidade, através da separação dos produtos Lastro e Energia. Referido tema consta da Consulta Pública MME nº 033/2017, tendo sido retomado pelo GT de Modernização do Setor Elétrico. A proposta visa promover contratação centralizada de lastro (capacidade/produção/flexibilidade) mediante alocação dos custos pelo universo dos consumidores, através de remuneração por encargo; todavia, o tema ainda carece de definição clara de implementação, bem como sinalização adequada para gestão eficiente de risco.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A expansão da geração térmica a gás natural nos últimos leilões de energia voltou-se principalmente para importação de GNL em novos terminais de regaseificação. A oferta de GNL é adequada para a demanda por flexibilidade do sistema elétrico brasileiro e a sua penetração na indústria do gás pode ser estratégica para contestação e abertura de novos mercados.

Paralelamente à expansão em curso já contratada e ao potencial vislumbrado pela indústria do gás, o novo patamar de geração térmica no país abre espaço para complementação mais frequente e constante dessa tecnologia, o que é favorável à contratação de recursos domésticos mais inflexíveis (gás associado).

A expansão da geração térmica a gás pode contribuir para maior confiabilidade no setor elétrico e para o desenvolvimento da indústria do gás no país, ampliando a oferta para outros segmentos de consumo. O êxito da expansão, no entanto, dependerá dos tempos e contratempos das reformas em andamento em ambas as indústrias. A harmonização do arcabouço legal e regulatório entre as indústrias de energia elétrica e gás natural, assegurando mecanismos hígidos e adequadamente articulados de alocação de riscos, é essencial para pavimentar a construção de ambientes competitivos e eficientes, viabilizando a oferta de energia necessária para o desenvolvimento econômico e social do país.

12 CanalEnergia, 17/12/2019. “Edital dos leilões A-4 e A-5 entra em consulta pública”. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53121355/edital-dos-leiloes-a-4-e-a-5-entra-em-consulta-publica>

13 CanalEnergia, 06/12/2019. “Setor elétrico x Gás: integração em 2020?”. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/especiais/53120293/setor-eletrico-x-gas-integracao-em-2020>

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura da Fundação Getúlio Vargas (FGV CERI), 2017. “Geração termelétrica a gás natural – Comprovação de disponibilidade de combustível”. Disponível em: https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes/2018-10/53_53_relatorio-geracao-termeletrica-a-gas-natural-2017_0.pdf

Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2018. “Térmicas na base: a escolha inevitável”. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/be/50/be501592-341c-46b8-a624-644d1600eedc/termicas_na_base_web.pdf

Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2018. “Estocagem subterrânea de gás natural – Aspectos gerais, regulatórios, estimativa de custos e simulação”. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-337/EPE,%202018%20-%20Estocagem%20Substerr%C3%A2nea%20de%20G%C3%A1s%20Natural.pdf>

Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2019. “Terminais de regaseificação de GNL no Brasil – Panorama dos principais projetos”. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-412/Nota%20T%C3%A9cnica%20-%20Terminais%20de%20Regaseifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20GNL%20no%20Brasil%20\(Ciclo%202018-2019\).pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-412/Nota%20T%C3%A9cnica%20-%20Terminais%20de%20Regaseifica%C3%A7%C3%A3o%20de%20GNL%20no%20Brasil%20(Ciclo%202018-2019).pdf)

Eneva, 2019. Fato Relevante – 31 de maio de 2019. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/mz-filemanager/6c663f3b-ae5a-4692-81d3-ab23ee84c1de/3f1db374-ab23-4a4c-9e98-05ed3f29c3ef_2019.05.31_FR%20-%20Leilao%20Roraima%20%28port%29_vf.pdf

Losekann, L., 2015. “A integração truncada das termelétricas a gás natural no setor elétrico brasileiro”. Boletim Infopetro, v. 15, n. 4. Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2015/10/19/a-integracao-truncada-das-termeletricas-a-gas-natural-no-setor-eletrico-brasileiro/>



Capítulo 4

RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS

(Waste-to-Energy)

Data: 17 de outubro de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Subsolo

Co-organizador: Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos - ABREN

Este foi o quarto tema de uma série de debates sobre fontes energéticas no âmbito do planejamento de longo prazo do MME, e teve como objetivo capacitar o público presente sobre a necessidade de implantação de usinas de recuperação energética no país, conhecidas como usinas waste-to-energy, mostrando sua relevância para a matriz de geração de energia limpa e renovável e para a proteção do meio ambiente para as presentes e futuras gerações.

4.1 INTRODUÇÃO

Há um enorme potencial energético a ser extraído dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que de outra forma será desperdiçado e causará graves danos ao meio ambiente, como emissão de gases de efeito estufa, que chegam a 11% do total dos gases emitidos, e a contaminação dos recursos hídricos, que reduz a quantidade de água potável disponível no planeta. Vários desafios persistem atualmente na gestão dos resíduos e também quanto aos resíduos animais e vegetais em todo o Brasil. Torna-se, pois, relevante analisar o foco deste estudo, que é a recuperação energética de resíduos sólidos.

A recuperação energética de resíduos sólidos encontra-se bastante avançada em diversos países, sendo que o Brasil ainda possui um grande caminho a percorrer. Procura-se, assim, perceber a existência dos impactos em centros urbanos e no meio rural que os resíduos causam, de modo a apresentar soluções tecnológicas para o devido aproveitamento energético.

Partindo dessa premissa, a intenção deste estudo é de provocar, em virtude de problemas, que refletem a situação atual no Brasil, referentes à quantidade de resíduos gerados; à ação dos agentes envolvidos na implementação da recuperação energética de resíduos sólidos; aos impactos positivos e negativos identificados no meio ambiente, na economia e na sociedade e, sobretudo, compreender até que ponto a gestão pública dos resíduos no Brasil pode se beneficiar com a utilização da recuperação energética.

Os créditos de autoria da presente contribuição pertencem aos especialistas M.Sc. Yuri Schmitke Almeida Belchior Tisi¹⁴ e Sander Lara¹⁵ e contribuições pontuais da Climate Bonds Initiative (CBI).

4.2 ROTAS TECNOLÓGICAS MAIS UTILIZADAS NA RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA

A recuperação energética consiste nos métodos e processos industriais que permitem recuperar parte da energia contida nos RSU. Dentre os métodos existentes, os mais empregados utilizam a incineração por processo de combustão¹⁶. A composição do RSU também influencia na eficiência do sistema de recuperação energética, a depender da localização e de como são gerados, especialmente sobre a composição (mais ou menos resíduo orgânico), poder calorífico e umidade. Basicamente, a recuperação energética pode ser dividida em três grupos: (i) incineração mass burning, que opera com excesso de oxigênio, (iii) as modernas técnicas de Mechanical Biological Treatment (MBT), ou Tratamento Mecânico Biológico (TMB) e (ii) a gaseificação ou Pirólise, que opera com déficit de oxigênio¹⁷.

Importante destacar que uma usina de recuperação energética de resíduos não é propriamente um empreendimento de geração de energia, mas essencialmente um agente de saneamento que tem como subproduto o insumo energia. Esse contexto é essencial para demonstrar às autoridades a natureza e a essencialidade das usinas WTE, especialmente sob os aspectos de custo e benefício, quando comparados com outras fontes de geração de energia.

4.2.1 INCINERAÇÃO MASS BURNING

A incineração *mass burning* é a rota tecnológica mais difundida e empregada no mundo para tratar os RSU e assim reaproveitar o conteúdo energético inerente, sendo responsável por mais de 90% dos sistemas de tratamento térmico de RSU no mundo. Nesse processo, os RSU são depositados em um fosso de armazenamento sem necessidade alguma de pré-tratamento, ou seja, separação entre as parcelas orgânica e inorgânica. Através de garras, os RSU são dosados no sistema de alimentação das caldeiras ou fornos, para serem incinerados com excesso de oxigênio. Nesse processo são gerados gases quentes que trocam calor, em uma caldeira, com as paredes e tubos produzindo vapor em alta pressão e temperatura, para uso térmico ou em conjuntos de turbinas e geradores de energia termoelétrica. Os sistemas mais empregados são os de Grelhas Móveis. Antes de serem lançados na atmosfera, os gases gerados no processo de combustão atravessam uma série de sistemas de controle ambiental para eliminação dos poluentes, sendo as emissões exigidas para tais usinas as mais restritivas entre todas as fontes de geração termoelétrica, como carvão, biomassa, óleo combustível e gás natural¹⁸.

14 Presidente Executivo da Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos – ABREN. Membro do Instituto Brasileiro de Estudos do Direito de Energia (IBDE) e da Sociedade Brasileira de Planejamento Energético (SBPE).

15 Possui 21 anos de experiência na área ambiental no meio socioeconômico nos setores de energia, resíduos sólidos e mineração, tendo trabalhado na OEI, UNESCO, DNPM, FEAM e CNEC/WORLEY PARSONS, nesta como supervisor de socioeconomia na construção da UHE Belo Monte, em Altamira no Pará.

16 Branchini, L. Waste-to-Energy: Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants. Springer: Bologna, Italy, 2015, p. 19..

17 ABRELPE e PLASTIVIDA. Caderno Informativo Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos. 2012. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-caderno/>>. Acesso em 01 mar. 2019.

18 THEMELIS, Nikolas J., BARRIGA, Maria Elena Diaz, ESTEVEZ, Paula, Et al. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America

FIGURA 01 – PLANTA DE WTE MASS BURNING DO TIPO GRELHAS MÓVEIS^{19 20}



Para evitar riscos irreversíveis à saúde da população local e ao meio ambiente, é essencial cumprir normas internacionais de emissões e o monitoramento e registro das emissões deve ser assegurado.

Os poluentes nos gases de combustão tomam forma de pó e de gases como ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e dióxido de enxofre (SO₂). Diversos componentes contendo mercúrio, dioxinas ou dióxido de nitrogênio (NO₂) só podem ser removidos através de processos químicos extremamente avançados. Os principais aspectos ambientais a ser tratados são²¹ :

- a) Controle e monitoramento das emissões atmosféricas e líquidas (incluindo odores);
- b) Qualidade e potencial de uso da produção de escória (ex. níveis de contaminação por metais pesados);
- c) Descarte seguro ou reciclagem dos resíduos perigosos de cinza em suspensão;
- d) Ruído e vibração do processo;
- e) Consumo de água e outras matérias primas (reagentes);
- f) Emissão fugitiva, principalmente do armazenamento de resíduos;
- g) Riscos de armazenamento/manuseio/processamento de resíduos perigosos.

4.2.2 TRATAMENTO MECÂNICO BIOLÓGICO (TMB)

O processamento de RSU por meio do TMB utiliza duas tecnologias principais. A primeira se dá através do método de *Mechanical-biological Pre-treatment* (MBP), ou Pré-tratamento Mecânico-biológico, que consiste na remoção da fração de Composto Derivado de Resíduo (CDR), para, em seguida, tratar o resíduo remanescente, antes que a maior parte dele seja aterrada. A segunda forma de MBT ocorre por meio da *Mechanical Biological Stabilization* (MBS), ou Estabilização Mecânico-biológica, em que, primeiro, se faz a compostagem do resíduo para secagem antes da extração de uma grande fração de CDR, e apenas uma pequena fração é aterrada. Esta tecnologia também é chamada de biosecagem. Em cada uma das duas tecnologias mencionadas está disponível uma gama de variações, a depender da composição do resíduo recebido e da rota da fração de CDR²² .

4.2.3 GASEIFICAÇÃO

O terceiro grupo de usinas WTE é o da gaseificação ou pirólise, em que os RSU sofrem um pré-tratamento,

and The Caribbean. 2013. Disponível em: < http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf>. Acesso em 04 mar. 2019; Vide RAGOFF, Marc. J. e SCREVE, Francois. Waste-to-Energy: Technologies and Project Implementation. 2ª edição. Elsevier: Oxford, 2011, p. 22-41.

19 Steinmüller Babcock Environmenta. Energy From Waste. Disponível em: < https://www.steinmueller-babcock.com/_Resources/Persistent/4e379913cef00912c869507f38ae64116c65d569/EfW_english.pdf>. Acesso em 01 mar. 2019.

20 1. Depósito de resíduos; 2. Funil de alimentação de resíduos; 3. Alimentador; 4. Grelha móvel para a frente; 5. Extrator de escória; 6. Depósito de escória; 7. Fogo da grelha; 8. Evaporador; 9. Superaquecedor; 10. Economizador; 11. Tambor da caldeira; 12. Turbina; 13. Alimentador do tanque de água; 14. Absorvedor de pulverização; 15. Reator de fluxo; 16. Filtro de tecido; 17. Silos; 18. Ventilador; 19. Chaminé.

21 Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Alternativas em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Um Guia para Tomadores de Decisão em Países Emergentes ou em Desenvolvimento. Eschborn, 2017.

22 CHRISTENSEN, Thomas H., ANDERSEN, Lizzi. Solid Waste Technology & Management. Vol. 1 e 2. 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235672736_Solid_Waste_Technology_Management_Volume_1_2>. Acesso em 04 mar. 2019.

de forma a criar uma massa mais homogênea e seca. Na sequência são submetidos a tratamento térmico em altas temperaturas e ambiente pobre de oxigênio, situação em que os gases gerados no processo de combustão também precisam de sistemas de controle ambiental para eliminação dos poluentes. Em termos energéticos, a gaseificação possui um menor aproveitamento energético líquido. Em face da necessidade de realizar pré-tratamento e secagem dos RSU, os custos operacionais adicionais diminuem a sua competitividade em relação à incineração *mass burning*²³.

No processo de gaseificação, o carbono e o hidrogênio presentes nos RSU reagem parcialmente com o oxigênio, através da combustão, gerando o gás de síntese (gás hidrogênio e monóxido de carbono conhecido como *syngas*), dióxido de carbono e cinzas. A gaseificação ocorre em um primeiro forno mediante combustão dos gases voláteis e geração de vapor em um segundo forno, ou pelo uso do *syngas* em um motor ou turbina, em cujo processo são utilizados equipamentos denominados gaseificadores, que podem ser configurados de diversas formas. O *syngas* pode ser queimado em geradores especiais para gerar energia elétrica ou utilizado como intermediário para reações que geram produtos químicos²⁴. Os tipos mais comuns de gaseificadores são os de (i) Leito Fixo, (ii) Leito Fluidizado e (iii) Plasma.

4.2.4 PIRÓLISE

A pirólise é o tratamento desenvolvido totalmente sem a presença de oxigênio. Os componentes dos RSU são decompostos em hidrocarbonetos nas formas gasosas e cinzas. A fração gasosa pode ser destilada para se obter diversos hidrocarbonetos (gasolina, querosene e diesel) ou queimados em caldeiras ou para gerar energia elétrica, ou, ainda, oxidados parcialmente para se obter gás de síntese como ocorre na gaseificação²⁵.²⁶ Esta tecnologia é bastante utilizada e eficiente para a recuperação energéticas de resíduos industriais, pneus e plásticos separados. Há também a pirólise de resíduos orgânicos utilizada para a produção de hidrogênio (Tecnologia Japonesa Blue Tower²⁷).

As tecnologias de gaseificação e pirólise demandam escalas a partir 25 ton/dia para se viabilizarem, ao passo que a incineração a partir de 600 ton/dia. A biodigestão anaeróbica se viabiliza a partir de 30 ton/dia. Com isso, é possível afirmar que o atual estágio tecnológico permite atender todos os municípios brasileiros, ou conjunto destes, a partir de 25 mil habitantes, considerando a média nacional de produção de 1kg por habitante.

4.2.5 BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

A biodigestão anaeróbia é o processo de decomposição de matéria orgânica que ocorre na ausência de oxigênio gerando o biogás e um resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante. O biogás é composto principalmente de metano e gás carbônico, ambos com ampla utilização na indústria.

A combustão do metano libera energia térmica que pode ser convertida em outras formas de energia, o que dá ao biogás a conotação de Fonte de Energia Renovável. O uso do biogás como fonte de energia tem aumentado muito o seu valor de mercado e criando setores específicos como o de biodigestores.

Nos biodigestores, a biodigestão anaeróbia ocorre nos chamados fermentadores. As técnicas aplicadas nos fermentadores são fundamentais para o aumento da eficiência na produção de biogás e biofertilizantes fazendo com que estes sejam o principal componente de um biodigestor, independente do modelo.

A nível bacteriano, a biodigestão anaeróbia acontece em 4 etapas: A Hidrólise, a Acidogênese, a Acetogênese e a Metanogênese.

Na hidrólise as ligações moleculares complexas (polímeros) como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico e liberadas por um grupo específico de bactérias, dando origem a compostos orgânicos simples (monômeros), como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares.

23 ABRELPE e PLASTIVIDA. Caderno Informativo Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos. 2012. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-caderno/>>. Acesso em 01 mar. 2019.

24 Ibidem.

25 ABRELPE e PLASTIVIDA. Caderno Informativo Recuperação Energética de Resíduos Sólidos Urbanos. 2012. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-caderno/>>. Acesso em 01 mar. 2019.

26 Themelis, N. J., Barriga, M. E. D., Estevez, P., Et al. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and The Caribbean. 2013. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf>. Acesso em 05 mar. 2019.

27 DOWAKI, Kiyoshi. Energy Paths due to Blue Tower Process. 2011. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/a8fd/86bddd2fb5ae7c7c3ade0b0a29944565562e.pdf?_ga=2.72152979.1052780398.1574454867-719627755.1574454867>. Acesso em 22 nov. 2019.

Existem diversos tipos de hidrólise, como as que variam em função da matéria orgânica utilizada, como a hidrólise de glicosídeos para a formação de açúcares e de proteínas para aminoácidos.

Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois somente com a quebra dos polímeros maiores é que começa o processo de biodigestão, mas, contudo, esse processo ocorre na ausência ou não de oxigênio.

Na Acidogênese as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias fermentativas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e álcoois, assim como hidrogênio e gás carbônico. A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogênio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogênio é muito alta, interfere negativamente na eficiência da acidogênese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura baixa e o processo pode ser quase que totalmente afetado.

Na Acetogênese o material resultante da acidogênese é transformado em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico, por bactérias acetogênicas. Esse é uma das fases mais delicadas do processo, pois é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias *Archeas* responsáveis pela metanogênese.

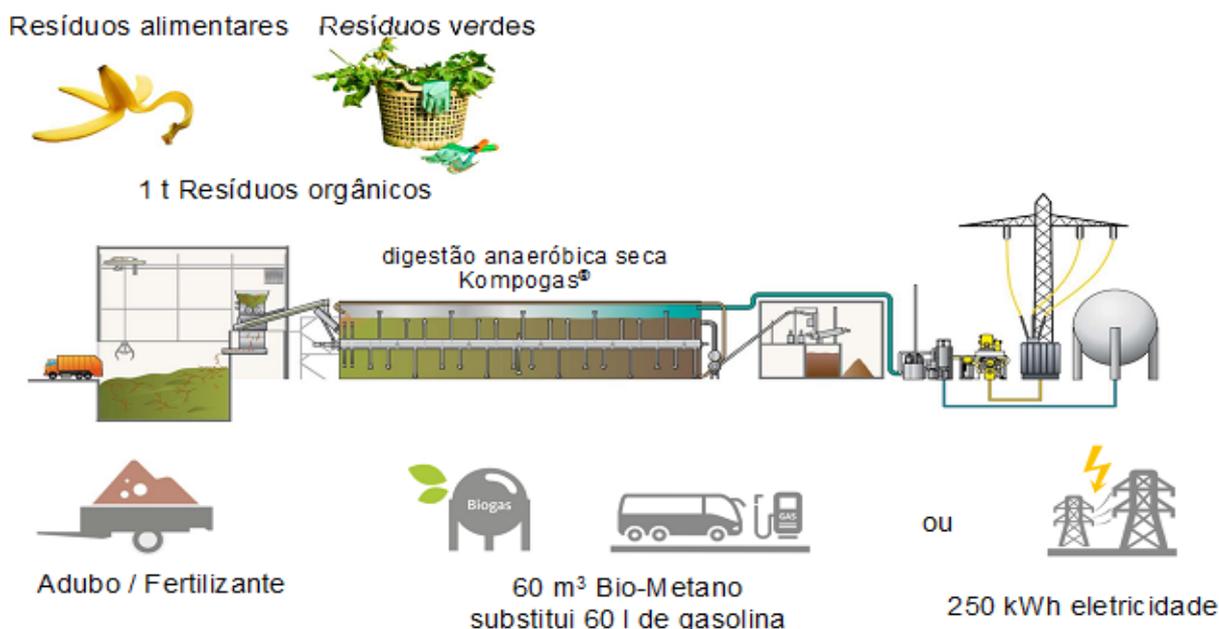
A metanogênese ocorre por diferentes grupos de bactérias, basicamente através de duas reações. Na primeira reação, ocorre a geração de metano e gás carbônico derivados do ácido acético. Na segunda, o hidrogênio e o gás carbônico dão origem ao metano e a água.

As bactérias da metanogênese trabalham na completa ausência de oxigênio. Os mais baixos índices de concentração de oxigênio já podem reduzir significativamente a ação dessas bactérias. Por isso é de extrema importância um perfeito isolamento dos fermentadores.

Se o biogás for usado para a geração de energia elétrica, acrescentamos então um gerador elétrico acoplado a um motor de combustão.

Na Alemanha existem mais de 9.200 biodigestores comerciais em operação, com aproveitamento comercial completo deste segmento. No Brasil, existe um grande potencial a ser desenvolvido, principalmente em face das atividades pecuárias e agrícolas, cujos aproveitamentos nessa área estão apenas iniciando.

FIGURA 02 – PLANTA DE BIODIGESTÃO ANAERÓBICA KOMPOGAS DA HITACHI ZOEN INOVA



4.2.6 COMPOSTO DERIVADO DE RESÍDUO (CDR)

Também a partir do TMB é possível separar Composto Derivado de Resíduos (CDR), fração inorgânica não reciclável dos RSU que pode ser utilizada como combustível no processo de fabricação de cimento (coprocessamento), o que reduz a emissão de gases de efeito estufa na fabricação do cimento Portland.

4.2.7 CAPTURA DO BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO

A captura do biogás gerado nos aterros evita a emissão na atmosfera do seu componente mais nocivo: metano (CH_4). Conforme exposto, esse gás polui a atmosfera 25 vezes mais que o dióxido de carbono (CO_2). Produzir energia a partir do biogás, ao invés de combustíveis fósseis, permite alcançar uma considerável redução na quantidade de CO_2 produzido. Ademais traz benefícios como a redução de odor, redução do risco de incêndios e produção de energia verde a partir de fontes renováveis. Todos os aterros para serem classificados como “sanitários”, devem possuir captação de biogás, seja para queimar *no flare* (sem geração de energia), seja para gerar energia elétrica, ou mesmo purificado para extração do biometano para ser utilizado em veículos. Trata-se de forma pouco eficiente, mas muito necessária nos locais em que já existem aterros.

4.3 QUAIS OS DIFERENCIAIS E VANTAGENS DESSA FONTE ENERGÉTICA?

O atual teor de umidade no lixo brasileiro (60%²⁸) reduz o poder calorífico dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), mas nem por isso o torna menos atrativo para a geração de energia elétrica. O RSU possui potencial promissor para a produção de biogás, biometano, hidrogênio, energia elétrica e térmica. O Plano Decenal de Expansão – PDE 2029 menciona considerável potencial de biogás a ser explorado na produção de energia elétrica a partir da biodigestão da vinhaça e torta de filtro. Ressalta-se, porém, que o potencial é ainda maior quando considerados outros aproveitamentos.

Nesse sentido, importante alertar para a perda da oportunidade do aproveitamento energético do RSU²⁹ para a produção de biometano voltada para uso em transporte público e no transporte utilizado no próprio setor de saneamento. Estima-se que, atualmente, os principais centros urbanos totalizem cerca de 22.000 caminhões de lixo (potencial de consumo de 685.000 m^3/a) e 107.000 ônibus urbanos (potencial de consumo de 4 Mm^3/a). A partir do uso da tecnologia *dual-fuel* seria possível substituir até 90% do consumo de diesel nesses veículos por biometano produzido a partir de RSU.

Estima-se que o potencial de produção de biogás no Brasil encontra-se em 82 bilhões de Nm^3/ano , sendo 41 bilhões do setor sucroenergético (cana-de-açúcar e seus derivados como bagaço, palha, torna de filtro e vinhaça), 37 bilhões do setor agropecuário (proteína animal, dejetos animais e culturas de milho, mandioca e soja) e 3 bilhões do setor de saneamento ambiental (esgoto sanitário e RSU). Esse montante equivale a 67 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep) ao ano, ou 76 bilhões de litros equivalentes de diesel³⁰. Considerando uma presença média de 60% de metano no biogás, e sendo o metano 25 vezes mais nocivo do que o gás carbônico equivalente (CO_2eq), o Brasil poderia chegar ao potencial de 1,03 bilhões de toneladas de CO_2eq caso venha a utilizar efetivamente o biogás como fonte de energia.

Segundo o Consórcio Italiano de Biogás, a Itália possui 2.000 plantas de biogás, gerando 1.400 MW, sendo que 80% é proveniente da agricultura, o que demandou EUR 4 bilhões em investimentos, 12.000 empregos permanentes, 10 TWh de energia renovável – aproximadamente 2,5 bilhões de m^3 de biometano. Estima-se ser possível produzir 122 bilhões de m^3 de biometano (gás renovável) na União Europeia até 2050³¹. Os Gráficos abaixo apresentam a situação atual na União Europeia:

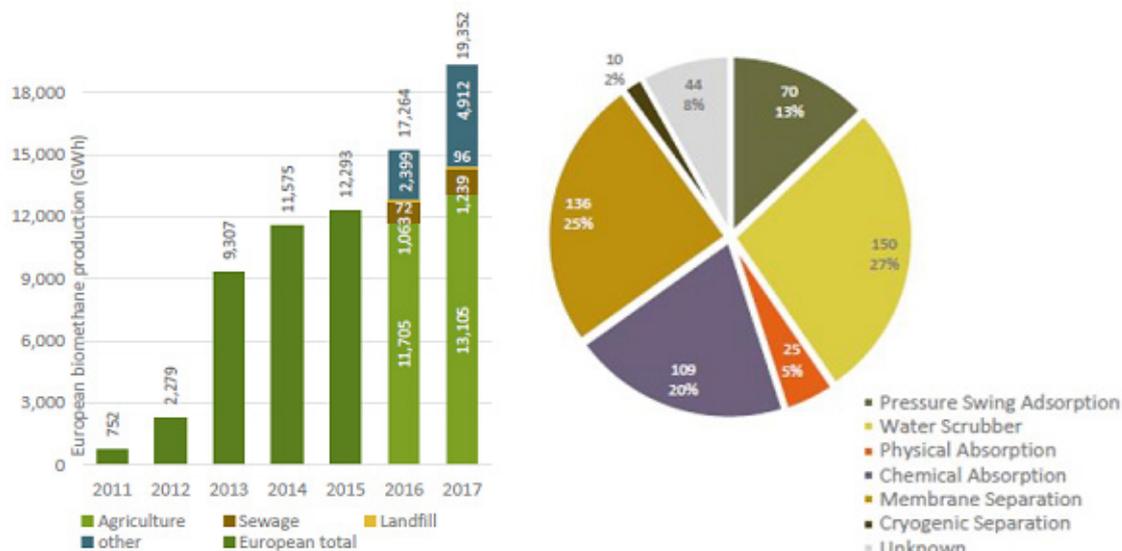
28 EPE. Nota Técnica DEA 18/14. Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro, 2014.

29 Vide MCTIC. OLIVEIRA, Luiz Gustavo Silva de. Potenciais e custos de abatimento de emissões de GEE para setores-chave da economia brasileira. 2016. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencvms/ciencia/SEPED/clima/opcoes_mitigacao/paginas/potenciais_custos_abatimento_setoriais.html>. Acesso em 22 nov. 2019; vide NTU. Anuário. 2017/2018. Disponível em: <<https://www.ntu.org.br/novo/upload/Publicacao/Pub636687203994198126.pdf>>. Acesso em 22 nov. 2019.

30 Abiogás. Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano. 2018. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/>>.

31 MAGGIONI, L. Workshop de Fontes Energéticas no Âmbito do Planejamento de Longo Prazo. Recuperação Energética Waste-to-Energy. Italian Biomethane and biogas scenario. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 17 out. 2019. Disponível em: <<https://www.abren.org.br/eventos/workshop2019.php>>. Acesso em 21 nov. 2019.

GRÁFICOS 1 E 2 – PRODUÇÃO DE BIOMETANO NA EUROPA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS.



EBA 2018. "Statistical Report of the European Biogas Association 2018." Brussels, Belgium, December 2018

Para a geração de energia elétrica, é possível atender 1,5% da demanda nacional a partir da biodigestão anaeróbica de RSU, e 5,4% da demanda nacional a partir do tratamento térmico de RSU (incineração, gaseificação ou pirólise), totalizando 6,9% da demanda nacional. O seguinte gráfico da EPE³² apresenta tais dados:

TABELA 1 – POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE RSU

	Eletricidade (GWh)	Capacidade (MW)	Unidades
GDL	-	311	-
Incineração	236.520	3.176	106
Digestão Anaeróbica Acelerada	6.701	868	1.021

Considerando apenas as regiões metropolitanas, o potencial estimado de usinas WTE de tratamento térmico de RSU é de 2,4 GW (1,85% da matriz nacional), com uma geração anual de 14.400 GWh (2,74% do total de geração), com fator de capacidade acima de 90% e com energia sendo injetada perto dos consumidores (geração distribuída³³).

A adoção de usinas WTE tem sido motivada tanto pela necessidade de minimizar as externalidades ambientais do aterro quanto pelo objetivo de aumentar a participação da energia renovável. Durante a última década as plantas WTE foram criticadas por causar impactos negativos ao meio ambiente e à saúde pública, mas a realidade é que as plantas WTE requerem sistemas sofisticados de Air Pollution Control (APC), ou Controle de Poluição do Ar, tendo se tornado um dos processos industriais de alta temperatura mais limpos existentes.

Nesse sentido, uma usina WTE detém dois grandes atributos, quais sejam, não é poluente e possui baixíssima intermitência (principalmente quando comparado com as fontes renováveis eólica e solar) com fator de capacidade acima de 90%, porquanto é uma fonte termoelétrica que detém o atributo de geração contínua e ininterrupta em sua operação, salvo paradas para manutenção que ocorrem esporadicamente e de forma planejada, o que, nesse sentido, contribui para os almejados critérios de estabilidade e confiabilidade do sistema elétrico. Além disso, uma usina WTE pode gerar energia a preços.

As usinas de recuperação energética constituem forma de geração de energia cujo impacto ambiental é positivo, pois, a despeito de algumas externalidades, como a produção de pequena parcela de materiais tóxicos, as mesmas reduzem significativamente as externalidades ambientais que seriam causadas caso elas não fossem implementadas.

32 *Ibid.*

33 RIZZO, F. Workshop de Fontes Energéticas no Âmbito do Planejamento de Longo Prazo. Recuperação Energética Waste-to-Energy. Waste-to-Energy Development: Perspective and Lesson Learned. Ministério de Minas e Energia, Brasília, 17 out. 2019. Disponível em: <<https://www.abren.org.br/eventos/workshop2019.php>>. Acesso em 21 nov. 2019.

4.4 PANORAMA MUNDIAL DAS USINAS WASTE-TO-ENERGY

Historicamente, a gestão dos RSU, comumente conhecido como lixo urbano, tem trazido diversos desafios para a humanidade. Desde os primórdios da civilização geramos resíduos sólidos, cuja deposição, majoritariamente, mal destinada. E, sobretudo, tem sido feita em lixões ou realizada a sua queima.

Atualmente, com vistas a tentar solucionar o problema do lixo, as cidades construíram aterros e incineradores para a deposição de resíduos, tornando a gestão dos RSU uma questão problemática desde meados do século XX, quando, de fato, o consumo de bens e sua correspondente geração de resíduos cresceram exponencialmente³⁴. Elementos inerentes a mudança global, tais como crescimento populacional, urbanização e mudanças climáticas têm contribuído ainda mais para tornar a gestão dos RSU uma questão complexa e, devido ao esgotamento dos recursos naturais, a população tem deixado de ver o lixo como um incômodo, passando a surgir uma tendência positiva de enxergar o lixo como um recurso.

A América Latina e região do Caribe detém uma das maiores taxas de urbanização no mundo, estimando-se que 500 milhões de pessoas vivem em cidades, o que se traduz em cerca de 80% da população. Dentre os diversos problemas causados, destacam-se aqueles que se referem à mobilidade, segurança, saúde, bem-estar, saneamento e gestão adequada dos RSU. São produzidas cerca de 354.000 toneladas diárias, por meio de habitantes com os mais diversos hábitos de consumo, características culturais e poder de compra. Desta fração, estima-se que 50% (ou mais) dos RSU gerados são de resíduos alimentares e materiais de origem orgânica³⁵.

A despeito deste grande potencial de recuperação por meio de diferentes opções tecnológicas hoje existentes, a parcela de resíduos orgânicos dos RSU é descartada e depositada em aterros ou lixões, trazendo severos impactos ao meio ambiente, com a geração de Gases de Efeito Estufa (GEE) em face da emissão do gás metano (CH_4), que é 25 vezes mais nocivo do que o gás carbônico (CO_2), e responde hoje por 3% das emissões totais de GEE na atmosfera³⁶. Além disso há o risco de contaminação dos recursos hídricos pelo chorume ou lixiviado, ou seja, redução da água potável disponível no planeta, bem como ocasionando danos à saúde humana que podem ser facilmente evitáveis ao se usar processos tecnológicos disponíveis. Segundo estudo da ISWA, o Brasil gasta um valor aproximado de US\$ 370 milhões por ano no tratamento de doenças de pessoas que tiveram contato inadequado com RSU. Entre 2010 e 2014, o custo dos danos ambientais causados pelos RSU ficaram entre US\$ 1,4 bilhões e US\$ 2,8 bilhões, com uma média de US\$ 2,1 bilhões³⁷.

Em razão do seu enorme volume (aproximadamente metade dos RSU em países em desenvolvimento), os resíduos orgânicos municipais merecem uma gestão adequada e especializada. Além de ser possível minimizar os custos e severos impactos ambientais, é possível produzir importantes subprodutos como energia (elétrica e térmica), fertilizantes (compostagem anaeróbica) e biocombustíveis (biometano³⁸).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Brasil produziu 79 milhões de toneladas de RSU em 2018, sendo que 3,9% foram reciclados e destinados a compostagem, 59,5% destinados a aterros sanitários, e o restante, 29,5 milhões de toneladas (ou 40,5% de todos os resíduos), despejados por 3.001 municípios em lixões ou aterros controlados³⁹, não considerando que, desde agosto de 2014, despejar lixo em aterro controlado ou lixão constitui crime ambiental e está sujeito à multa de até 50 milhões de reais⁴⁰.

34 THEMELIS, N. J., BARRIGA, M. E. D., ESTEVEZ, P., et al. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and The Caribbean. 2013. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf>. Acesso em 04 mar. 2019.

35 ONU. Organic Waste Management in Latin America: Challenges and Advantages of the Main Treatment Options and Trends. 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/onu-meio-ambiente-ingles/>>. Acesso em 21 fev. 2019.

36 THEMELIS, Nikolas J., BARRIGA, Maria Elena Diaz, ESTEVEZ, Paula, Et al. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and The Caribbean. 2013. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf>. Acesso em 04 mar. 2019; ONU. Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean. 2018. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/ietc/publication/waste-management-outlook-latin-america-and-caribbean>>. Acesso em 24 mar. 2019.

37 Estadão. Lixões geram prejuízo anual de US\$ 370 mi para sistema de saúde. 29 set. 2015. Disponível em: <<https://ciencia.estadao.com.br/noticias/geral,lixoes-geram-custo-anual-de-us-370-milhoes-para-sistema-de-saude,1771302>>. Acesso em 22 nov. 2019. ISWAL. The Tragic Case of Dumpsites. 2015. Disponível em: <https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task_Forces/THE_TRAGIC_CASE_OF_DUMPSITES.pdf>. Acesso em 22 nov. 2019.

38 THEMELIS, Nikolas J., BARRIGA, Maria Elena Diaz, ESTEVEZ, Paula, Et al. Guidebook for the Application of Waste to Energy Technologies in Latin America and The Caribbean. 2013. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/pressreleases/Guidebook_WTE_v5_July25_2013.pdf>. Acesso em 04 mar. 2019; ONU. Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean. 2018. Disponível em: <<https://www.unenvironment.org/ietc/publication/waste-management-outlook-latin-america-and-caribbean>>.

39 Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRALPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. 2018. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2018/>>. Acesso em 21 nov. 2019.

40 Vide art. 56, § 1º, incisos I e II, da Lei nº 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais).

Com a adoção de métodos de recuperação energética e de insumos, torna-se possível evitar que os resíduos sejam depositados em aterros que, muitas vezes, não previnem emissões líquidas e gasosas para o meio ambiente. Estima-se que os RSU pós-reciclagem chegam a 1,2 bilhão de toneladas por ano no mundo, sendo que somente 0,2 bilhão (ou 16,6%) são tratados através de tecnologias de recuperação energética WTE. Ademais, apenas 20% dos RSU aterrados são dispostos em aterros realmente sanitários, que são aqueles que possuem mecanismos de redução de emissões líquidas e gasosas para o meio ambiente.

Como resposta a tais problemas, os países mais avançados desenvolveram diversos métodos e tecnologias para lidar com a gestão dos resíduos sólidos, que variam desde a redução por meio de design de produtos e embalagens, até a reciclagem de materiais que podem ser reaproveitados pela indústria e o comércio, assim como a compostagem de material orgânico e a combustão com aproveitamento energético, conhecidas como usinas WTE.

Portanto, pode-se definir WTE como a geração de energia elétrica a partir da biodigestão ou tratamento térmico de resíduos, sejam eles orgânicos ou inorgânicos, através do uso de diversas tecnologias existentes. A implementação de usinas de recuperação energética WTE tem sido a solução encontrada em diversos países, para a destinação final dos RSU que não foram aproveitados no processo de reciclagem ou compostagem, ou seja, os RSU que seriam destinados aos aterros, sendo que estes, mesmo os sanitários, trazem riscos de contaminação irreversível ao meio ambiente.

Dessa forma, a experiência internacional indica que a produção em massa desses resíduos, proveniente do rápido crescimento da população mundial urbana e do consumo de bens, impede a deposição desses resíduos nos lixões de outrora. Países membros da União Europeia, os Estados Unidos, China, Índia, entre outros incluíram o WTE como priorização nos tratamentos desses resíduos que, além de obterem uma destinação sustentável, contribuem para a geração de energia elétrica limpa, renovável e firme, atribuindo maior confiabilidade e estabilidade ao sistema elétrico.

Em termos mundiais, existem aproximadamente 2.430 usinas *waste-to-energy* de incineração em operação em todo o mundo⁴¹, sendo que mais de 90% das usinas de tratamento térmico utilizam a tecnologia da incineração por combustão em grelhas móveis (*mass burning*).

A China tem hoje a maior capacidade instalada de usinas de tratamento térmico de rejeitos do mundo, com 7,3 GW de capacidade instalada, possuindo 339 usinas em operação até o final de 2017. A recuperação energética cresceu 1 GW por ano, em média, nos últimos cinco anos, e agora representa a maior forma de capacidade de bioenergia, capaz de gerenciar pouco mais de 100 milhões de toneladas de RSU por ano, o que representa quase 40% da produção nacional de RSU.

Importante destacar também que o Brasil assumiu compromissos internacionais com vistas a correta eliminação do lixo sólido nas grandes cidades. No Tratado Internacional Agenda 21 – a Cúpula da Terra – documento produzido na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992, conhecido como Eco-92, no Rio de Janeiro/RJ, há orientação no sentido de que haja coleta e eliminação do lixo, por meio (i) do desenvolvimento de tecnologias adequadas para a eliminação de lixo sólido, fundamentadas em uma avaliação de seus riscos para a saúde, e por meio (ii) do desenvolvimento de instalações adequadas para a eliminação do lixo sólido nas grandes cidades.

No Brasil não há nenhuma usina de tratamento térmico de resíduos em operação, apenas a usina de biodigestão da CS Bioenergia em Curitiba, algumas pequenas plantas de P&D, e algumas usinas de captação de gás de aterro. Todavia, uma planta WTE gera, em média, 600 kWh de eletricidade por tonelada de RSU, ao passo que aterros com captadores de biogás extraem em média 65 kWh por tonelada, ou seja, uma usina WTE possui eficiência energética quase dez vezes superior, isso sem contar que a eletricidade gerada a partir de resíduos em ambiente de aterro é extraída lentamente ao longo do tempo, enquanto a eletricidade é gerada imediatamente em usina WTE⁴².

Sendo assim, a recuperação de energia dos resíduos se traduz em (i) benefícios estratégicos, haja vista que contribui como fonte alternativa de energia; (ii) benefícios ambientais, porquanto contribui para a mitigação de GEE e evita contaminação dos recursos hídricos, tão escassos; (iii) benefícios socioeconômicos, oriundos do desenvolvimento de tecnologia nacional e emprego de mão de obra, tanto qualificada quanto não qualificada, nas várias etapas do processo da recuperação energética a partir dos resíduos, com geração de renda e incremento econômico local, dando mais visibilidade ao município e ajudando na atração de novos investimentos. O desperdício, por outro lado, acarreta ônus para o poder público e para os cidadãos.

41 Ecoprog. Waste-to-Energy 2018/2019. Technologies, plants, projects, players and backgrounds of the global thermal waste treatment business. 11th edition, 2018.
42 KLINGHOFFER, Naomi B. e CASTALDI, Marco J. Waste to energy conversion technology. Woodhead Publishing: Cambridge, 2013, p. 17.

4.5 OPORTUNIDADES SOCIOECONÔMICAS NO BRASIL

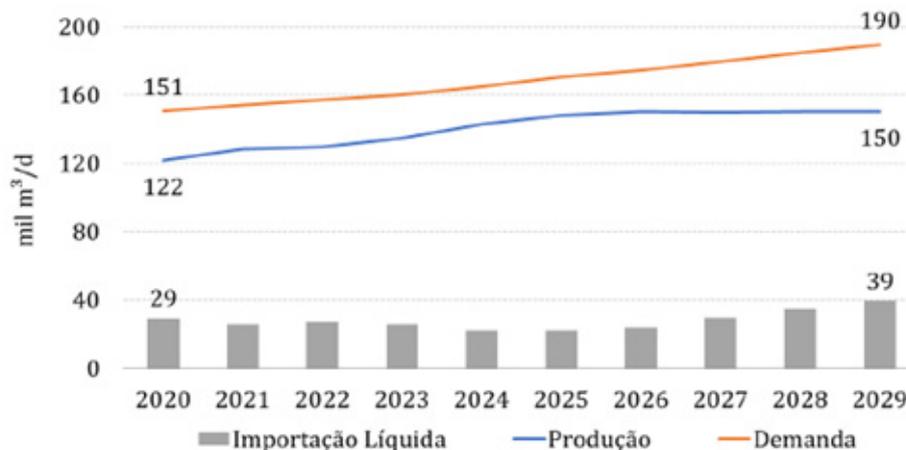
A principal destinação dos RSU tem sido os aterros, muitos destes classificados como lixões. Na vasta maioria das situações são gerados efluentes líquidos e gasosos que não são tratados e contaminam o ar, o solo, lençóis freáticos e rios.

Nos casos em que existe o saneamento urbano, este demanda tratamentos específicos e por prazos superiores ao triplo do tempo de operação para recebimento do RSU, situação que demanda a construção de novos aterros e apenas transfere o problema para anos a frente sem enfrenta-lo.

O gás metano, produzido nos lixões, conforme exposto, é 25 vezes mais nocivo que o dióxido de carbono em termos de emissão de GEE, sendo que a sua simples conversão e queima na forma de biogás representa um benefício ambiental. Além disso, o processo biológico de biodigestão anaeróbica utilizado na produção do biogás (ou biometano) promove drástica redução da área utilizada para os aterros sanitário, com maior aproveitamento energético e eliminação do risco de contaminação dos recursos hídricos e emissões de GEE na atmosfera. E quanto aos rejeitos, que são aqueles resíduos pós-reciclagem e que não são mais passíveis de separação para processos de biodigestão anaeróbica, este devem ir para usinas de tratamento térmico, em que há 10x mais eficiência energética quando comparado com o processo de captura de biogás de aterro para geração de eletricidade ou produção de biometano.

Em adição, o aproveitamento energético da biodigestão também evita a emissão decorrente da queima de combustível fóssil (diesel) utilizado nas frotas de transporte público e de saneamento básico, fato que representaria relevante economia de recursos financeiros não só aos municípios como no balanço de pagamentos do País, tendo em vista que o Brasil continuará importando óleo diesel em todo o horizonte decenal tal como citado no PDE 2029 (Gráfico 3 abaixo) apesar da perspectiva de aumento do percentual de mistura do biodiesel.

GRÁFICO 3 - BALANÇO NACIONAL DE ÓLEO DIESEL



Face ao exposto, a ABREN considera que as avaliações técnica e econômica das alternativas de aproveitamento do RSU para produção de biogás ou eletricidade podem ser contempladas segundo seus benefícios elétricos, socioeconômicos e ambientais.

4.6 PERSPECTIVA DE FINANCIAMENTOS SOB CRITÉRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Importante acrescentar que o setor de energia renovável deverá receber um estímulo cada vez maior de investidores institucionais domésticos e internacionais, devido a mandatos que os obrigam a diminuir o risco de suas carteiras e diversificarem seus portfólios, investindo ativos que estão em conformidade com critérios Ambiental, Social e de Governança (ASG), como é o caso de energia limpa. Essa já é uma realidade para a maioria dos fundos de investimentos internacionais e recentemente se tornou uma regra aos fundos de pensão domésticos, a partir da resolução CVM 4.661/18.

Ressalte-se que o mercado agropecuário brasileiro possui escala como nenhum outro país no mundo, além de possuir um enorme potencial para atender a crescente demanda internacional por produtos alinhados a critérios ASG e às políticas climáticas,

o que fortalece ainda mais o seu potencial para geração de eletricidade ou biometano a partir da biomassa agropecuária.

As usinas WTE podem se enquadrar em critérios de resiliência e mitigação das mudanças climáticas, e esses podem ser importantes fatores de atração de investimentos internacionais. Por exemplo, a conformidade com critérios internacionais, como Green Bonds Principle e/ou Climate Bonds Standard & Certification Scheme podem ser utilizados por desenvolvedores e operadores de projetos que pretendem acessar o mercado de dívidas para capitalizarem seus projetos. Uma sinalização de conformidade com tais critérios, que podem conceder selos e certificações de títulos e outros instrumentos de dívida, que são reconhecidos internacionalmente, podem atrair uma carteira maior de investidores domésticos e estrangeiros.

Por fim, vale ressaltar que critérios de resiliência e mitigação às mudanças climáticas corroboram no planejamento de empreendimentos, além de atrair uma carteira de operadores de projetos e investidores com mandatos específicos para infraestruturas que mitiguem os riscos climáticos.

4.7 CONCLUSÕES E PROPOSTAS

A partir de todas as considerações, a ABREN sugere que os seguintes aspectos podem ser contemplados no planejamento de longo prazo:

- a) Os benefícios elétricos, energéticos, climáticos, socioeconômicos e ambientais do aproveitamento energético do RSU, provenientes da biodigestão de resíduos do setor agroindustrial, tratamento térmico de RSU, para a produção de biometano, energia térmica e eletricidade, também voltada para uso em transporte público e no transporte utilizado no próprio setor de saneamento;
- b) Os benefícios ambientais da recuperação energética de resíduos, como a redução de lixões e aterros sanitários, e conseqüentemente, a redução dos efluentes líquidos e gasosos que contaminam o ar, o solo, lençóis freáticos e rios, assim como a redução em até 8x das emissões de GEE a partir das usinas WTE com tratamento térmico, tendo em vista que o metano é 25 vezes mais nocivo que o dióxido de carbono em termos de efeito estufa;
- c) Potencial de atender 1,5% da demanda nacional a partir da biodigestão anaeróbica de RSU, e 5,4% da demanda nacional a partir do tratamento térmico de RSU (incineração, gaseificação ou pirólise), totalizando 6,9% da demanda nacional, sendo que, apenas nas regiões metropolitanas, o potencial estimado de usinas WTE de tratamento térmico de RSU é de 2,4 GW (1,85% da matriz nacional), com uma geração anual de 14.400 GWh (2,74% do total de geração);
- d) A partir da tecnologia *dual-fuel* é possível substituir até 90% do consumo de diesel nesses veículos por biometano produzido a partir de RSU, fato que representaria um alívio financeiro para os municípios e para o balanço de pagamentos do País;
- e) Potencial de investimento de até R\$ 120,8 bilhões no setor de resíduos sólidos;
- f) Aproximação das instituições de ensino e pesquisa e as prefeituras para identificação de potenciais de exploração de RSU na produção de biogás e biometano, assim como no tratamento térmico de RSU, no sentido de divulgar os benefícios energéticos, socioeconômicos e ambientais à população e aos municípios;

Um dos objetivos da implantação de uma usina WTE é contribuir para a redução do impacto ambiental global que poderia ocorrer devido ao descarte inadequado, queima a céu aberto ou aterramento dos resíduos. A redução de volume causada pela incineração auxilia na economia de espaço para aterros e protege o meio ambiente. Uma parte da energia recuperada ainda pode ser considerada carbono neutro devido ao conteúdo de biomassa no RSU⁴³.

A adoção da recuperação energética por meio de usinas WTE deve incluir o seu gerenciamento do ponto de vista ambiental, social e econômico dos ciclos de materiais. Baseia-se nos princípios da redução do uso de fontes de energias não renováveis, de matérias-primas desnecessárias, de materiais, bem como na diminuição e no desperdício de materiais e de recursos financeiros. Contribui, sistematicamente, no abrandamento da agressão ambiental, na gestão dos RSU, preservando os recursos naturais e protegendo o meio ambiente urbano.

A aplicação de uma nova gestão dos RSU contribui para a elaboração e implementação de políticas públicas na promoção da produção e do consumo sustentáveis, incentiva a reciclagem e o reuso de materiais, bem como o alcance de melhorias no sistema de disposição final dos RSU gerados.

43 FERREIRA, S. R. L. O pensamento do ciclo de vida como suporte à gestão dos resíduos sólidos da construção e demolição: exemplo no Distrito Federal e estudos de casos de sucessos no Brasil e no exterior. Brasília, 2009; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Alternativas em Waste-to-Energy na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Um Guia para Tomadores de Decisão em Países Emergentes ou em Desenvolvimento. Eschborn, 2017.



Capítulo 5

BIOMASSA FLORESTAL DEDICADA

Data: 06 de novembro de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Térreo

Co-organizador: Indústria Brasileiras de Árvores - IBÁ

Em especial neste workshop, além de buscar o nivelamento de conhecimento sobre as características de biomassa florestal dedicada, o objetivo é aprofundar o conhecimento sobre o setor de florestas plantadas como uma alternativa de geração de energia renovável na matriz elétrica, dentre outras. Serão abordadas suas características de sustentabilidade e a relação com as NDC brasileiras, tendências e oportunidades tecnológicas, e os gargalos para sua maior participação na matriz elétrica..

5.1 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS PARA A FONTE EM DISCUSSÃO

A biomassa florestal sempre esteve associada à geração de energia, do passado remoto quando o homem descobriu o fogo até os dias atuais - seja para cocção de alimentos ou geração de energia elétrica. Assim, há uso de métodos tradicionais - com pouca tecnologia empregada, e métodos com tecnologias inovadoras e disruptivas que permitem a produção de bio-óleos, por exemplo, podendo substituir o diesel de origem fóssil pelo biodiesel.

Independente do nível tecnológico o uso da biomassa florestal para geração de energia é bastante eficiente e cada vez mais relevante no contexto das mudanças climáticas e necessidade por incremento da bioeconomia - em função de sua natureza biogênica, renovável e de produção contínua.

O Brasil possui uma indústria de base florestal plantada, caracterizada, principalmente, pelos segmentos de celulose, papel, pisos laminados, painéis de madeira, carvão vegetal para siderurgia e usos domésticos, florestas energéticas, produtores independentes e investidores financeiros. Todos os segmentos têm relação direta ou indireta com a produção de energia a partir de biomassa florestal, que tem pelo menos quatro frentes, as quais serão abordadas ao longo deste capítulo: cogeração pelas fábricas, florestas dedicadas para geração de energia como negócio principal, carvão vegetal para indústria siderúrgica e cocção e novos produtos energéticos a partir de biorrefinarias.

O setor produz um montante significativo de energia renovável. Com isso, deixa de competir por energia no mercado e tem potencial de exportar energia limpa para a rede, gerando segurança energética para o desenvolvimento sustentável do país. Só em 2018 o setor produziu 73 milhões de GJ (equivalente a 2.314 MW médios e 73% do que consome), sendo que 18,3 milhões de GJ (equivalente a 580 MW médios) foram vendidos para a rede. Nos últimos quatro anos aumentou a produção de energia em 13,5%. Além disso, apresenta uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo: 82% renovável, pelo uso da biomassa e licor negro.

O segmento mais expressivo na produção energética é o de celulose e papel devido à cogeração. Ao longo dos anos houve uma evolução de plantas exclusivamente consumidoras para plantas produtoras de energia elétrica, especialmente nas unidades industriais mais modernas. A energia vem da queima de licor negro (ou lixívia), um coproduto rico em lignina que tem elevado poder calorífico; e da queima de resíduos como cascas de árvores. Também é possível fazer gaseificação de biomassa, que transforma resíduos da combustão da madeira em gás.

Por trás da cogeração de energia, conquistada ao longo das últimas duas décadas, estão incrementos tecnológicos dos equipamentos que compõem as linhas produtivas de celulose, em especial as caldeiras de recuperação química, com elevados volumes de vapor, que permitem adequar à planta um sistema de cogeração de alto rendimento energético por meio do uso de turbogeradores a condensação. O aumento da classe de pressão desses equipamentos e a utilização de sistemas de recuperação de calor despontam como os avanços mais importantes da área, a partir dos quais foram desenvolvidos materiais que possibilitaram a queima do licor negro de forma mais eficiente, levando a uma cogeração mais elevada (Revista O Papel, 2017).

Nos tempos atuais, a conversão da biomassa em energia térmica e posteriormente em energia elétrica se dá de forma mais eficiente, dada a utilização de controles digitalizados e materiais sofisticados que permitem operação em condições de pressão e temperatura maiores. Este tipo de caldeira é utilizado nas fábricas mais modernas e também naquelas que fizeram um processo de transição de matriz energética, substituindo o consumo de fontes fósseis como gás e óleo combustível por caldeiras a biomassa.

Diversas são as tecnologias empregadas para a cogeração como utilização de equipamentos de baixo consumo de energia elétrica, plantas com potência de alto rendimento energético, operação com altas taxas de pressão e equipamentos que permitem conservação e/ou reaproveitamento de calor, permitindo maior eficiência energética da planta. Equipamentos permitem assegurar a estabilidade do processo e otimizar o consumo de vapor e a geração de energia elétrica. Algumas caldeiras operam com o conceito *High Power* – Recox, que possibilita maior aproveitamento energético e ainda permite a conservação; e BFB – Hibex (Bubbling Fluidized Bed) que assegura a estabilidade do processo, bem como otimiza o consumo de vapor e a geração de energia elétrica.

Além da geração pelas fábricas, o setor pode aumentar consideravelmente a sua contribuição com a geração direta de energia, por meio das florestas plantadas dedicadas para produção em termelétricas ou uso de resíduos como tocos de árvores colhidas. A mesma tecnologia que é empregada para cogeração pode ser usada para instalação

de caldeiras à biomassa oriundas de florestas dedicadas e/ou resíduos, ou seja, não há restrição tecnológica e as máquinas e equipamentos utilizados hoje são bastante eficientes.

Outro segmento com papel fundamental em energia é o de carvão vegetal. Na indústria siderúrgica o carvão vegetal tem papel de biorredutor do minério de ferro e ao mesmo tempo, gerador de energia térmica. Na indústria alimentícia e uso doméstico o carvão é usado para cocção de alimentos.

Líder mundial em carvão vegetal, o Brasil é responsável por 11% de todo o carvão vegetal produzido globalmente. Um dos importantes insumos da indústria siderúrgica nacional, em 2018 o consumo de carvão vegetal foi de 4,6 milhões de toneladas, um aumento de 2,5% em relação a 2017, principalmente em função do aumento da atividade do setor. Do total de carvão consumido em 2018, 91% foi produzido a partir da madeira de florestas plantadas. Esse é um significativo aumento (5,9%) em relação a 2017, confirmando a tendência de queda no uso de madeira de floresta nativa já apresentada nos últimos anos e em linha com a lei do Estado de Minas Gerais 18.365/2009, que alterou a legislação florestal naquele Estado e determinou a redução progressiva do consumo de produtos ou subprodutos originados da vegetação nativa, em especial o carvão vegetal. Em 2012 o consumo de carvão vegetal de origem plantada era 73% (Ibá, 2019).

A tecnologia empregada na produção de carvão vegetal evoluiu muito e em todas as escalas de produção, especialmente na última década com o desenvolvimento de novos fornos, em novos formatos, com diferentes materiais (alvenaria, metálicos) e compostos por equipamento para gestão da combustão – resfriadores de ar, queimadores de gás, secadores de madeira, controladores de umidade, pirômetros, além de uma maior mecanização e automação das operações – especialmente nas de maior escala.

Em geral os fornos de menor escala são circulares e aqueles em escala industrial são retangulares, variando, em geral, de 7 a 36 metros de comprimento. Para ambos os casos, esse desenvolvimento de fornos mais eficientes fez com que o rendimento gravimétrico do carvão vegetal saísse de pouco mais de 10%, chegando a 35% ou mais.

Os sistemas forno-fornalha, para produção em menor escala, usam pirometria e sistema de queima de gases, sendo menos insalubre e mais sustentável, gerando menos material particulado. Esta tecnologia está disponível em cartilha publicada pelo Ministério de Meio Ambiente, por meio do projeto Siderurgia Sustentável – PNUD (MMA, 2019).

Os fornos com produção em média e grande escala contam com queimadores de gás e programa supervisor com comando central. Recebendo sinais de sistemas eletromecânicos, permite controlar a qualidade química do produto ao variar as vazões mássicas dos gases quentes associadas às temperaturas e aos perfis térmicos pré-estabelecidos em função da especificação exigida pelo cliente (CGEE, 2015).

Estas tecnologias vêm sendo desenvolvidas por grandes empresas, com investimentos próprios e de modo individualizado; mas também de forma coletiva, por meio de parceria com universidades e institutos de pesquisa. Um exemplo disso é o Grupo G6, formado por ArcelorMittal, Aperam, Vallourec, Gerdau, Plantar e Votorantim, em parceria com instituições de ensino superior, como Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG), Universidade Federal de Lavras (UFLA/MG), Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Centro Universitário da Sete Lagoas (UNIFEMM/MG) (CGEE, 2015).

Também já se tem tecnologia que otimiza a produção de carvão vegetal com cogeração de energia elétrica (que pode ser beneficiada com estímulos à geração distribuída), e produção de bio-óleos. Esse é um exemplo dos usos múltiplos da madeira, e nesse caso se caracteriza por uma biorrefinaria do segmento de carvão vegetal.

Por fim, no âmbito das biorrefinarias, também já se estudam tecnologias para geração de biocombustíveis a partir da lignina que é o segundo polímero mais abundante na natureza, atrás apenas da celulose. Visa-se a produção de etanol de segunda geração, biodiesel e bioquerosene para aviação e bio-óleos (substitutos de diesel). Estes biocombustíveis tendem a compor um leque mais amplo de produtos das novas biorrefinarias.

As rotas e plataformas tecnológicas mais promissoras no curto e médio prazo, no que tange à biomassa florestal, estão em desenvolvimento pelo setor de celulose e papel, como: i) gaseificação de biomassa florestal para geração de combustível renovável; ii) gaseificação de parte do licor negro kraft para aumentar a capacidade da fábrica de celulose, sem ter que investir em nova caldeira de recuperação; iii) extração de parte da lignina do licor negro para permitir aumento de capacidade na área de recuperação do licor. Essa lignina poderá ser usada como combustível no

forno de cal ou também comercializada com a indústria química para produção de artigos de maior valor agregado; iv) extração do metanol do licor negro e dos gases não condensáveis concentrados. Esse biocombustível pode ter uso interno, como no caso do forno de cal; v) extração de terebintina e de *tall oil* nas fábricas de celulose *kraft* de coníferas (fibras longas a partir de madeiras resinosas) para uso interno nas fábricas ou para venda externa; vi) pirólise rápida da biomassa florestal para produção de bio-óleo, um valioso produto para comercialização em inúmeras finalidades; vii) produção de pellets e/ou briquetes de biomassa adensada para comercialização; viii) Produção de eletricidade a partir da biomassa para venda como energia limpa ao grid elétrico; ix) produção de etanol celulósico de segunda geração, em parceria com o setor sucroalcooleiro; x) produção de derivados das hemiceluloses, que podem ser extraídos da madeira, resíduos florestais ou do licor (CGEE, 2016).

Muitos desses produtos ainda estão em fase de pesquisa ou desenvolvimento ou sendo produzidos em escala incipiente. Com investimentos em tecnologias inovadoras, políticas públicas e instrumentos econômicos, os produtos dessa indústria deverão passar dos laboratórios para novos mercados e distintos setores, trazendo benefícios adicionais para a sociedade.

5.2 QUAIS OS DIFERENCIAIS E VANTAGENS

Os principais diferenciais da biomassa florestal, independente do tipo do produto gerado ou processo utilizado, são a sua natureza renovável e a capacidade de produção contínua. Dentre as fontes renováveis de energia, a biomassa florestal é a única que independe de condições climáticas regionais e/ou temporais.

Outra vantagem é a sustentabilidade, atestada, por exemplo, pela certificação florestal. Dos mais de 13 milhões de hectares de florestas do setor de base florestal plantada, entre florestas de produção e conservação, mais de 6 milhões de hectares são certificados por sistemas internacionalmente reconhecidos como o FSC e o PEFC. Eles se baseiam em princípios, critérios e indicadores que visam um manejo ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável. Os detentores de certificado são auditados por terceira parte para verificação de cumprimento de diversas normas e padrões.

Quando se investe em florestas plantadas destinadas à geração de bioenergia, diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais são promovidos. Todas estas vantagens estão atreladas aos compromissos nacionais e internacionais assumidos pelo Brasil como a Agenda 2030 da ONU e o Acordo de Paris.

A biomassa florestal é uma das soluções baseadas na natureza. Este caminho tem sido apontado por órgãos internacionais (UNFCCC, CDB, etc.) para combater as mudanças climáticas e construir um mundo mais sustentável. A mudança para uma economia baseada em ativos biogênicos (bioeconomia) tem sido adotada de forma significativa, mesmo em países tradicionalmente baseados em fontes fósseis como os EUA. Diversos setores como cimento e alumínio, têm assumido compromissos de descarbonização.

A energia oriunda de florestas plantadas, manejadas de modo sustentável, tem pelo menos três vetores de mitigação das mudanças climáticas: i) remover e estocar carbono nas florestas de produção; ii) remover e estocar carbono nas florestas de conservação; iii) evitar emissões pelo fato de a biomassa florestal ser neutra em carbono.

A neutralidade de carbono da biomassa colhida em florestas manejadas de forma sustentável é reconhecida por uma abundância de órgãos, estudos, legislação nacional e política internacional, incluindo a orientação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) e os protocolos de relatório da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) (ICFPA, 2019).

Hoje não se visa apenas à viabilidade econômica de um processo produtivo, mas os benefícios gerados em outras esferas como a ambiental, social e de governança, que agregam valores cada vez mais percebidos e exigidos pela sociedade em crescente conscientização socioambiental.

Quando a biomassa florestal é utilizada para substituir uma fonte fóssil de energia é possível fazer a submissão de projetos para venda de créditos de carbono, seja por mecanismos oficiais da UNFCCC como o Mecanismo do Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto, seja por mecanismos diversos nos mercados voluntários. Além disso, existe a possibilidade de gerar créditos de carbono florestais, em função das remoções de gases de efeito estufa por meio de reflorestamento de áreas não florestadas.

Já existem iniciativas que fomentam o desenvolvimento de mercados de capitais de longo prazo, para acelerar a transição da economia global de baixo carbono, através de instrumentos financeiros “verdes”, como títulos verdes (CBI). Além da possibilidade de oferecer taxas mais atrativas (ainda limitado a grandes escalas), agregam valor à organização atestando um nível superior de governança e sustentabilidade. Mais de US\$ 200 bi já foram investidos desde 2014 e o setor de energia merece destaque, mas ainda possui enorme potencial, especialmente a biomassa, que explorou pouco este meio de financiamento.

Os diferenciais dos quatro tipos de energia produzidos a partir de florestas plantadas, abordados neste capítulo, são especificados nos itens a seguir:

Cogeração de energia elétrica:

- É renovável;
- É neutra em carbono;
- Reduz emissões da empresa;
- Evita emissões, quando comparada com fontes fósseis;
- Tem produção contínua;
- Gera segurança energética;
- Tecnologia disponível para geração, bem estabelecida;
- Requer menores recursos de capital para a geração, quando comparada com outros projetos de grande porte;
- Proporciona geração no horário de ponta e em localizações próximas à demanda e linhas de transmissão já existentes;
- Pode incentivar o aumento de investimentos da iniciativa privada, gerando um benefício de custo evitado para o sistema elétrico nacional (em geração e transmissão) e para a sociedade, à medida que permite a alocação de investimentos públicos em outros segmentos.

Energia elétrica como negócio principal:

- É renovável;
- É neutra em carbono;
- Reduz emissões da matriz elétrica, principalmente se comparada com fontes fósseis;
- Tem produção contínua ou não sazonal (quando planejada) e independente de oscilações climáticas;
- É estruturante, por oferecer previsibilidade e cobrir a interruptibilidade das outras fontes renováveis presentes no SIN;
- Gera segurança energética, diversificando a matriz e diminuindo a pressão sobre os reservatórios hídricos;
- Tecnologia disponível para geração, com enorme capacidade de evolução, no caso de aumento da demanda;
- Promove desenvolvimento da indústria nacional, uma vez que toda a cadeia, da produção florestal à geração final é amparada por tecnologia nacional;
- Requer menores recursos de capital para a geração, quando comparada com outros projetos de grande porte;
- Proporciona geração no horário de ponta e em localizações próximas à demanda e linhas de transmissão já existentes;
- Pode incentivar o aumento de investimentos da iniciativa privada, gerando um benefício de custo evitado para o sistema elétrico nacional (em geração e transmissão) e para a sociedade, à medida que permite a alocação de investimentos públicos em outros segmentos;
- Promove restauração florestal e todos os outros serviços ecossistêmicos associados à conservação de recursos naturais (conservação da água e do solo, habitat para biodiversidade, etc.);
- Gera emprego e renda de forma capilarizada, e em áreas remotas, onde há poucas oportunidades;
- É uma alternativa viável de inclusão social em áreas com baixos e medianos índices de desenvolvimento;
- Auxilia a fixação do homem no campo, contribuindo para reduzir o êxodo rural.

Carvão vegetal para siderurgia ou uso doméstico:

- É renovável e fonte de combustível para o ferro gusa e o aço “verde”, que pode ser um diferencial competitivo no mercado;
- É neutro em carbono;
- Reduz emissões da siderurgia ou em usos domésticos baseados em fontes não renováveis;
- Reduz a importação de carvão mineral, contribuindo com a balança comercial e gerando emprego e renda no país;
- Tecnologia disponível para geração, em constante desenvolvimento;
- Promove restauração florestal e todos os outros serviços ecossistêmicos associados à conservação de recursos naturais (conservação da água e do solo, habitat para biodiversidade, etc.);
- Reduz a pressão sobre florestas nativas, evitando o desmatamento;
- Gera emprego e renda em áreas remotas, onde há poucas oportunidades;
- Possui significativo papel social, já que a grande maioria da produção nacional de carvão vegetal é feita por pequenos produtores;
- Auxilia a fixação do homem no campo, contribuindo para reduzir o êxodo rural.

Novos usos (biorrefinaria)

- É renovável;
- É neutra em carbono;
- Tem produção contínua, quando planejado;
- Gera segurança energética;
- Evita emissões, quando substitui produtos de fontes fósseis;
- Tecnologia disponível para geração, grande parte em desenvolvimento;
- Possibilidade de expandir para novos produtos, em segmentos pouco ou nada contemplados pela bioeconomia, tradicionalmente com emissões de gases de efeito estufa significativos. As externalidades sociais e ambientais do setor de base florestal são um diferencial e devem ser reconhecidas e valorizadas economicamente, como forma de alavancar a demanda por produtos sustentáveis.

5.3 APLICAÇÃO NO MUNDO

As florestas são uma planta energética da natureza e um recurso vital por atender à demanda mundial de energia renovável. (FAO, 2017).

Ao longo dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica. Hoje, a madeira ainda continua participando da matriz energética mundial, com maior ou menor intensidade, dependendo da região considerada. Seu uso é afetado por variáveis como: nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas, como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear etc. (BRITO, 2007).

Mudanças na política energética em várias partes do mundo favoreceram o desenvolvimento de sistemas baseados em energia de madeira. Novas tecnologias estão melhorando a viabilidade econômica da geração de energia a partir de madeira, principalmente em países com florestas densas e indústrias de processamento de madeira bem estabelecidas (FAO, 2008).

O uso de bioenergia se enquadra em duas categorias principais: “tradicional” e “moderno”. O uso tradicional refere-se à combustão de biomassa em formas como madeira, resíduos de animais e carvão tradicional. As modernas tecnologias de bioenergia incluem biocombustíveis líquidos produzidos a partir de bagaço e outras plantas; biorrefinarias; biogás produzido através da digestão anaeróbica de resíduos; sistemas de aquecimento de pellets de madeira; e outras tecnologias (IRENA).

Cerca de três quartos do uso mundial de energia renovável envolve bioenergia, com mais da metade do que consiste no uso tradicional de biomassa. A bioenergia representou cerca de 10% do consumo final total de energia e 1,4% da geração global de energia em 2015 (IRENA).

A biomassa tem um potencial significativo para aumentar o suprimento de energia em países populosos com demanda crescente, como Brasil, Índia e China. Pode ser queimado diretamente para aquecimento ou geração de energia, ou pode ser convertido em substitutos de petróleo ou gás. Os biocombustíveis líquidos, um substituto conveniente e renovável da gasolina, são usados principalmente no setor de transportes (IRENA).

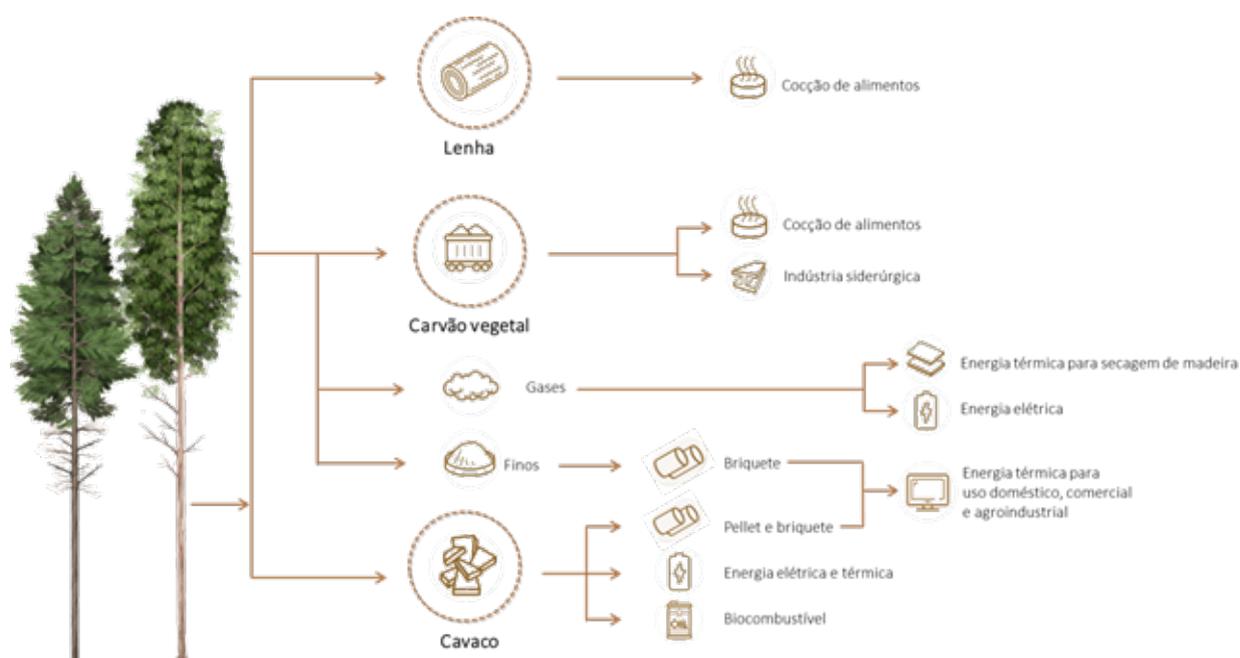
O Brasil é líder em biocombustíveis líquidos e possui a maior frota de veículos flexíveis, que podem rodar com bioetanol - um álcool produzido principalmente pela fermentação de carboidratos em culturas de açúcar ou amido, como milho, cana-de-açúcar ou sorgo doce (IRENA).

Em função da tendência concreta de uma economia de baixo carbono, estimulada e endossada por acordos internacionais como o Acordo de Paris, espera-se uma maior demanda por energia renovável, incluindo a bioenergia. Já se vê um movimento de mercados consumidores, principalmente o Europeu, em importar biomassa florestal (pellets e briquetes principalmente), seja para uso industrial, doméstico ou outros.

Segundo aFAO (2017), a popularidade da energia da madeira está crescendo nos países desenvolvidos. A produção de pellets de madeira aumentou 42% entre 2012 e 2015. Na África, 2/3 das famílias ainda dependem desta fonte de energia. Ou seja, o uso da madeira como fonte energética está presente em países desenvolvidos, em desenvolvimento e se enquadra perfeitamente no contexto da economia de baixo carbono, algo que veio para ficar.

A inovação garantirá uma aplicação diversificada do uso da madeira para fins energéticos e contribuirá para o desenvolvimento consistente de uma matriz energética mais limpa e eficiente para atender à crescente demanda de consumidores cada vez mais conscientes.

FIGURA 1: FLUXOGRAMA SIMPLIFICADO DOS PRINCIPAIS PRODUTOS ENERGÉTICOS GERADOS A PARTIR DA BIOMASSA DE FLORESTAS PLANTADAS E SEUS RESPECTIVOS USOS.



5.4 OPORTUNIDADES NO BRASIL

O futuro da bioenergia e do desenvolvimento da madeira para energia é amplamente dependente da efetividade das políticas e consistência com as quais elas são implementadas (FAO, 2008).

A diversificação da matriz energética brasileira por meio do incremento de uma fonte renovável como a biomassa florestal, promove a resiliência do sistema elétrico nacional, ao mesmo tempo em que cumpre acordos internacionais e gera benefícios sociais, econômicos e ambientais.

A bioenergia é peça chave para o cumprimento do Acordo de Paris, Agenda 2030 (Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) e Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas (Plantar Florestas – Portaria Nº 111, de 4/06/19 - MAPA).

O Acordo de Paris visa limitar o aumento da temperatura média da Terra em 2°C ou se possível, em 1,5°C. As árvores atuam como mitigadoras da mudança do clima ao remover e estocar carbono nas florestas de produção e conservação. Elas evitam emissões quando substituem fontes fósseis ou não renováveis. E mais, estocam o carbono nos seus produtos. A NDC (contribuição nacionalmente determinada) Brasileira foi fundamentada em diversas medidas de mitigação, baseadas no uso da madeira, conforme pode ser visto na relação dos grupos 1 e 2 a seguir, que ilustram, respectivamente remoções líquidas de GEEs por meio do setor florestal e reduções de emissões de GEEs (MARQUES, 2019):

Grupo 1: atividades de mitigação mencionadas na NDC do Brasil com relação direta com a geração de remoções líquidas de GEEs por meio do setor florestal:

- I. Fortalecer o cumprimento do Código Florestal em âmbito federal, estadual e municipal;
- II. Fortalecer políticas e medidas com vistas a alcançar, na Amazônia brasileira, o desmatamento ilegal zero até 2030 e a compensação das emissões de GEEs provenientes da supressão legal da vegetação até 2030;
- III. Restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas até 2030, para múltiplos usos;
- IV. Ampliar a escala de sistemas de manejo sustentável de florestas nativas, por meio de sistemas de georreferenciamento e rastreabilidade aplicáveis ao manejo de florestas nativas, com vistas a desestimular práticas ilegais e insustentáveis; e
- V. No setor agrícola, fortalecer o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC) como a principal estratégia para o desenvolvimento sustentável na agricultura, inclusive por meio da restauração adicional de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas até 2030 e pelo incremento de 5 milhões de hectares de sistemas de integração lavoura-pecuária-florestas (iLPF) até 2030.

Grupo 2: atividades de mitigação mencionadas na NDC do Brasil que podem ter relação direta com a geração de reduções de emissões de GEEs por meio do setor florestal – por exemplo, uso da biomassa florestal e bicomcombustíveis de segunda geração:

- I. Aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética brasileira para aproximadamente 18% até 2030, expandindo o consumo de biocombustíveis, aumentando a oferta de etanol, inclusive por meio do aumento da parcela de biocombustíveis avançados (segunda geração), e aumentando a parcela de biodiesel na mistura do diesel;
- II. No setor da energia, alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030, incluindo:
 - a) Expandir o uso de fontes renováveis, além da energia hídrica, na matriz total de energia para uma participação de 28% a 33% até 2030; e
 - b) Expandir o uso doméstico de fontes de energia não fóssil, aumentando a parcela de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica para ao menos 23% até 2030, inclusive pelo aumento da participação de eólica, biomassa e solar.
- III. No setor industrial, promover novos padrões de tecnologias limpas e ampliar medidas de eficiência energética e de infraestrutura de baixo carbono.

A energia da madeira será crucial para cumprir o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), que visa garantir o acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos até 2030. É bem provável que o

país consiga atender esta meta, principalmente em função do aumento expressivo da energia solar e eólica na matriz energética brasileira, que são muito bem vindas. Mas o potencial vai muito além de 45% e, com a ajuda da biomassa florestal, o Brasil pode subir posições no ranking de países com as matrizes energéticas mais renováveis e quem sabe até assumir a liderança global, ao mesmo tempo em que estabelece restauração florestal, proteção e conservação do solo e da água, regulação do fluxo hídrico, conservação do habitat para biodiversidade, entre outros benefícios, os quais o Brasil deveria melhor explorar.

A biomassa florestal é uma fonte madura e de baixo risco, ajudando na estabilidade do sistema elétrico. Reconhecendo esta característica, O Plantar Florestas – plano desenvolvido por lideranças do setor florestal e coordenado pela Embrapa Florestas e MAPA, recomenda o aumento da participação da biomassa de madeira na matriz energética por meio do Objetivo Nacional Florestal (ONF 12).

A bioenergia pode inclusive compensar outras frentes de ações previstas na NDC brasileira que o Brasil pode não cumprir, como o desmatamento líquido zero; a fim de alcançar a real meta nacional que é reduzir as emissões de CO₂ eq em 37% até 2025 (emissão total de 1,3 Gt) e 43% até 2030 (emissão total de 1,2 Gt) com base nos valores de 2005.

Especialistas apontam para uma tendência de diversificação dos negócios e a geração de energia é sem dúvida um negócio possível para todos eles, seja com alto nível tecnológico como os biocombustíveis, ou baixo, como a cogeração de energia elétrica.

Se houver medidas que possam beneficiar este ramo, os investimentos podem ser significativos. Um exemplo de medida a ser realizada que não incorre em custos para o Estado, pelo contrário, pode até gerar economia, é a adequação dos editais de leilão para considerarem as características específicas da biomassa florestal como fonte.

A biomassa florestal também tem a possibilidade de acessar títulos verdes que agregam valor à empresa/projeto financiado atestando seu diferencial de baixa emissão de carbono. E o setor de energia foi o que mais emitiu no Brasil até 2019. O maior mercado se concentra hoje nos Estados Unidos e na China. Na América Latina o Brasil é o maior mercado, mas ainda representa apenas 2% do mundo.

Considerando a produção de florestas dedicadas para produção de energia como negócio principal, seria possível instalar termoeletricas com distribuição geográfica descentralizada. Estas UTEs produziram energia renovável, promoveriam restauração florestal e preservação de nascentes e rios, gerariam emprego e renda em centenas de municípios e auxiliariam no equilíbrio dos reservatórios de água, evitando bandeiras amarelas e vermelhas, comumente decorrente da geração de energia a partir de termoeletricas poluentes e caras. Além de servir como um “back up” de energia limpa e firme, facilitando a gestão de oferta e demanda do sistema elétrico brasileiro pelo operador, derivado da oscilação de geração causada pela energia renovável proveniente de geração eólica e solar no grid nacional. Hoje existem florestas prontas, bem como investidores dispostos a implantar novas florestas dedicadas para geração de energia.

Ao se considerar o aproveitamento de resíduos para geração de energia elétrica, há um enorme potencial em escala significativa. Um exemplo disso é a geração de energia elétrica a partir de tocos de árvores já colhidas. A empresa Eldorado, por meio do Projeto Onça Pintada, venceu o leilão A-5 da Aneel, realizado em 2016, com duração de 25 anos e geração de energia a partir de 2021, beneficiando cerca de 300 mil pessoas com 50 mega-watts de potência instalada. Segundo dados da empresa, cerca de 10 mil hectares serão objeto do projeto. O setor possui quase 8 milhões de hectares de florestas plantadas para fins comerciais. Isso demonstra o potencial que existe, ainda que ele venha a ser explorado em um pequeno percentual.

Também há espaço para incentivos à geração distribuída de energia renovável, incluindo a biomassa florestal. O Estado de Minas Gerais, por exemplo, por meio do DECRETO Nº 47.231, DE 4 DE AGOSTO DE 2017, isentou o ICMS para energia solar até 5MW. O mesmo pode ser feito para energia a partir da biomassa.

O papel do carvão vegetal na economia de baixo carbono e na bioeconomia merece destaque pelo alto potencial de contribuição, inclusive no setor siderúrgico. Além disso, no Brasil, o carvão mineral e o carvão vegetal podem ser vistos de maneira complementar e não concorrentes, em função de limitações técnicas e logísticas.

No contexto da crescente preocupação mundial com a mudança do clima, o uso do carvão vegetal na siderurgia brasileira faz com que se tenha um importante ativo, pois viabiliza uma trajetória de desenvolvimento de baixo carbono que pode significar um diferencial de competitividade para os produtos siderúrgicos brasileiros.

A siderurgia a carvão vegetal tem estudado o aproveitamento de resíduos da queima de gases liberados durante a combustão da madeira em carvão vegetal, tanto para cogeração de energia elétrica a partir de térmicas quanto para a produção de biocombustíveis líquidos.

Testes de viabilidade técnico-econômica têm sido feitos tanto por empresas de base florestal, quanto por empresas de energia, como a Cemig. No setor elétrico, a biomassa torna-se uma alternativa promissora, destacando a cogeração no setor sucroalcooleiro e o carvão vegetal na siderurgia. Além de incentivar a cogeração nesses segmentos, a Cemig pesquisa e desenvolve outros projetos de P&D (Cemig).

As novas oportunidades ao setor estão visualizadas para acontecer em inovações com o uso de biomassa florestal, tanto com as biomassas internas às fábricas de celulose e papel (licor negro kraft, lodos das estações de tratamento de efluentes, resíduos de madeira) quanto com resíduos florestais (cascas e galhos). Em caso de sucesso, cogita-se até mesmo plantações florestais dedicadas à produção de biomassa para essas unidades de biorrefinarias. Seria o caso, por exemplo, de suprimento de biomassa florestal para unidades de pirólise rápida (produção de bio-óleo) ou de gaseificação de biomassa (produção de gás de síntese) (CGEE, 2016).

Existe também uma concordância entre todos do setor de que o processo kraft de produção de celulose ainda oferecerá novas oportunidades ao setor e se sustentará por mais algumas décadas. Acredita-se que inovações tecnológicas disponibilizarão novas oportunidades de negócios com subprodutos do processo kraft nas áreas de lignina, hemicelulose, metanol, terebintina, etc. (CGEE, 2016).

Recentemente, algumas empresas líderes do setor brasileiro de celulose e papel estão colocando prioridades em avaliações de novos produtos que as biorrefinarias podem oferecer. Isso acontece ao mesmo tempo em que a biomassa vegetal é a onda tecnológica do momento em praticamente todos os países desenvolvidos do Hemisfério Norte. Nessas nações, existem fortes investimentos em desenvolvimento de rotas tecnológicas para produtos bioenergéticos, com importante ajuda governamental. Algumas vezes, os apoios são até mesmo surpreendentes, como foi o recente caso do subsídio do governo norte-americano à cogeração de eletricidade e vapor a partir do licor negro kraft para as fábricas daquele país (CGEE, 2016).

No âmbito energético, segundo a CGEE 2016, as ações de inovação tecnológica que são necessárias para bioenergia (bio-óleo, gás combustível, gás de síntese, bioetanol, lignina e eletricidade e vapor) são: gaseificação da biomassa, pirólise rápida, cogeração de eletricidade e vapor, geração de eletricidade em turbinas a vapor, fermentações e hidrólises para produção de álcoois (CGEE, 2016).

Indo além da geração de energia renovável e tantos outros benefícios já citados anteriormente, o Brasil ainda pode estabelecer os pagamentos por serviços ambientais (PSA) ou ecossistêmicos promovidos pelas florestas plantadas e de conservação. Com a floresta se produz muito mais que energia, mas conservação dos recursos naturais, restauração de áreas degradadas, emprego e renda em áreas rurais (evitando o êxodo rural e valorizando a vida no campo), entre outros.

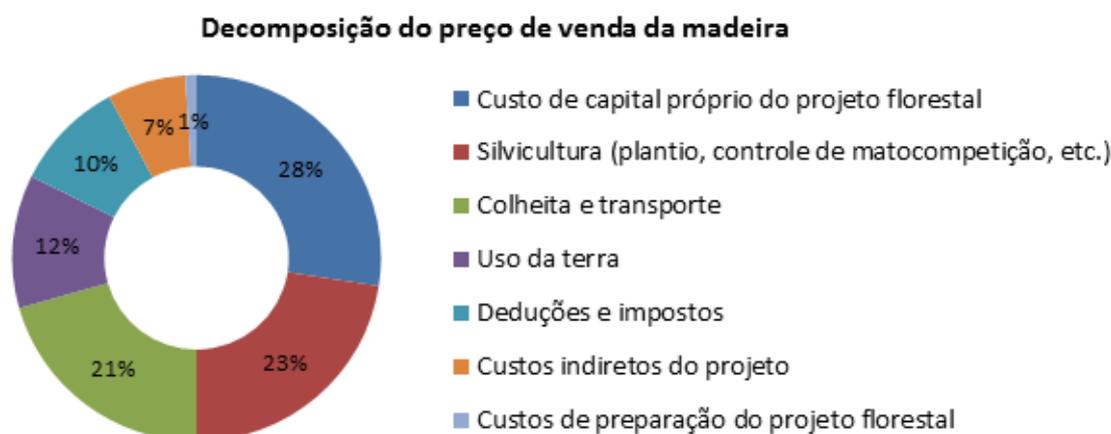
O mesmo movimento que foi feito pelas indústrias de base florestal, ao substituir suas caldeiras de fontes fósseis por fontes renováveis como a biomassa, pode acontecer em outros segmentos. Isso deve ser cada vez mais incentivado em todos os segmentos de uso energético. Um dos principais meios de implementação deste movimento ampliado pode ser a utilização de mecanismos de precificação de carbono, capazes de gerar receitas adicionais e, portanto, ajudando a viabilizar o investimento.

5.5 CUSTOS

Está clara a existência dos diversos benefícios ambientais e sociais da cadeia da biomassa florestal, gerada a partir de florestas plantadas e manejadas de forma responsável, os quais são importantes para o país. No entanto, o setor possui particularidades, inerente à todas as fontes, que precisam ser consideradas, especialmente quando a fonte ainda não está plenamente estabelecida para alguns usos, mesmo que em pequena escala. Caso estas especificidades não sejam consideradas, o investimento pode se tornar inviável, o que seria uma perda para a diversificação da matriz energética, renovabilidade da mesma e até redução de custo para o sistema, visto que, não raramente o sistema opta pelo uso de térmicas de base fóssil a custos altíssimos.

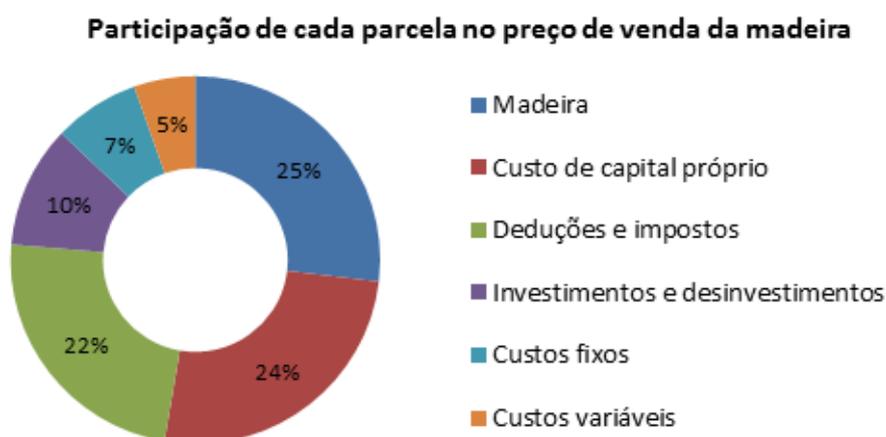
O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) publicou em Agosto de 2018 o estudo “Florestas energéticas: potencial da biomassa dedicada no Brasil”. Segundo o estudo, para retorno do investimento é necessário precificar o custo do combustível (madeira) com base nos principais gastos para sua produção: custo de capital próprio do projeto florestal (28%), silvicultura (plantio, controle de matocompetição, etc. – 23%), colheita e transporte (21%), uso da terra (12%), deduções e impostos (10%), custos indiretos do projeto (7%) e custos de preparação do projeto florestal (1%). Em função da região, produtividade e maturidade do mercado, o custo do combustível pode variar de R\$118-R\$212/t ou R\$86-R\$154/m³.

FIGURA 2: DECOMPOSIÇÃO DO PREÇO DE VENDA DA MADEIRA PARA RECUPERAÇÃO DOS CUSTOS DO COMBUSTÍVEL (ADAPTADO DE IEMA, 2018).



O mesmo foi feito para o custo da produção de energia a partir da madeira, que tem a maior participação no custo de geração de energia (25%), seguido do custo de capital próprio em função da elevada taxa de retorno exigida e pela alta participação de capital próprio no financiamento (24%); em seguida vêm as deduções e impostos, devido ao custo de capital alto combinado ao regime de impostos aplicado (22%); posteriormente investimentos/desinvestimentos (10%); custos fixos que não a madeira (7%) e custos variáveis que não a madeira (5%).

FIGURA 3: PARTICIPAÇÃO DE CADA PARCELA NO PREÇO ALVO DE VENDA PARA O PROJETO REFERÊNCIA (ADAPTADO DE IEMA, 2018).



A proporção entre os componentes do preço alvo (preço para retorno do investimento) varia pouco entre as mesorregiões, sendo que os custos variáveis representam parcela maior nas regiões com custo da madeira mais alto. Por outro lado, existem diferenças expressivas entre os valores absolutos de preço que se devem, principalmente, aos diferentes custos da madeira em cada região e à elegibilidade aos subsídios Sudam/Sudene. Assim, as regiões ES + BA, Pampa Gaúcho, e Oeste de MG atingiram os menores preços (R\$ 514 ± 10)/MWh por terem apresentado preços de

madeira mais competitivos e/ou por serem elegíveis ao regime de incentivos. Por outro lado, as regiões Cerrado, Serra Gaúcha, MAPITO (Maranhão, Piauí e Tocantins) e Amazônia, por já terem apresentado desvantagens quanto ao preço da madeira e por não serem elegíveis aos subsídios Sudam/Sudene, apresentaram preços significativamente altos, variando de R\$ 582 a 656 /MWh¹⁶ (IEMA, 2018).

Observa-se que estes custos podem ser muito superiores aos custos de outras fontes de energia, mesmo as renováveis, mas por outro lado, é importante destacar que os mesmos tendem a diminuir à medida que os projetos forem se desenvolvendo. Além disso, como já mencionado ao longo do capítulo, é preciso considerar todo o potencial que a geração de energia a partir da biomassa consegue proporcionar.

Apesar do estabelecimento de florestas dedicadas para geração de energia elétrica como negócio principal se caracterizar como um investimento de longo prazo, com planejamento e garantia de demanda é possível entregar energia de modo firme e a um custo menor comparado a leilões de curto prazo/spot. Além disso, há medidas que podem ser adotadas para minimizar estes custos, tanto por parte dos Governos, quanto do setor privado, academia, e parcerias entre estes e outros atores. Linhas de crédito específicas, taxas mais competitivas, incentivo à pesquisa e investimentos em infraestrutura podem reduzir estes custos.

No caso de geração de energia a partir de resíduos, em geral o custo do combustível é considerado nulo ou insignificante. Mas há que se considerar o custo de processamento, transporte, e outros. Ainda assim, o projeto se torna viável, desde que tenha garantia de abastecimento. É o caso do projeto Onça Pintada, que venceu o leilão A-5 a um índice de custo benefício (ICB) de R\$ 243,21/MWh e investimento declarado no leilão de R\$ 292.400.000,00.

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) realizou, em 2015, o estudo “Modernização da produção de carvão vegetal - Subsídios para revisão do Plano Siderurgia”. O objetivo do estudo foi subsidiar as decisões de modernização do setor de produção de carvão vegetal com fundamentações técnico-econômicas fornecidas pelas empresas detentoras das patentes, fabricantes e/ou usuários, sendo necessária e obrigatória a validação dos investimentos e parâmetros em um eventual plano de negócios para fins de aprovação de implantação de qualquer que seja a tecnologia adotada (CGEE, 2015).

Parte do estudo inclui o custo da tecnologia para a produção do carvão vegetal. Este custo está associado ao equipamento (forno), matéria prima (madeira) e processo de carbonização. Também foram simuladas receitas do carvão vegetal, bio-óleos e crédito de carbono. Não foi apresentado fator relevante que apontasse para a inviabilidade econômica das tecnologias estudadas (Forno Retangular, Bricarbrás, DPC e Ondatec), o que abre espaço para a aplicação dessas inovações a fim de avançarem em novos patamares de industrialização (CGEE, 2015).

Os custos de novos produtos energéticos e sua respectiva viabilidade técnico-econômica ainda são bastante confidenciais nas empresas que investem nestas tecnologias, em função de uma questão competitiva. A empresa Suzano vem liderando pesquisas nesta área. Uma das linhas de pesquisa da Suzano é em biopetróleo, cuja ambição é criar um negócio de larga escala no Brasil com base em floresta plantada. Outra empresa que investe em novos usos energéticos é a Klabin. Segundo a Isto É Dinheiro 2019 a empresa tem trabalhado na construção de uma fábrica de gaseificação de biomassa, que transforma resíduos de madeira em gás.

5.6 FINANCIAMENTO

Além de se auto financiar, o setor conta com recursos do Programa para Redução da Emissão de Gases de Efeito Estufa na Agricultura (Programa ABC) e o Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (Pronamp). Segundo o Plantar Florestas (2019), a demanda por recursos que atendam às necessidades do setor é muito superior à capacidade de alocação de recursos controlados, portanto, torna-se necessário identificar ou desenvolver instrumento de crédito que atenda às necessidades do financiado e dê segurança para o investidor. Considerando as especificidades do tipo do empreendimento – longo prazo – em que o financiador poderá ser qualquer pessoa física ou jurídica, nacional ou estrangeiro, deve ser estudada a conveniência e a viabilidade de se criar um novo título de crédito que possa ser emitido em favor de qualquer tipo de credor, seja ele pessoa física ou jurídica, nacional ou estrangeiro.

A disponibilidade para financiamento de implantação de florestas plantadas (combustível em questão) varia basicamente em função da escala do investimento, em que na maioria das vezes os que menos precisam (maior escala)

tem acesso às melhores taxas e condições de pagamento, dentro e fora do país. Além disso, também conseguem acessar títulos verdes, que visam descarbonizar a economia e agregam valor ao investimento por considerar o aspecto ambiental do empreendimento. Já os investimentos de média e pequena escala que mais precisam, nem sempre tem acesso a taxas atrativas, período de carência adequado e muitas vezes esbarram em problemas conhecidos como a questão da garantia.

Quando se avalia o sistema de financiamento para termelétricas à biomassa florestal para geração de energia elétrica, também há certa dificuldade de obtenção, tendo em vista que as instituições financeiras questionam a garantia do abastecimento da UTE por este combustível, especialmente quando não há verticalização.

O financiamento para construção de fornos de carvão vegetal também é um desafio. Os fornos são o principal equipamento para produção de carvão vegetal e ainda não possuem linhas de financiamento atrativas para o produtor. Os investimentos são de alto custo, especialmente para pequenos e médios produtores que fornecem o maior volume de carvão vegetal do mercado nacional. É preciso ter uma linha de crédito que contemple esta realidade, garantindo acessibilidade e maior inclusão social.

Além do incentivo financeiro para construção de fornos, se faz necessário investimento público em capacitação e atualização de metodologias, procedimentos e tecnologias disponíveis para carbonização da madeira em geral, economia rural, comercialização e manejo sustentável de florestas plantadas para o máximo aproveitamento dos recursos pelos pequenos e médios produtores.

Estudos internos conduzidos pela ABTCP e o “Centro Tecnológico em Celulose e Papel - Proposta de criação, CGEE 2016” contemplam a possibilidade de se criar uma biorrefinaria setorial em que se realizariam pesquisas pré-competitivas. Investimentos como este devem ser incentivados e viabilizados por instituições financeiras governamentais ou não-governamentais para o avanço da inovação setorial e desenvolvimento de uma economia de baixo carbono.

Adicionalmente, o Plantar Florestas elenca diversas medidas de financiamento para o setor de base florestal plantada, dos quais diversos deles tem relação direta ou indireta com a geração de bioenergia e devem ser considerados:

- AI 5.3: Promover a inserção das atividades de reflorestamento no Plano Agrícola e Pecuário, com o objetivo de melhorar as condições de financiamento por meio de ganhos de escala.
- AI 5.6: Incluir o material lenhoso de espécies florestais provenientes de plantios florestais (para produção de carvão) como produto amparado por financiamento especial para estocagem de produtos agropecuários não integrantes da PGPM (FEE) e financiamento para garantia de preços ao produtor (FGPP).
- AI 5.7: Incluir no Programa ABC a possibilidade de financiamento de fornos para carbonização de madeira.

5.7 DESAFIOS E REGULAMENTAÇÃO AMBIENTAL

Existem diferentes desafios quando se trata da produção de bioenergia a partir de florestas, especialmente para geração dedicada, produção de carvão vegetal para siderurgia e biorrefinarias para produção de novos produtos energéticos (e não energéticos). A seguir, alguns desafios relacionados aos leilões, políticas públicas e mecanismos diversos:

Leilões:

- Criar um produto específico para biomassa florestal: as fontes têm características específicas e por isso devem ser tratadas de forma diferenciada. Colocar fontes diferentes no mesmo produto inviabiliza a competição da biomassa florestal.
- Enquadrar a biomassa florestal na modalidade de contratação por quantidade: a flexibilidade de despacho exigida (50%) é incompatível com a inflexibilidade inerente ao manejo florestal. Logo, é inadequada ao setor, em função de ser um investimento de longo prazo, gerando risco ao investidor. Isso, aliado à capacidade de geração contínua das usinas de base florestal, torna a fonte apta a ser enquadrada em contratação por quantidade, ao invés de disponibilidade.
- Diferenciar o parâmetro de demanda por fonte: ter o mesmo parâmetro para todas as fontes impede um estímulo àquelas que ainda precisam de incentivos num primeiro momento, especialmente por ser renovável e de origem biogênica. Esse parâmetro deveria poder ser definido de forma individual por produto, para não prejudicar um produto pouco ofertado e que mereça ser incentivado.

- Diferenciar fontes renováveis das não renováveis e por performance climática: demonstrar a preocupação com a renovabilidade da matriz energética e a disponibilidade de uma energia limpa no contexto da economia de baixo carbono. Auxilia no processo de complementariedade com as fontes renováveis intermitentes (eólica, solar), dada a geração firme ao longo do ano, reduzindo a necessidade de despacho de geração fóssil como backup, proporcionando descarbonização contínua.
- Harmonizar as dinâmicas do setor elétrico e do setor florestal para uma maior participação da biomassa florestal na matriz energética nacional. A biomassa precisa de tratamento adequado para iniciar sua participação na matriz como foi feito para eólica e solar, que já se tornaram competitivas.
- Ter projetos de biomassa apresentados e contratados, totalizando pelo menos 100 mega-watts todo ano nos próximos leilões, para legitimar a fonte e retomar a credibilidade, prejudicada por projetos com modelo de negócios inviáveis submetidos no passado. O desafio conjunto, entre setor privado e Governo é quebrar este ciclo para abrir as oportunidades e permitir que a fonte consiga se estabelecer como ocorreu com outras fontes.

Políticas públicas e mecanismos diversos:

- Diferenciar e estimular a produção e utilização em escala de biocombustíveis e carvão vegetal oriundos de florestas plantadas. O setor vem investindo fortemente em inovação. Produtos inovadores e de alta tecnologia estão em fase de pesquisa ou são produzidos em escala incipiente. É preciso quebrar barreiras para sua alavancagem e aumento de demanda.
- Incentivar a geração distribuída de energia renovável, incluindo a biomassa florestal.
- Implementar sistemas de rastreabilidade e controle simplificado, da origem até o consumo do carvão vegetal. Rastreabilidade e fiscalização, feitos de forma inteligente, não onerosa, são essenciais para evitar concorrência desleal com produtos de origem ilegal e não prejudicar a imagem de produtores responsáveis.
- Definir normas e parâmetros mínimos de qualidade na produção de carvão vegetal e qualidade do ar. Esta harmonização em nível federal visa uma produção sustentável que considere aspectos econômicos, ambientais e sociais.
- Estimular a formação de associações ou cooperativas de pequenos produtores de carvão vegetal que possam se organizar nos polos industriais, visando viabilizar o uso das novas tecnologias que se mostrarem viáveis do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental.
- Considerar os fornos de carvão vegetal como equipamento, assim como foi feito para os equipamentos de energia solar, de modo a viabilizar linhas de crédito e financiamento acessíveis.
- Trabalhar a comunicação positiva desta fonte renovável como um forte vetor de desenvolvimento energético do país e inclusão social, inclusive diferenciar carvão vegetal de carvão mineral.
- Criar e estimular a utilização de mecanismos de precificação de carbono, via comércio de emissões, por meio de sistemas nacionais ou mecanismos internacionais, que sejam capazes de valorizar monetariamente o benefício climático gerado, seja pela substituição energética ou pelas remoções florestais, e aumentar a demanda pela bioenergia florestal.

Do ponto de vista de regulamentação ambiental o principal gargalo do setor, comum ao setor de uso da terra, é o licenciamento ambiental, em que algumas exigências relacionadas à silvicultura não soam procedentes.

De acordo com o Plantar Florestas, a Resolução 237/97 do CONAMA classifica a silvicultura como atividade potencialmente causadora de significativa degradação do meio, colocando-a no mesmo patamar de atividades de mineração. Essa classificação é contraditória, pois a conversão de áreas previamente antropizadas ou degradadas para florestas plantadas traz vantagens ambientais e melhorias para o meio. Tal classificação é conflitante com os compromissos nacionais relacionados ao Acordo de Paris e a Política Nacional de Mudanças do Clima. Os custos de licenciamento são altos e algumas vezes, por inviabilizarem negócios, são simplesmente deixados de lado, principalmente considerando as produções de menor escala. Ainda de acordo com o Plantar Florestas, é necessário promover ampla discussão sobre as políticas e processos de licenciamento, buscando isonomia com outras atividades agrícolas.

Em suma, o setor é maduro o suficiente para ampliar sua participação na matriz energética brasileira, mas deve contar com o apoio de Governos, Instituições Financeiras e outros atores para quebrar barreiras e tornar-se um ativo ainda mais relevante de desenvolvimento econômico e geração de energia sustentável.

5.8 REFERÊNCIAS

- BRITO, J. O. “O uso energético da madeira”. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a14v2159.pdf>
- CEMIG. Sessão “Biomassa”. Disponível em: https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/inovacao/Alternativas_Energeticas/Paginas/biomassa.aspx
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE, 2016. “Centro Tecnológico em Celulose e Papel - Proposta de criação”. Brasília, DF: 2016. 116p. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10182/734063/centro_tecnologico_celulose_papel.pdf
- CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, 2015. “Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia” – Brasília. 150 p.; il, 24 cm ISBN 978-85-60755-91-2. Disponível em: https://www.cgee.org.br/clipping/-/asset_publisher/KRKY0uwVshG0/content/carvao-vegetal-sustentavel?inheritRedirect=false
- FAO, 2008 Forests and Energy – Key Issues. FAO Forestry Paper 154. Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i0139e/i0139e00.htm>
- FAO, 2017 Infographic “Forest and Energy”. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6928e.pdf>
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. “Relatório Anual 2019”, ano base 2018. São Paulo: IBÁ, 2019. 79 p. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>
- Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA), “Florestas energéticas: potencial da biomassa dedicada no Brasil”. São Paulo, 2018. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2018/01/estudo_completo_energia_eucalipto.pdf
- INTERNATIONAL COUNCIL OF FOREST AND PAPER ASSOCIATIONS (ICFPA), 2019. Statement on “Carbon Neutrality of Biomass”. Disponível em: <https://www.icfpa.org/resources/>
- IRENA: <https://www.irena.org/> 2020. Sessão “Bioenergy”. Disponível em: <https://www.irena.org/bioenergy>
- MARQUES, F. N. A, 2018. “O MDL florestal no Brasil: fundamentos, legado e elementos para o futuro, florestal no Brasil: fundamentos, legado e elementos para o futuro”. In: O Legado do MDL no Brasil, orgs: Frangetto, Veiga e Luedemann, 2018. Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/181228_livro_mdl_cap06.pdf
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2018. “Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas - Plantar Florestas”. 49p. Brasília.
- MMA [et al], 2019. “Produção sustentável de carvão vegetal: manual de operação de sistema fornos-fornalha” – Brasília, DF. 60 p. ISBN: 978-85-7738-433-4. Disponível em: https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/publicacoes/planeta/CARTILHA_FORNOS_FORNALHA_OPERA%C3%87%C3%83O%20PARA%20GR%C3%81FICA_WEB.pdf
- REVISTA O PAPEL, ABTCP, 21/06/2017 – “Indústria de celulose e papel aposta no potencial da cogeração de energia”. Páginas 54 a 63. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/publicacoes.php?id=2576>



Capítulo 6

TECNOLOGIAS DE REATORES PARA GERAÇÃO NUCLEAR

Data: 04 de dezembro de 2019

Local: Ministério de Minas e Energia - Auditório Térreo

Co-organizador: Westinghouse

Este evento foi o sexto de uma série de debates sobre fontes energéticas no âmbito do planejamento de longo prazo do MME, o objetivo foi aprofundar o conhecimento sobre a tecnologia de reatores para geração nuclear, tendo em vista a grande capacidade do país para o desenvolvimento desse setor. Foram abordados em detalhes alguns novos tipos de reatores que estão em implementação e desenvolvimento no mundo e que podem contribuir para uma matriz brasileira de geração de energia limpa, com suprimento confiável e estável atendendo as diferentes demandas de uma matriz diversa e integrada.

6.1 ENERGIA NUCLEAR

A Energia Nuclear resulta da fissão de átomos em um reator para aquecer água e transformá-la em vapor, girando uma turbina e gerando eletricidade.

Nos Estados Unidos, 96 reatores em 29 estados geram aproximadamente 20% da eletricidade Americana. Com exceção das paradas para recarga e manutenção, essas usinas estão sempre conectadas, em plena operação para evitar interrupções e construídas para resistir condições de clima extremas, suportando a rede 24/7.

No Brasil, a energia nuclear corresponde a cerca de 3% da matriz energética brasileira e cerca de 40% da matriz energética do Estado do Rio de Janeiro, produzida por dois reatores de água pressurizada na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto, em Angra dos Reis.

Além disso, o Brasil ocupa entre a 7ª posição em reserva de urânio no mundo tendo apenas um terço de seu território prospectado, o que torna essa fonte ainda mais estratégica para o país.

A Westinghouse Electric foi fundada a mais de 130 anos, por George Westinghouse em Pittsburgh, Pennsylvania. Desde o início, a empresa focava no desenvolvimento de infraestrutura elétrica nos Estados Unidos. No setor nuclear, a Westinghouse foi parte essencial do desenvolvimento do primeiro submarino nuclear, USS Nautilus. Essa tecnologia foi utilizada como base para o primeiro reator nuclear comercial, a Estação de Energia Nuclear de Shippingport, na Pennsylvania, que operou com tecnologia produzida pela empresa de 1957 até 1982. O desenvolvimento tecnológico nuclear derivado dessa tecnologia desenvolvida pela Westinghouse é responsável por mais de 50% dos reatores nucleares comerciais em operação no mundo hoje.

No Brasil, a empresa é responsável pela tecnologia do reator Angra 1, primeiro reator de potência o país. Por décadas, Westinghouse tem se mantido parceira das mais importantes empresas nucleares, colaborando com a manutenção e desenvolvimento do setor nuclear brasileiro.

6.2 BENEFÍCIOS DA ENERGIA NUCLEAR

Existem muitos benefícios conhecidos na utilização da tecnologia nuclear para gerar eletricidade. Reatores nucleares produzem energia via fissão nuclear no lugar de queima química, e geram eletricidade sem produzir carbono, o elemento considerado o principal fator contribuinte da mudança climática. A mudança do carvão para o gás natural é considerada um passo em direção à descarbonização, a queima de gás natural produz cerca de metade do dióxido de carbono da queima de carvão. Mas a mudança de o carvão à energia nuclear é considerada radicalmente descarbonizar, à medida que as usinas nucleares liberam gases de efeito estufa quase tanto quanto a energia solar, que é cerca de 4 a 5% do que uma usina movida a gás natural produz.

Além disso, as usinas nucleares operam com fatores de capacidade muito mais altos do que as fontes renováveis de energia ou combustíveis fósseis. O fator de capacidade é uma medida de qual porcentagem de tempo uma usina realmente produz energia. É um problema para todas as fontes de energia intermitentes.

Em 2019, a usina de Angra 1 bateu recorde com mais alto fator capacidade em toda sua vida útil, com 98,21%. Por outro lado, as turbinas eólicas nos EUA tinham, em 2016, um fator de capacidade médio de 34,5% (o que significa operar apenas 127 dias por ano) e energia solar apenas 25,1% (92 dias por ano). Mesmo as usinas movidas a carvão ou gás natural geram eletricidade apenas metade do tempo por razões como custos de combustível e variações sazonais e noturnas na demanda.

Além dos fatores acima levantados, a energia nuclear também:

- Gera empregos: A energia nuclear fornece mais de 100.000 empregos e apoia as economias locais com milhões em receitas fiscais estaduais e locais nos EUA.
- Protege nosso ar: Além da não emissão de gás carbônico, essa fonte não libera no ar outros poluentes como: Óxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, material particulado e mercúrio. E devido a essa característica ela tem sido adotada como medida para melhorar a saúde pública, garantindo uma melhor qualidade do ar. Exemplos de locais que adotaram essa medida são Ontário no Canadá e a China.

- Nuclear impulsiona o desenvolvimento internacional ajudando os países em desenvolvimento a atingir as metas de desenvolvimento sustentável.
- Veículos elétricos de potência nuclear. O transporte eletrificado promete reduzir as emissões de carbono. Quando alimentados por energia nuclear sem carbono, os veículos elétricos podem atingir todo o seu potencial.

6.3 TENDÊNCIAS GLOBAIS

De acordo com a Associação Mundial Nuclear (WNA), o crescimento da população e economia do mundo, juntamente com a rápida urbanização, resultará em um aumento substancial na demanda de energia nos próximos anos. As Nações Unidas (ONU) estimam que a população mundial passará de 7,6 bilhões em 2017 para 9,7 bilhões em 2050. O processo de urbanização - que atualmente adiciona uma cidade do tamanho de Xangai à população urbana do mundo a cada quatro meses - resultam em aproximadamente dois terços da população mundial vivendo em áreas urbanas até 2050 (acima de 55% em 2018). O desafio de atender à crescente demanda por energia, enquanto reduz as emissões de gases de efeito estufa, é considerável. Em 2018, as concentrações atmosféricas globais de dióxido de carbono aumentaram 1,7%, 70% acima do aumento médio desde 2010.

Além dos desafios de atender à crescente demanda e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, o ar limpo é uma necessidade vital. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição do ar é o maior risco ambiental do mundo. A OMS estima que cerca de sete milhões de pessoas morrem prematuramente como resultado da poluição do ar. Grande parte do material particulado fino em áreas poluídas é proveniente de fontes industriais, como a geração de energia ou a poluição do ar interior, que pode ser evitada pelo uso de eletricidade.

Estudos têm mostrado repetidamente que a energia nuclear é a segunda maior fonte de produção de eletricidade de baixo carbono do mundo (depois da energia hidrelétrica) e forneceu cerca de 30% de toda a eletricidade de baixo carbono gerada em 2017. Em junho de 2019, a Agência Internacional de Energia (AIE) da OCDE publicou um relatório, Energia Nuclear em um Sistema de Energia Limpa, que concluiu que investir em novas e existentes usinas nucleares em economias avançadas são esforços globais necessários para fazer a transição para um sistema de energia mais limpa, e que a falha em fazer isso torna essa transição drasticamente mais difícil e mais dispendiosa.

Esses dados demonstram uma tendência global, pois observamos muitos países se voltando para inserção ou expansão da energia nuclear em seu portfólio de energia.

Hoje, existem cerca de 440 reatores nucleares de potência operando em 30 países com uma capacidade combinada de cerca 400 GWe. E cerca de 55 reatores estão atualmente em construção em 15 países (Estados Unidos, China, França, Rússia, Emirados Árabes etc.)

Após os Terremoto e Tsunami de Tohoku que danificou as usinas nucleares em Fukushima, Japão, alguns países, como a Alemanha, optaram pelo fechamento de suas usinas nucleares. No entanto, desde o início da implementação dessa decisão houve perdas em termos de descarbonização e até custos de energia. Ao olharmos para os dados da matriz energética da Alemanha, por exemplo, após a implementação dessas medidas, podemos observar:

- A Alemanha é um dos maiores importadores de gás, carvão e petróleo em todo o mundo e possui poucos recursos domésticos além de linhito e renováveis. O consumo anual é de cerca de 6300 kWh per capita. A preponderância do carvão faz do país o maior emissor de dióxido de carbono da Europa.
- A Alemanha importa de energia da França, sendo esta primariamente nuclear (acima de 75% da energia produzida da França é proveniente de reatores nucleares)
- Em um relatório especial do The Economist (datado de 28 de novembro de 2015) a publicação apontou que as famílias francesas pagam cerca de metade do que as alemãs pagam por eletricidade.

Além das tendências globais da expansão do uso energia nuclear, diferentes versões dessa tecnologia estão sendo colocadas em operação e/ou desenvolvidas. Esses modelos serão explorados nas sessões abaixo.

6.4 MODELOS DE REATORES

Existem diversos modelos de Reatores Nucleares, eles podem ser categorizados pelo seu uso (pela sua tecnologia, pelo seu tamanho (quantidade de Energia gerada), e vários outros.

Atualmente os modelos de geração III + são considerados os mais avançados com tecnologia comprovada e em operação comercial no mercado. O reator de água pressurizada (PWR) AP1000^{®44} da Westinghouse é um exemplo de reator avançado dessa geração.

Gerações mais avançadas de reatores estão em fase de desenvolvimento e implementação, outros modelos como os pequenos reatores modulares (SMR) também estão recebendo bastante investimento para sua implementação devido a benefícios como tempo de construção reduzidos e custo de capital reduzido quando comparado a grandes plantas.

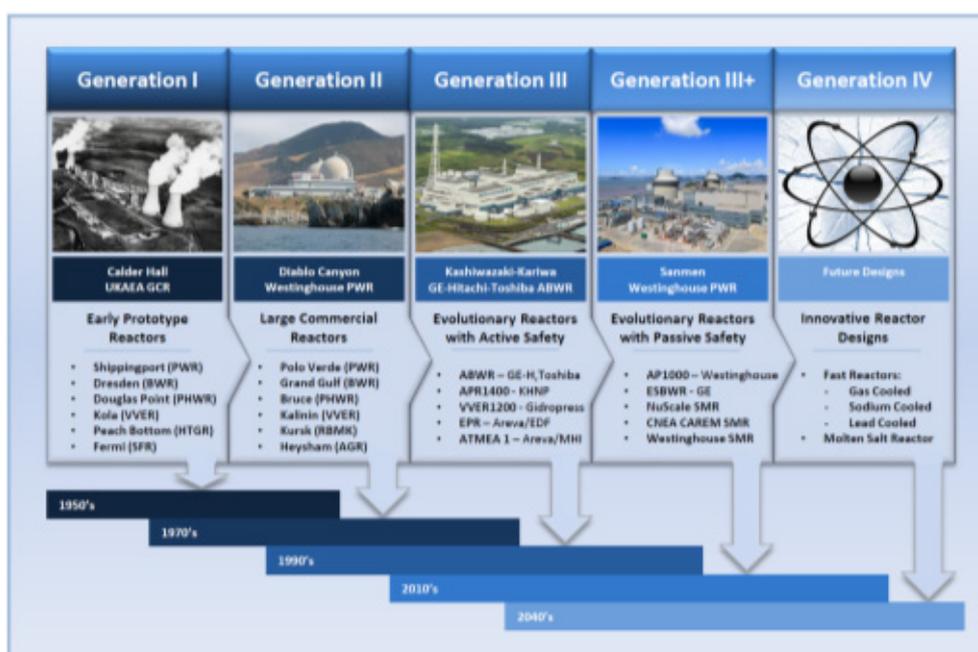


Figura 1 - Geração de Tecnologia de Reatores Nucleares.

Para o propósito desta mensagem, focaremos apenas em reatores para geração de eletricidade em três categorias com exemplos de tecnologia comprovada ou em desenvolvimento que pode ser amplamente aplicada no Brasil, de acordo com as necessidades específicas de cada região e/ou mercado.

1. Reatores de Grande Potência
2. Pequenos reatores modulares
3. Micro reatores

6.4.1 REATORES DE GRANDE POTÊNCIA

Atualmente, reatores de grande potência são projetados para ter 1000 megawatts (MW) ou mais. Existem modelos em operação com menos (ex. Angra 1 com 609 MWh) e outros modelos projetados para potências maiores. No Brasil, a tecnologia escolhida para esse tipo de reator é o reator de água pressurizada (PWR), que constitui a maioria das centrais de energia nuclear no mundo. Os reatores PWR foram originalmente projetados para servir como propulsão para submarinos nucleares; essa tecnologia foi depois utilizada como base para os reatores comerciais. Os reatores PWR que estão atualmente operando nos EUA e no Brasil são considerados da segunda geração.

44 AP1000 is a trademark or registered trademark of Westinghouse Electric Company LLC, its affiliates and/or its subsidiaries in the United States of America and may be registered in other countries throughout the world. All rights reserved. Unauthorized use is strictly prohibited. Other names may be trademarks of their respective owners

PLANTA WESTINGHOUSE AP1000®

O reator AP1000® é um reator da Westinghouse, PWR geração III+, que utiliza uma abordagem simplificada, inovadora e de segurança passiva. Com uma classificação de potência bruta de 3.415 megawatt térmicos (MWt) e uma saída elétrica líquida nominal de 1.110 megawatt elétrico (MWe), a planta AP1000®, com um núcleo de montagem de 157 combustíveis, é ideal para a nova geração de base. A simplificação foi um dos principais objetivos do projeto da planta AP1000®. As simplificações nos sistemas gerais de segurança, nos sistemas operacionais normais, na sala de controle, nas técnicas de construção e nos sistemas de instrumentação e controle (I&C) proporcionam uma instalação mais fácil e barata de construir, operar e manter. As simplificações da planta produzem menos componentes, menor volume de cabos e construção sísmica, contribuindo para economias consideráveis no investimento de capital e custos mais baixos de operação e manutenção. Ao mesmo tempo, as margens de segurança do AP1000® aumentaram dramaticamente em relação às outras plantas atualmente em operação.

A tecnologia do AP1000® é composta por componentes que incorporam muitas melhorias no projeto, destiladas após 50 anos de experiência bem-sucedida na operação de usinas nucleares. Os projetos de vaso do reator e os internos, gerador de vapor, combustível e pressurizador são versões aprimoradas daquelas encontradas nos PWRs projetados pela Westinghouse atualmente em operação. As bombas de refrigeração do reator são do tipo utilizados em muitas outras aplicações industriais em que a confiabilidade e a longa vida útil são requisitos fundamentais.

O AP1000 usa sistemas de segurança passiva extensivamente analisados e testados para melhorar a segurança da planta. O Conselho Consultivo sobre Salvaguardas de Reatores (ACRS) e o órgão regulador nuclear americano (U.S. NRC) examinaram esses sistemas e corroboraram que eles atendem aos critérios de segurança impostos pelos órgãos entre outros. Esses sistemas de segurança passiva não requerem ações do operador para mitigar potenciais acidentes levados em consideração no design do projeto. Esses sistemas usam forças naturais, como gravidade, circulação natural e gás comprimido, para atingir sua função de segurança. Não é necessária eletricidade para acionar os sistemas de segurança do reator. Não são usados bombas, ventiladores, diesel, refrigeradores ou outras máquinas ativas, exceto algumas válvulas simples que alinham e acionam automaticamente os sistemas de segurança passiva.

Com menos equipamentos, a maioria dos equipamentos de segurança agora pode estar localizada dentro da contenção do reator, resultando em menos penetrações na contenção e com isso mais segurança.

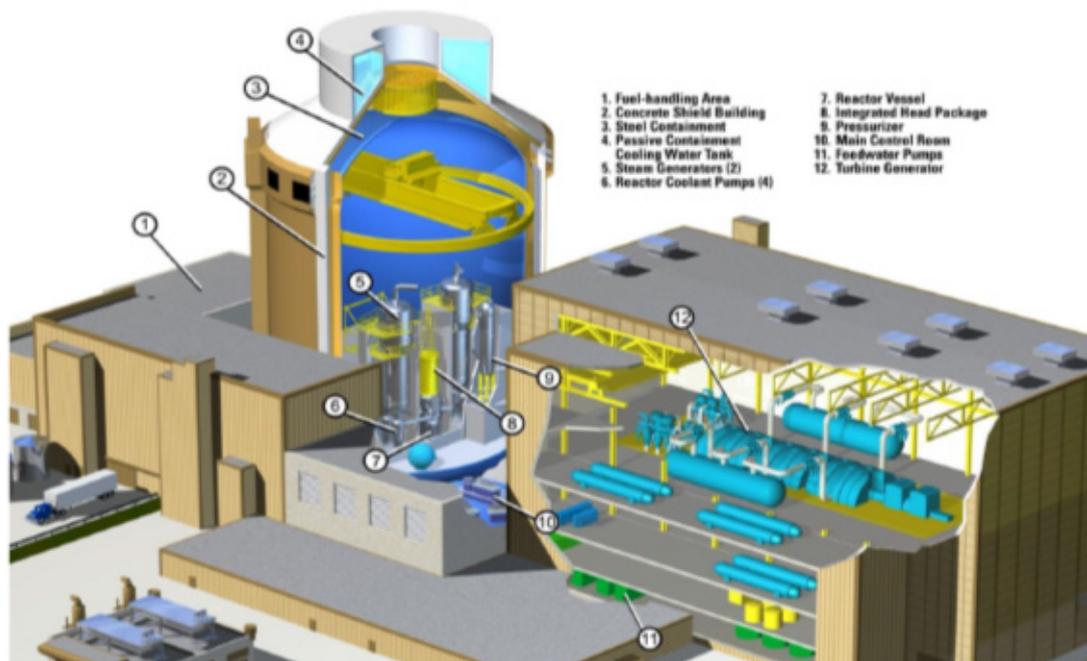


Figura 2 – Layout da Planta AP1000

Outra característica dos reatores AP1000 é a Construção Modular. Esse tipo de processo de construção permite que módulos do reator sejam construídos em paralelo fora do local de construção e sejam transportados e instalados

prontos no local (como um encaixe). O uso de guindastes de elevação pesada permite uma abordagem de construção “open top”, que é eficaz na redução do tempo de construção. Isso significa mais trabalho sendo feito em paralelo, em consequência isso permite um tempo menor de construção e com isso um custo menor. Esse método também traz aumento na qualidade e segurança.



Figura 3 - Construção Modular do Reator AP1000

O Contínuo de Otimização do AP1000 pode ser observado em outros projetos, quando maior a repetição maior a certeza e melhores as garantias com diminuição de riscos. As sinergias de construir múltiplas unidades também levam a redução de tempo e custo. Ao redor do mundo, as novas plantas nucleares estão sendo construídas em pares aproveitando essa característica.

AP1000 Plant Optimization Continuum



Figura 4 – Contínuo de Otimização da Planta AP1000

No início de 2019, 4 reatores AP1000 da Westinghouse, em Sanmen e Haiyang, China, cada um com 2 unidades, concluíram sua inicialização (start-up) com sucesso. No final de dezembro de 2019, a primeira unidade desses reatores completou seu primeiro ciclo operacional e parada para reabastecimento sem nenhuma falha.

Além dessas características, o reator AP1000 também traz uma maior facilidade para acompanhamento de carga (load follow), ou seja, alteração da potência de acordo com a necessidade do sistema. Apesar das características desse reator em termos de densidade e confiabilidade energética o tornarem ideal para uma geração de base operando a 100% de sua potência, a capacidade de fazer *load follow* rapidamente traz mais flexibilidade a esse tipo de geração fornecendo um pouco mais de liberdade ao operador do sistema.

6.4.2 PEQUENOS REATORES MODULARES - (SMALL MODULAR REACTORS –SMR)

SMRs são um tipo de reator de fissão nuclear menor que os reatores convencionais. Eles foram idealizados para permitir sua fabricação em uma fábrica e serem levados a um local para serem montados.

Os reatores modulares permitem menos construção no local, maior eficiência de contenção e segurança devido a recursos de segurança passivos. Esse tipo de reator é proposto como uma maneira de contornar barreiras financeiras e de segurança que afetaram os reatores nucleares convencionais.

Características que impulsionaram esse mercado:

- Emissão de carbono reduzidas
- Complementação confiável para outras fontes de Energia
- Elementos significantes são fabricados e instalados no lugar de construção
- Tempo de construção reduzidos
- Custo de capital reduzido quando comparado a grandes plantas de base
- Tecnologia passiva de segurança

Características críticas típicas de um SMR:

- Características passivas de segurança projetadas para desligar a planta automaticamente e manter refrigeração sem intervenção humana por sete dias
- Remoção de calor passiva com inventário de água local, que depende de forças naturais de evaporação, condensação e gravidade
- Contenção subterrânea
- Design inovador integral eliminando um número de cenários de acidentes.
- Segurança energética melhorada e redução do ciclo de vida das pegadas de carbono quando utilizado para alimentar transporte de combustível líquido de areias betuminosas, shale gas e aplicações carvão-líquido

Esse tipo de reator tem sido alvo de interesse de muitos países para objetivos além da produção de Energia centralizada. Esses objetivos incluem permitir uma maneira de baixo custo de descarbonizar a economia em vários setores através da produção de calor, eletricidade e hidrogênio com emissões zero; fonte de energia para dessalinização, fornecer energia para atividades como mineração.

Em um país com dimensões continentais como o Brasil, reatores avançados SMRs e o micro reator eVinciTM⁴⁵ tem diversas aplicações potenciais para apoiar o Brasil a alcançar seus objetivos energéticos.



Figura 5 – Figura Ilustrativa do micro reator eVinci

45 eVinci is a trademark or registered trademark of Westinghouse Electric Company LLC, its affiliates and/or its subsidiaries in the United States of America and may be registered in other countries throughout the world. All rights reserved. Unauthorized use is strictly prohibited. Other names may be trademarks of their respective owners

6.4.3 MICRO REATORES

A Westinghouse está atualmente desenvolvendo o micro reator eVinci, um reator modular muito pequeno e de próxima geração para mercados de geração descentralizada.

O design inovador do micro reator eVinci é uma combinação de fissão nuclear, tecnologias de reatores espaciais e mais de 50 anos de design, engenharia e inovação de sistemas nucleares comerciais. O micro reator eVinci visa criar energia acessível e sustentável com confiabilidade aprimorada e manutenção mínima, principalmente para consumidores de energia em locais remotos. O tamanho pequeno do gerador facilita o transporte e a instalação rápida no local, em contraste com as grandes estações centralizadas. O núcleo do reator foi projetado para funcionar até 4 anos com a única carga de combustível, eliminando a necessidade de reabastecimento frequente.

Os principais benefícios do micro reator eVinci são atribuídos ao seu núcleo sólido e tubos de calor avançados. O núcleo encapsula o combustível para reduzir significativamente o risco de proliferação e aumenta a segurança geral do usuário. Os tubos de calor permitem extração passiva de calor no núcleo e regulação de potência inerente, permitindo operação autônoma e recursos inerentes ao seguimento de carga. Essas tecnologias avançadas juntas tornam o micro reator eVinci um reator de pseudoestado sólido com partes móveis mínimas.

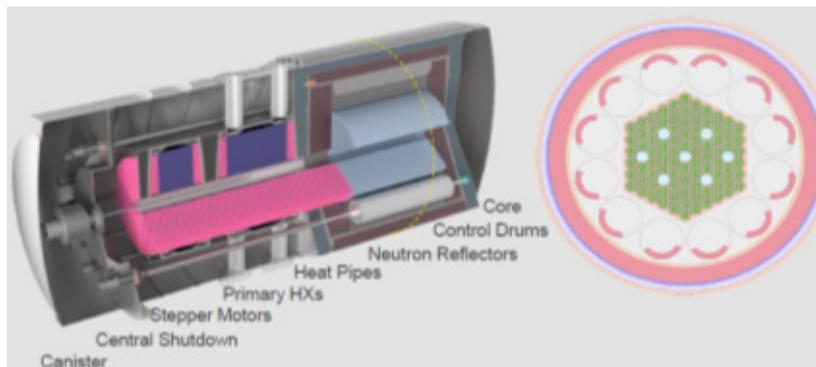


Figura 6 – Design do Micro reator eVinci

Atributos Principais do Micro Reator eVinci:

- Gerador de energia transportável
- Totalmente fabricado, abastecido e montado na fábrica
- Calor e potência combinados - até 5 MWe
- Calor de processo de até 600°C
- Design de vida útil de 40 anos com segurança inerente ao meio ambiente
- Até 4 anos sem reabastecimento
- Menos de 30 dias para a instalação no local
- Capacidade autônoma de gerenciamento de carga
- Resistência incomparável à proliferação
- Alta confiabilidade e peças móveis mínimas
- Facilidade de descomissionamento do local

O uso desse reator no Brasil seria facilitador do acesso a energia, de expansão tecnológica entre outros. No atual plano brasileiro de migrar para sistema elétrico mais descentralizado, esse tipo de fonte energética seria ideal para comunidades brasileiras distantes e/ou isoladas e com isso não seria necessária instalação de redes de transmissão extensas. Também pode permitir o uso de tecnologias que necessitam de grandes quantidades de energia para operar, além de outros usos potenciais que podem ser explorados.

6.5 BENEFÍCIOS ECONÔMICO-SOCIAIS

De acordo com estudo feito pela Deloitte e divulgado pela Associação nuclear mundial (WNA), a indústria nuclear tem um impacto significativo na economia europeia, pois mantém 1,1 milhão de empregos (47% dos quais são altamente qualificados), gera 507 bilhões de euros (US \$ 556 bilhões) no PIB da UE, 124 bilhões de euros em receitas estatais, 383 bilhões de euros em renda familiar e um excedente comercial de 18,1 mil milhões de euros na economia da UE.



Figura 7 – Reatores Vogtle 1 e 2 em operação e Vogtle 3 e 4 em construção – Foto cortesia da empresa Southern Company

Os benefícios socioeconômicos trazidos pelo desenvolvimento do setor nuclear também podem ser vistos por dados compartilhados pela empresa Southern Company (www.southerncompany.com), que está construindo 2 unidades do reator nuclear da Westinghouse AP1000 (Vogtle 3 e 4), no estado da Georgia. O projeto:

- emprega mais de 8000 pessoas,
- irá criar 800 novas carreiras quando as unidades entrarem em operação e,
- a comunidade local se beneficia, tipicamente, criando mais de 4 trabalhos indiretos para cada trabalho direto.

Com os planos de avanço tecnológico do Brasil, a expectativa de aumento da demanda energética nos próximos anos e as metas de flexibilização e descentralização da produção elétrica, nota-se que a tecnologia nuclear e cada um dos modelos de reatores apresentadas nesse workshop atendem demandas específicas do país e contribuirão para que o Brasil alcance seus objetivos nesse setor além dos impactos socioeconômicos positivos para o país.

