

**O sistema tecnológico de inovação do biogás no Brasil: uma análise funcional**

**COSME POLESE BORGES**

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC

# A EVOLUÇÃO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO SOB A ÓTICA DA TEORIA DAS TRANSIÇÕES SÓCIOTÉCNICAS

## 1 INTRODUÇÃO

A mudança tecnológica e outros tipos de inovações são as fontes mais importantes de crescimento da produtividade e bem-estar material nos sistemas socioeconômicos (SCHUMPE-TER, 1985). No entanto, a trajetória atual dos sistemas econômicos é insustentável considerando a conseqüente carga imposta ao meio ambiente, dois dos problemas mais evidentes estão associados ao aumento das emissões de gases do efeito estufa e a disposição inadequada de resíduos, a necessidade de superar estes problemas define um período de transição (MARKARD; RAVEN; TRUFFER, 2012).

Neste contexto, a difusão do uso de fontes renováveis de energia, como o biogás, é uma solução amplamente aceita para auxiliar na mitigação destes problemas (RAVEN, 2004), face ao imenso desafio em restringir o aumento na temperatura da Terra abaixo de 1,5°C, marcado pelo acordo firmado entre mais de cento e sessenta países durante a Conferência das Partes (COP24).

O biogás é um biocombustível gerado durante a decomposição de matéria orgânica na ausência de oxigênio, sendo flexível em suas aplicações assim como o gás natural, com a diferença de que pode ser obtido de forma renovável (BLEY Jr., 2015). O metano é o principal (50-70%) composto do biogás e possui potencial de aquecimento global cerca de vinte e uma vezes superior ao do dióxido de carbono. No entanto, durante sua queima o metano é transformado em dióxido de carbono e água, reduzindo significativamente o impacto climático negativo e tornando, com isso, lucrativa a atividade de processar resíduos (WBA, 2019).

Estes aspectos fazem do biogás uma inovação de importância estratégica para todos os países. Para o Brasil a importância é ainda maior quando observadas suas características, um país em desenvolvimento com extensa população e forte economia agrícola, que ainda possui problemas com emissões, resíduos, energias e fertilizantes (EPE, 2018).

Embora o biogás seja uma solução, o Sistema Tecnológico de Inovação do Biogás Brasileiro (STIBB) ainda dá seus primeiros passos em direção a um crescimento que pode vir a ser exponencial (MILANEZ et al., 2017; OLIVEIRA; NEGRO, 2019). A visão sistêmica é uma forma de observar o mundo em termos de conexões e padrões para entender como o comportamento de um sistema emerge, o que permite observar sistemas inteiros, ao invés de simplesmente observar suas partes (SENGE, 2018).

A análise de um Sistema de Inovação (SI) possibilita identificar obstáculos sistêmicos que possam dificultar o desenvolvimento e difusão de algum tipo de inovação (NEGRO; ALKE-MADE; HEKKERT, 2012). Esta análise abrange as atividades que contribuem para o desenvolvimento, aplicação e disseminação de novos conhecimentos tecnológicos, também conhecidas como "funções dos sistemas de inovação"(BERGEK et al., 2008). Um SI pode ser acessado para derivar recomendações políticas, por exemplo com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de um campo tecnológico específico (NEGRO; HEKKERT, 2008).

Assim o objetivo deste artigo é buscar o padrão funcional em que opera o STIBB, para fundamentar uma análise sobre o seu desenvolvimento, propondo questões políticas que possam acelerar a difusão do biogás na matriz energética. Partindo do pressuposto que muitos projetos

de energia em países em desenvolvimento falham, não por razões tecnológicas ou econômicas, mas porque os projetos ignoram ou simplificam as relações culturais existentes no contexto de implementação (TIGABU; BERKHOUT; BEUKERING, 2015).

Este artigo foi dividido em cinco partes: a primeira corresponde a presente introdução, a segunda aborda a teoria dos SI, a terceira apresenta os procedimentos metodológicos, a quarta exhibe os resultados da análise e por fim a quinta parte apresenta as conclusões.

## 2 TEORIA DOS SISTEMAS DE INOVAÇÃO

A teoria dos SI é um exemplo de lente teórica que busca entender as relações de interdependência entre diferentes atores, redes e instituições, com a intenção de promover mudanças transformativas para padrões mais socialmente desejados em sistemas sociotécnicos (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991). Sistemas sociotécnicos consistem de conjuntos de elementos integrados que tem por objetivo o cumprimento das funções sociais, como por exemplo transporte, fornecimento de água, alimentos e energia, gerenciamento de resíduos e entre outros (GEELS, 2005). São sistemas complexos compostos de várias partes interdependentes e relativamente autônomas.

Um sistema pode ser conceituado como um conjunto de elementos (por exemplo pessoas, células, instituições e entre outros) interconectados em uma forma na qual eles produzem o próprio padrão de comportamento ao longo do tempo. O sistema pode ser polido, restrito, acionado ou dirigido por forças externas. Mas a resposta a essas forças é característica do próprio sistema, e essa resposta raramente é simples no mundo real. Um sistema então é mais do que a soma de suas partes, pois estas partes estão interconectadas em estruturas complexas (MEADOWS, 2008).

A base do pensamento sistêmico por trás desta teoria é, portanto, ver "totalidades": investigando sistemas inteiros dentro de um limite, entendendo seus componentes, funções, e interconexões (SENGE, 2018). Estes sistemas são constituídos de laços de reforço e balanceamento, auto-organização e hierarquias (MEADOWS, 2008): Laços são cadeias de conexões causais que podem ser fontes de estabilidade e instabilidade, assim como de continuidade e descontinuidade ou resistência à mudança. Laços positivos tendem a reforçar ou ampliar o que está acontecendo no sistema. Laços negativos neutralizam e se opõem esta ampliação com o intuito de balancear o sistema; Auto-organização descreve a capacidade de sistemas de se estruturar para aprender, diversificar, e tornar-se mais complexo ao longo do tempo. Contudo, a auto-organização também tende a criar resiliência para mudanças radicais, pois os sistemas tendem a manter coerência em suas funções; e, Hierarquia refere-se aos arranjos entre sistemas, subsistemas e seus componentes. A troca ou "trade-off" entre autonomia e coordenação em sistemas hierárquicos é complicado, potencialmente restringindo ou fomentando subsistemas específicos.

A junção da teoria institucional com a economia evolucionária culmina na formulação da teoria dos SI, a ideia central destes sistemas é que a inovação e a difusão de tecnologias são ao mesmo tempo uma ação individual e coletiva, refere-se "a rede de instituições dos setores público e privado cujas atividades e as interações iniciam, importam, modificam e difundem novas tecnologias" (FREEMAN; SOETE, 1997; EDQUIST, 1997). Estes sistemas consideram que a mudança tecnológica é um processo não linear, complexo, dinâmico, interativo e multidirecional, formados pelas diversas interações, entre atores, agentes públicos e privados que lidam com ciência, tecnologia e inovação, com o objetivo de promover o desenvolvimento e a difusão de inovações (MALDONADO; GROBBELAAR, 2019).

A inovação é um processo incorporado socialmente e que envolve esforços interativos (EDQUIST, 1997). A geração, introdução no mercado e a adoção de uma nova tecnologia são processos inter-relacionados, que são determinados pelos esforços de nível individual, bem

como ação e interação de outros atores envolvidos ou não no mercado, assim como de instituições (JACOBSSON, 2008).

A abordagem dos SI ainda utiliza de diversas lentes para análise de sistemas complexos, buscando aprofundar em níveis como a nível nacional (DOSI et al., 1988; LUNDVALL, 1992), nível regional (COOKE; URANGA; ETXEBARRIA, 1997) e nível setorial (MALERBA, 2002) ou aprofundar em uma tecnologia específica (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991; WIECZOREK; HEKKERT, 2012).

A dinâmica da inovação é composta por três fases: a invenção, como uma ideia potencialmente aberta para a exploração comercial; a inovação (exploração comercial) e a difusão, como a propagação de novos produtos e processos pelo mercado (SCHUMPETER, 1985). A teoria da inovação considera que embora os aspectos tecnológicos de uma inovação são importantes, eles são apenas uma parte do mecanismo que opera a difusão de tecnologias. Outros fatores, tais como regulamentos, estruturas de atores de apoio e suas atividades, normas, valores, preferências, estrutura de mercado, também induzem ou bloqueiam o desenvolvimento, disseminação e utilização de inovações (GEELS, 2002).

A difusão é o processo pelo qual uma inovação é comunicada ao longo do tempo entre os participantes de um sistema social, como são os sistemas sociotécnicos. Portanto o processo consiste de quatro elementos chave: grau de inovação, canais de comunicação, tempo e o sistema social (ROGERS, 2003).

Um importante desenvolvimento teórico na última década é que um SI executa certas funções, que são essenciais para alcançar seu objetivo final, ou seja, desenvolvimento, difusão e utilização de uma tecnologia (JACOBSSON, 2008; HEKKERT et al., 2007).

A análise de um SI possibilita identificar obstáculos sistêmicos que possam dificultar o desenvolvimento e difusão de algum tipo de inovação (NEGRO; ALKEMADE; HEKKERT, 2012). Esta análise abrange as atividades que contribuem para o desenvolvimento, aplicação e disseminação de novos conhecimentos tecnológicos em um SI, também conhecidas como "funções dos sistemas de inovação".

Neste sentido, (HEKKERT et al., 2007) e (BERGEK et al., 2008) propõem uma ferramenta analítica para avaliar a situação atual e o desempenho de Sistemas Tecnológicos de Inovação (STI). Esta ferramenta envolve o mapeamento de sete determinantes da inovação, conhecidas como "funções", e possibilita a análise sistemática do STI. Através desta análise, são identificados os componentes estruturais que formam o sistema e avaliados os desempenhos das funções - e de suas relações de interdependência - para o desenvolvimento da tecnologia.

### **3 METODOLOGIA**

Seis passos são propostos por (BERGEK et al., 2008) para a análise de um STI. O primeiro envolve a escolha do STI que será explorado. No segundo passo, os componentes estruturais do STI (atores, redes e instituições) são identificados. No passo seguinte, os sete processos-chave (funções) são usados para descrever o que está acontecendo no STI. O quarto passo envolve avaliar o quão bem as funções são cumpridas e a definição de metas do processo em termos de um padrão "desejado". No passo seguinte, são identificados os mecanismos que induzem ou bloqueiam o desenvolvimento do STI em direção ao padrão funcional desejado. Finalmente, no sexto passo, as principais questões políticas relacionadas a esses mecanismos de indução e bloqueio são especificadas.

Este artigo apresenta o desenvolvimento dos três primeiros passos da metodologia, buscando associar atividades as funções de análise com o objetivo de mapear o comportamento dinâmico do STI do biogás. As atividades que caracterizam as funções são apresentadas na Figura 2.

Figura 1: Funções do SI e atividades correspondentes.

<b>Função</b>	<b>Atividades indicadoras</b>
<b>Atividades empreendedoras</b>	Fabricação e/ou instalação de tecnologia Entrada de firmas ou empresas
<b>Desenvolvimento de conhecimento</b>	Realização de pesquisas de mercado/viabilidade Desenvolvimento de materiais de promoção Desenvolvimento de novos protótipos Testes de performance de modelos Desenvolvimento de tecnologias complementares Acesso a tendências de combustíveis Acesso das tendências da biomassa Acesso de matérias primas para tecnologia Conduzir estudos de impacto
<b>Difusão de conhecimento por redes</b>	Treinamentos para técnicos e usuários Condução de campanhas de sensibilização Organização de eventos, seminários e conferências Demonstrações e exposições da tecnologia
<b>Orientação de pesquisa</b>	Definição de metas Desenvolvimento de regulações e políticas Definir expectativas Providenciar premiações Publicar resultados de pesquisas
<b>Formação de mercado</b>	Subsídios (dividindo os custos de investimento) Padronizações Incentivos em forma de redução de impostos Reforma de regulamentações Procurações públicas
<b>Mobilização de Recursos</b>	Providenciar incentivos financeiros (financiamento) Providenciar empréstimos (crédito) Mobilizar recursos humanos, consultores e técnicos Providenciar melhores equipamentos
<b>Criação de legitimidade</b>	Conduzir atividades de Lobby

Fonte: Adaptado de (TIGABU et. al, 2015)

A coleta de dados foi realizada por documentação indireta. Optamos por não se concentrar em seguir todos os agentes individuais ou projetos de inovação do sistema, mas eventos relevantes em nível sistêmico. As fontes utilizadas incluem, além de artigos acadêmicos, materiais não revisados por pares.

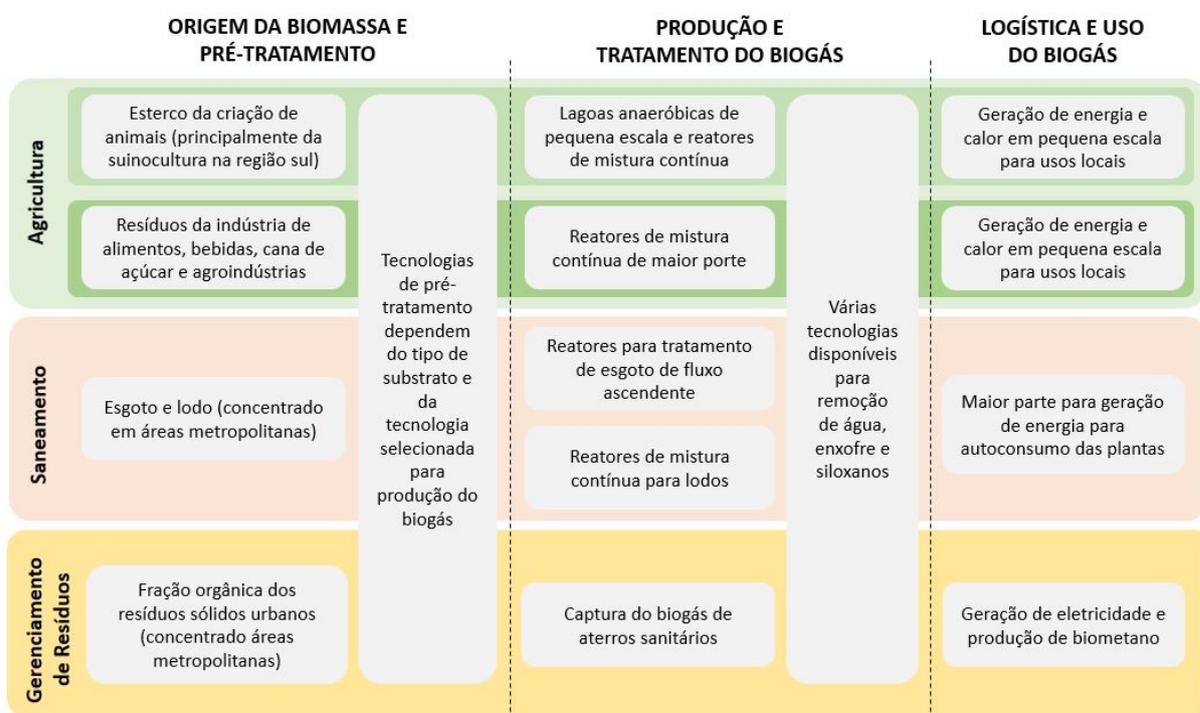
Os materiais não revisados por pares incluem relatórios de instituições, associações e empresas públicas brasileiras. Principalmente os associados ao Ministério de Minas e Energia (MME), como Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Empresa de Pesquisa Energética (EPE), mas também outros como, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Associação Brasileira de Biogás e Biometano (Abiogás), Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (ABEGÁS), também incluem relatórios de instituições internacionais como o Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás (CIBiogás) e da *World Biogás Association (WBA)*.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Definição do STI analisado

O sistema estudado é restringido ao nível nacional e as tecnologias associadas ao biogás, portanto usa-se a lente dos Sistemas Tecnológicos de Inovação. As tecnologias associadas variam em três grandes segmentos: i) origem e logística da biomassa; ii) produção e tratamento do biogás; iii) distribuição e utilização. Assim os modelos de negócios permanecem locais e altamente personalizados (TSVETKOVA; GUSTAFSSON, 2012). Que promovem um leque de oportunidades no âmbito brasileiro, os que vem ganhando destaque se referem a quatro rotas tecnológicas: o gerenciamento de resíduos urbanos, de resíduos da agricultura, principalmente da suinocultura e das industria de bebidas, alimentos e cana de açúcar, como mostra a Figura 2 (OLIVEIRA; NEGRO, 2019).

Figura 2: Principais rotas tecnológicas do biogás no Brasil.



Fonte: Adaptado de (OLIVEIRA; NEGRO, 2019).

### 4.2 Componentes estruturais e evolução

Os TIS possuem três elementos estruturais - atores, redes e instituições. Atores são públicos ou privados, organizações governamentais ou não governamentais envolvidas no desenvolvimento, divulgação e adoção de uma tecnologia particular (JACOBSSON, 2008). Redes são canais de comunicação que facilitam o intercâmbio de informação e conhecimento entre os atores. Instituições são regras formais e informais que orientam as ações e interações dos intervenientes no SI (TIGABU; BERKHOUT; BEUKERING, 2015). Os principais atores são destacados na Figura 3, como resultado de uma pesquisa que abordou a difusão do biogás por outra lente teórica a Perspectiva Multinível (DURÃO, 2017).

Segundo Oliveira (2019) o Brasil já passou por quatro fases relacionadas ao SIBB que resumem a sua evolução, cada fase foi influenciada pela relação maior com o contexto global, como buscamos resumir a seguir:

Figura 3: Principais agentes relacionados ao biogás no Brasil.

Fornecedores de matéria prima	Produtores de biogás	Consumidores de biogás	Associações	Centros de Pesquisa	Eventos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Setor sucroenergético</li> <li>• Aterros sanitários</li> <li>• Granjas de suínos e aves</li> <li>• Indústria de alimentos e bebidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geoenergética</li> <li>• Ecometano</li> <li>• Aterro de Gramacho</li> <li>• CSBioenergia</li> <li>• Methanum</li> <li>• Solvy</li> <li>• Termoverde Caieras</li> <li>• Jmalucelli Ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colombari</li> <li>• Ecocitrus</li> <li>• Reduc</li> <li>• Unibanco/Itau</li> <li>• Itaipu</li> <li>• Termoverde Caieras</li> <li>• Aterro São João</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abiogás</li> <li>• ABBM</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CIBiogás</li> <li>• EMBRAPA</li> <li>• Universidades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fórum do Biogás</li> <li>• Seminário técnico do Biogás</li> </ul>

Fonte: (DURÃO, 2017)

- A primeira fase (1979-1986) - Começo do biogás

. Ocorre como consequência do contexto econômico da época de crises como o aumento do preço do petróleo e a subsequente necessidade de encontrar fontes locais de energia, mas também por uma pressão por serviços sanitários. Nesta época cerca de três mil biodigestores foram instalados com recursos federais, em locais como por exemplo na granja do torto em Brasília;

- A segunda fase (1987-2002) - Decaimento do biogás

Acompanhada de contextos turbulentos, os preços do petróleo retrocedem, uma nova constituição é estabelecida, ocorre a liberalização dos mercados, a lei de concessões, o álcool ganha presença na matriz energética do país, contextos que acabaram se sobrepondo ao interesse pelo biogás.

- A terceira fase (2003-2011) - Era dos créditos de carbono para o biogás

Esta fase incorpora soluções significativas relacionadas a manutenção do meio ambiente a partir de reformas em políticas de ciência e tecnologia, energia, gás natural e resíduos. Além disso esta é a fase onde os índices econômicos do país estavam elevados e o protocolo de Quioto intensificava o mercado de créditos de carbono. Estes contextos criaram maior estabilidade para experimentação com biogás, quando o país começa a explorar diferentes rotas tecnológicas para sua produção, como em aterros e na suinocultura.

- A quarta fase (2012-2016) - Estruturando o campo do biogás

Finalmente nesta fase são criadas estruturas importantes para o biogás, como o Centro Internacional do Biogás (CIBiogás) e a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás) além de regras para geração distribuída, parcerias com outros países, leis estaduais para o biogás, valorização do digestato como fertilizante, reconhecimento do biometano pela ANP e também foram instauradas as regras para geração distribuída. Contudo, esta fase enfrentou diversos problemas que dificultaram a difusão do biogás, como os preços do petróleo caindo novamente, o país entrando em crise econômica e política, a dependência da energia hidráulica é sentida nos preços da energia elétrica. Esta fase mesmo com avanços em regulamentações e instituições, foi freada pelo contexto econômico.

### 4.3 Comportamento funcional

Esta seção busca caracterizar as sete funções do STIBB, cada função é brevemente explicada antes de apresentar as informações coletadas sobre seu desempenho.

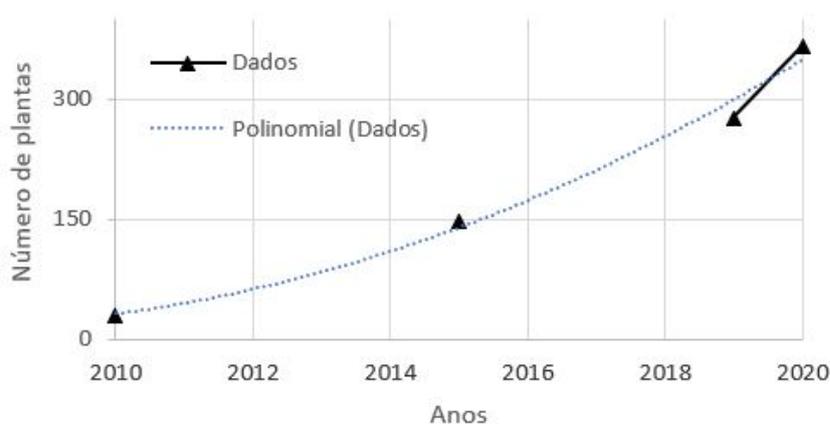
#### 4.3.1 Atividades empreendedoras

O papel do empreendedor é transformar o potencial do desenvolvimento de novos conhecimentos, redes e mercados em ações concretas para gerar e aproveitar as oportunidades de negócios. Um STI evolui sob consideráveis incertezas em termos de tecnologias, aplicações e mercados. Do ponto de vista social, a principal força para reduzir a incerteza é a experimentação empreendedora. Esta experimentação gera um processo de aprendizagem social sobre a tecnologia e implica uma pesquisa de novas tecnologias e aplicações onde os empresários inerentemente falham ou obtêm sucesso (BERGEK et al., 2008; KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998)

Os modelos de negócio de produção de biogás são locais e altamente personalizados. O iniciador deste negócio pode ser um município, uma empresa industrial, um fazendeiro ou qualquer ator que esteja interessado na energia derivada do biogás. Nesse caso, o desenvolvimento da solução perpassa três etapas de planejamento, iniciando pelo mapeamento das quantidades potenciais de biomassa, planejamento do processo de produção de biocombustível, que envolve a seleção de tecnologia, como reatores de fermentação (biodigestores), aterros sanitários (sem biodigestores) e estações de tratamento de efluentes, cada um terá um modelo de negócio específico, dependendo também ainda da previsão da demanda pelo combustível (TSVETKOVA; GUSTAFSSON, 2012).

Esta função começou a se desenvolver durante a terceira fase do STIBB, porém o primeiro levantamento do número de plantas produtoras ocorreu em 2015, indicando que o país possuía 147 plantas produtoras de biogás. Já em 2018 o número de plantas aumentou para 276, com outras 90 previstas para entrar em operação nos próximos anos, como ilustra a Figura 4. A produção estimada em 2018 era de 3,1 milhões de m<sup>3</sup>/dia de biogás, já quando as 366 estiverem em operação a produção estimada irá para 4,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia (equivalente a 3 milhões de litros de gasolina).

Figura 4: Evolução do número de plantas de biogás no Brasil.



Fonte: Elaborado pelos Autores

O sucesso de plantas como das empresas CS Bioenergia licenciada para tratamento de lodo de esgoto no Paraná, a Biogás Bonfim realizando tratamento de resíduos da cana de açúcar

e primeira vencedora de um leilão de energia elétrica na modalidade A-5 em 2016, a Ecometano no Rio de Janeiro utilizando biogás de aterro sanitário, a Ecocitrus que gera energia a partir de resíduos agrossilvopastoris de uma cooperativa, além destes o condomínio familiar Ajuricaba que produz energia localmente juntando os resíduos de 33 propriedades rurais com uma rede de distribuição de gás entre eles, são exemplos de sucesso que se adequam ao que a literatura chama de empreendedores construtores do sistema (DURÃO, 2017).

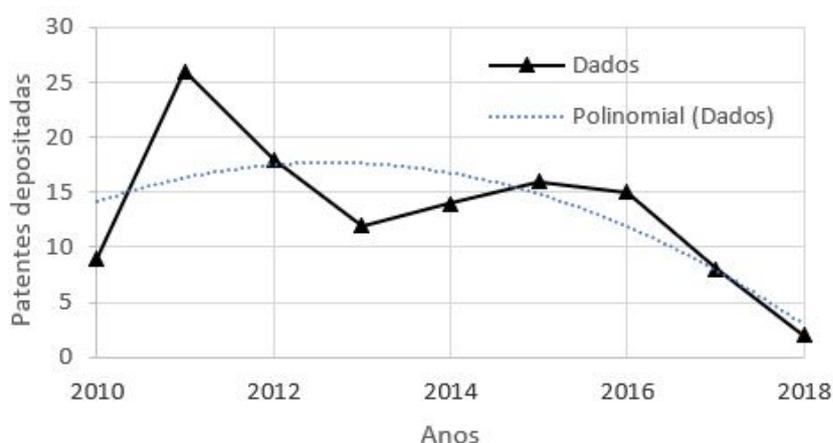
Um caso recente refere-se a usina Cocau com um projeto de investimento na ordem de 160 milhões de reais no interior de São Paulo, que irá produzir biometano proveniente dos resíduos da cana de açúcar, vender a distribuidora de gás natural que enviará para cidades relativamente próximas. O projeto é único por se tratar de uma rede isolada, desconectada da malha principal da distribuidora e ainda abastecida com gás renovável.

### 4.3.2 Desenvolvimento de conhecimento

O desenvolvimento de conhecimento envolve os vários tipos de aprendizagem possíveis, que incluem aprender pesquisando, fazendo, usando e interagindo. Esta função considera que a base de conhecimento global do STI evolui em relação ao STI local em termos de conhecimento (BERGEK et al., 2008).

Em consulta ao banco de dados do CNPq, atualmente 40 projetos de pesquisa estão envolvidos com o STIBB. Um projeto que merece destaque por tratar da relação do biogás com os sistemas de inovação em termos de conhecimento e não de um tema técnico: "Gestão da transição sociotécnica para energias renováveis a partir de biogás na perspectiva do cooperativismo" com coordenação na Universidade Positivo no Paraná. Pode-se também visualizar o comportamento desta função pela evolução do número de patentes depositadas no Instituto Nacional de Propriedade Industrial, como mostra a Figura 5.

Figura 5: Evolução das patentes depositadas no INPI sobre biogás.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Por parte dos pesquisadores, novas tecnologias precisam ser adaptadas para as realidades brasileiras, estudos sobre os potenciais de cada região, e também sobre o efeito de novas políticas como a nova lei de biocombustíveis (MARIANI, 2018).

### 4.3.3 Difusão de conhecimento através de redes

Esta função abrange como o conhecimento é difundido e combinado no sistema. A difusão do conhecimento é essencial entre as redes que envolvem o STI (CARLSSON; STANKIEWICZ, 1991), e deve se estender em um sentido amplo, onde as atividades de pesquisa e desenvolvimento devem servir ao governo, aos competidores e ao mercado. Desta forma, as decisões políticas (padrões e metas de longo prazo) devem ser consistentes com alinhamentos e descobertas recentes sobre a tecnologia, enquanto as mudanças nos padrões e valores afetam o planejamento de pesquisa e desenvolvimento (HEKKERT et al., 2007).

O conhecimento é fundamental para o desenvolvimento de novos projetos, não somente pela parte do empreendedor em desenvolver modelos de negócios eficientes, como também de técnicos, engenheiros e pesquisadores sujeitos a novos paradigmas. Um grande passo neste sentido foi resultado do programa PROBIOGÁS em 2015 como resultado da cooperação entre o Ministério das Cidades<sup>1</sup> e a instituição GIZ da Alemanha, que culminou na formulação de diversos materiais públicos a respeito da fonte.

Um dos grandes promotores das redes de biogás é o Parque Tecnológico Itaipu (PTI), que fomentou a formação do CIBiogás junto a EMBRAPA, que promovem cursos e treinamentos, tanto presenciais como a distância para os interessados na geração e utilização de biogás.

O fraco cumprimento desta função implica em falta de mão de obra, licenciamentos demorados, dificuldades em acessar linhas de crédito e entre outros. O conhecimento também passa a ser necessário para dar condições aos produtores de participar de mercados repletos de regulamentos como o de energia elétrica e de gases.

Diversos grupos começaram a se formar e promover esta função, por exemplo a Associação Brasileira do Biogás instituída em 2013 (ABiogás). De forma concomitante eventos de nível nacional e internacional começaram a moldar esta função, os dois maiores exemplos são: o Fórum do Biogás em sua quinta edição e o Fórum Sul Brasileiro de Biogás e Biometano (FSBBB) em sua terceira edição.

Outro exemplo é a Rede BiogásFert parte do plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC) do ministério da Agricultura que busca oferecer para a sociedade soluções tecnológicas para a produção e uso integrados de biogás e biofertilizantes a partir de dejetos animais nos diferentes sistemas de produção agropecuários.

### 4.3.4 Orientação de pesquisa

A orientação da pesquisa refere-se às atividades dentro do sistema de inovação que podem afetar positivamente a visibilidade, desejos e compreensão dos usuários da tecnologia (HEKKERT et al., 2007). Esta função representa a combinação de incentivos e pressões, que devem ser suficientes para induzir as organizações a entrarem no STI. Além disso, esta função engloba mecanismos que influenciam a direção da pesquisa dentro do STI em termos de tecnologias concorrentes, aplicações, mercados, expectativas e entre outros (BERGEK et al., 2008).

Esta função pode ser associada a um setor emergente por meio das pesquisas relacionadas ao potencial do país, estimado entre 54 e 136 milhões de m<sup>3</sup>/dia (ABIOGÁS, 2015; SANTOS et al., 2018). Estimativas mais pontuais para os contextos regionais também são necessárias para orientar as comunidades como por exemplo fez o estado do Paraná (FERREIRA et al., 2018).

Segundo o Plano Nacional do Biogás e Biometano, a ciência brasileira do biogás, ainda que já desenvolvida por centros de pesquisa, algumas universidades e institutos, não conseguiu ainda se legitimar e ganhar relevância na sociedade. Talvez a versatilidade do biogás, pela

---

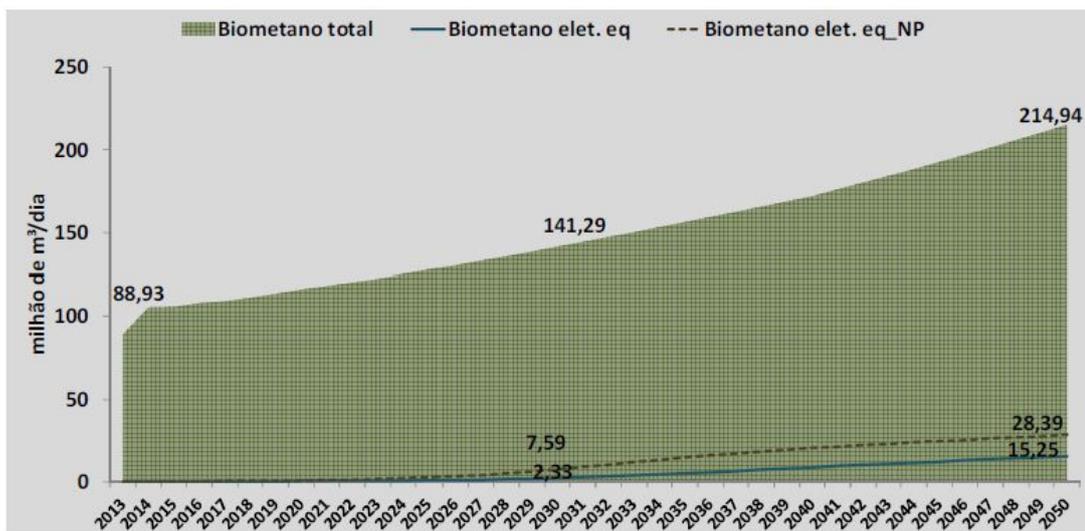
<sup>1</sup> Agora faz parte do Ministério do Desenvolvimento Regional

possibilidade de diferentes configurações produtivas serem possíveis, em diferentes contextos, possa significar um desafio para que a pesquisa sobre ele se consolide em algo centralizado e robusto. As iniciativas de pesquisa e desenvolvimento ainda dificilmente se articulam, compartilham os resultados obtidos, atuando mais de forma isolada para benefício de um contexto específico para o desenvolvimento da fonte, do que pensando em um sistema maior e articulado (ABIOGÁS, 2015).

Ademais o Brasil não possui metas relacionadas ao biogás, durante a COP21 o país se comprometeu em promover as energias renováveis e a biomassa, mas não especificou a participação do biogás por exemplo. Ainda sobre a consolidação de dados sobre a fonte, ação importante para o melhor estabelecimento de políticas públicas, não há uma instituição de referência sobre o setor na esfera pública que consolide informações e estatísticas atualizadas sobre o biogás no país (BLEY Jr., 2015).

Uma estimativa, mas não como meta, foi publicada pela EPE como parte do plano de energia para 2050. Em termos de biometano a empresa aponta que em 2030 o país deve produzir entre 2,33 e 7,59 Milhões de m<sup>3</sup>/d, como mostra a Figura 6, a empresa ainda argumenta uma fase de aceleração do biogás na matriz energética é esperada somente depois que uma série de regulamentações e conhecimento tenham sido efetivamente instaurados após 2030 (EPE, 2018).

Figura 6: Evolução do potencial de biometano no Brasil.



Fonte: (EPE, 2018)

#### 4.3.5 Formação de Mercado

Para um STI emergente ou em processo de transformação, os mercados podem não existir, os clientes potenciais podem não ter articulado sua demanda ou não conseguirem fazê-lo, a relação preço/desempenho da nova tecnologia pode ser inibitiva e as incertezas podem prevalecer em muitas dimensões (BERGEK et al., 2008). Além disso, novas tecnologias muitas vezes têm dificuldade em competir com tecnologias tradicionais. Consequentemente, é importante criar espaços protegidos, entre os quais uma possibilidade relevante é a formação de mercados de nicho temporários para aplicações específicas da tecnologia (KEMP; SCHOT; HOOGMA, 1998).

Em âmbito de mercado o biogás é principalmente comercializado já como energia elétrica ou como biometano. Portanto as instituições são os que viabilizam estes mercados, por exemplo, distribuidoras e agências reguladoras. Estes agentes devem agir em conjunto para

acentuar o desenvolvimento do STIBB, fornecendo viabilidade econômica aos produtores de biogás.

O modelo de comercialização de energia do Brasil foi instaurado em 2004 e dividiu a contratação de energia elétrica em dois mercados: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL), que ocupam 75 e 25%, respectivamente, de toda a carga do Sistema Interligado Nacional (SIN). No ACR, onde as operações de compra e venda ocorrem por meio de leilões baseados nos menores critérios de preço, apenas as empresas de distribuição de energia podem participar, já no ACL o contrato é realizado diretamente entre produtor e consumidor, mediante o cumprimento de algumas regras, como por exemplo, possuir um padrão mínimo de consumo e realizar pagamento de uma Taxa de Utilização do Sistema de Distribuição (TUSD) (LEUSIN, 2018).

Com a privatização do setor, os negócios de geração, transmissão e distribuição passaram a ser separados. Além disso desde 2012, os distribuidores podem contratar ainda até 10% da sua demanda por meio da Geração Distribuída (GD)<sup>2</sup>. Assim o consumidor, podendo gerar sua própria energia, evolui de uma posição passiva para ativa no setor elétrico. Atualmente a GD compreende um sistema de compensação (*net metering*), um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora em GD com Microgeração (até 100kw) ou Minigeração (até 1MW) distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade.

No entanto, o escopo da GD inclui o repasse dos custos de aquisição às tarifas finais dos consumidores, sendo também limitadas por um Valor Anual de Referência Específico (VRES) estipulado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e calculado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Em 2014 o preço máximo de compra de energia elétrica proveniente do biogás pelo VRES era de R\$169,00/MWh em 2018 este valor passou para R\$390,00/MWh, um pouco abaixo ainda da solar fotovoltaica com VRES de 454R\$/MWh. A Figura 8 ilustra por unidade federativa quantas unidades em GD por biogás o Brasil possui.

Para o mercado de comercialização de biometano, as interconexões formadas são ainda mais recentes. Regulamentado como combustível em 2015 pela ANP<sup>3</sup> o biometano começou assim a poder incorporar a cadeia do gás natural. O mercado de gás não é livre como o de energia elétrica, o monopólio no processamento e carregamento da rede ainda é da Petrobras, além disso, ela administra a maioria dos campos de gás, gasodutos, termelétricas, transportadoras, distribuidoras e revendedoras do combustível.

Portanto eventuais chamadas públicas para aquisição de biometano como parte da rede de gás canalizado geralmente precisam do consentimento deste agente, e também de regulamentações das Agências Reguladoras dos estados para incorporar os custos nas tarifas de distribuição, como já ocorre em alguns estados como São Paulo e Rio Grande do Sul. Já para distribuir biometano como Gás Natural Comprimido (GNC), as distribuidoras locais não precisam ser envolvidas, configurando um mercado livre.

#### **4.3.6 Mobilização de recursos**

À medida que um STI evolui, é necessário mobilizar uma série de recursos, abrangendo tanto recursos financeiros quanto humanos, para possibilitar o desenvolvimento das atividades neces-

<sup>2</sup>A modalidade foi instaurada por meio da Resolução Normativa (REN) nº 482, e atualizada em 2015 pela REN nº 687 da ANEEL

<sup>3</sup>A qualidade do biometano é regulamentada por meio da Resolução ANP nº 8/2015 e da Resolução ANP nº 685/2017

Figura 7: Biogás em GD no Brasil.

Tipo	UF	nº Unidades
Biogas - RA (Total: 12,17MW)	MG	53
	SC	14
	GO	8
	SP	7
	MT	3
	DF	2
	ES	2
	MS	1
	RS	1
	Biogas - Floresta (Total: 0,24MW)	MG
SC		1
TO		1
Biogás - RU (Total: 3,39MW)	MG	8
	PR	4
	PE	1
	RJ	1
	SP	1
Biogás - AGR (Total: 2,68MW)	MG	11
	MT	3
	PR	2
	RS	1
	TO	1
Total:		137

Fonte: Adaptado de (ANEEL, 2018)

sárias (HEKKERT et al., 2007). Esta função evolui à medida em que um STI é capaz de mobilizar competência/capital humano através da educação em domínios científicos e tecnológicos específicos, bem como no empreendedorismo, gestão e finanças, capital financeiro e outros recursos como produtos complementares, serviços, infra-estrutura de rede, etc (BERGEK et al., 2008).

Em 2012 a chamada de projeto de Pesquisa e Desenvolvimento estratégico da ANEEL nº 014/2012, buscou a efetividade dos investimentos na geração de energia oriunda de biogás para “financiamento/execução” por empresas de energia elétrica. Empresas como Petrobras, Enel, Neoenergia, CPFL, CHESF, CELPE e Grupo CEEE, foram contempladas pela chamada e desenvolveram pesquisas sobre o biogás (DURÃO, 2017).

As linhas de financiamento existentes são inacessíveis para projetos de biogás e biometano, seja pela garantia exigida por elas, seja pela incompatibilidade de escopo entre o que as linhas financiam e o que propõem os projetos (ABILOGÁS, 2015). Por ser uma tecnologia ainda pouco disseminada no país, as instituições financeiras não possuem muito conhecimento sobre a fonte e suas especificidades.

#### 4.3.7 Criação de legitimidade/Combater a resistência a mudança

Para se desenvolver bem, uma nova tecnologia deve tornar-se parte de um esquema estabelecido, ou então suprimi-lo. Muitas vezes, atores com interesses diferentes se opõem a essa força de

”destruição criativa”(HEKKERT et al., 2007).

Neste caso, coalizões de defesa podem atuar como um catalisador: chamam a atenção para a tecnologia (função 3) e para a disponibilização de recursos e regimes fiscais favoráveis (função 5), criando legitimidade para uma nova trajetória tecnológica. Se bem sucedidas, as coalizões de defesa crescem em tamanho e influência, podendo induzir ao espírito de destruição criativa (HEKKERT et al., 2007).

A legitimidade do biometano inicia com as leis estaduais sobre a fonte, mas no nível federal as atividades de lóbi garantiram a inclusão deste gás na lei dos biocombustíveis (RenovaBio)<sup>4</sup>, que visa precificar os biocombustíveis de acordo com o cálculo da pegada de carbono do ciclo de vida de cada biocombustível. A implementação plena do RenovaBio está prevista para 2020, utilizando como ferramentas: i) as adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis; ii) os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; iii) os Créditos de Descarbonização (CBIO), a serem emitidos por banco ou instituição financeira contratados, e negociáveis em mercados organizados, inclusive leilões; e iv) a Certificação da Produção Eficiente (energética-ambiental) de Biocombustíveis, com base na diferença entre a intensidade de carbono do combustível fóssil substituto e a intensidade de carbono estabelecida no processo de certificação pelas firmas inspetoras, organismos credenciados.

O biometano por apresentar nas estimativas realizadas até o momento, emissão negativa de dióxido de carbono deverá ser considerado com a pegada zero. Embora seja um grande avanço, este mecanismo é questionado por incentivar mais os grandes produtores de biogás que possam arcar com os custos de investimento e certificação envolvidos (MARIANI, 2018).

## 5 DISCUSSÃO

Mesmo com alguns exemplos de sucessão o STIBB requer novos entrantes que encorajem novos empreendedores a investir nesta inovação, além do determinante referente ao retorno de investimento, tem-se a necessidade de promover o conhecimento a respeito das tecnologias e das externalidades que faz do biogás estratégico para o país. Alguns aspectos observados durante a pesquisa são resumidos na Figura 8.

Embora hajam iniciativas em todas as funções, o biogás precisa ser tema de nível básico a superior como um tema multidisciplinar, principalmente por ser uma tecnologia que necessita de cooperação entre os produtores de resíduos e os produtores de biogás.

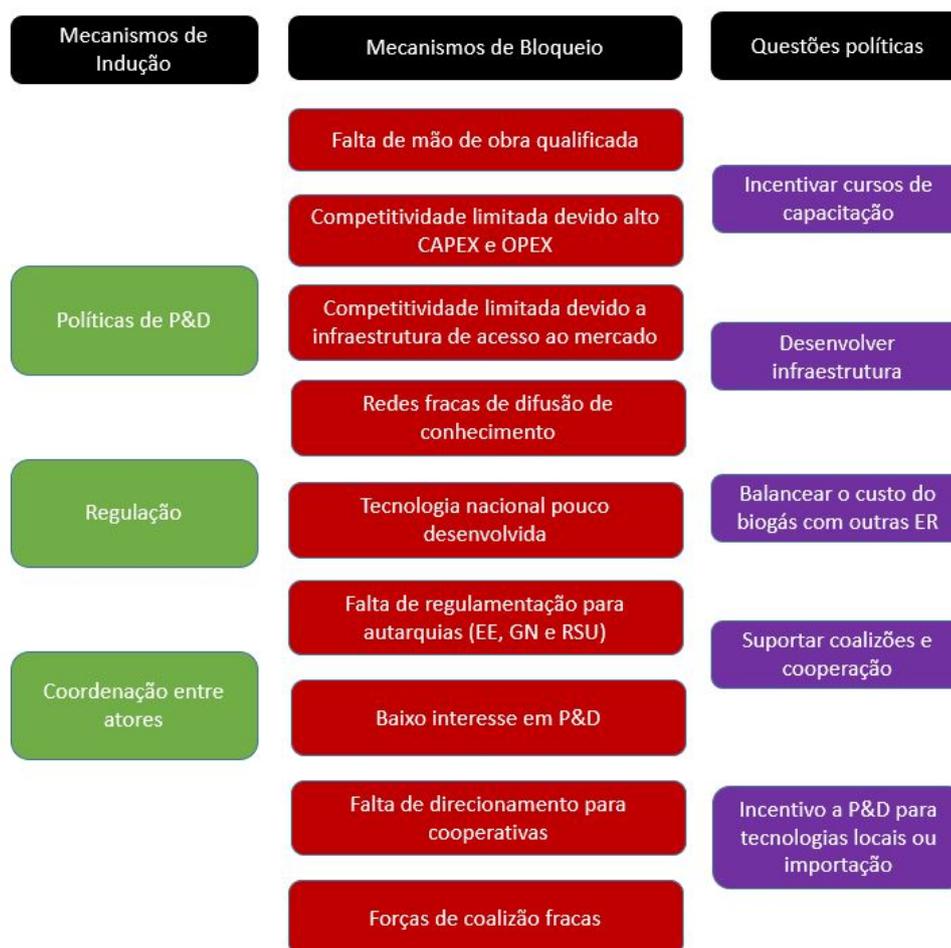
No entanto, é importante frisar que ainda não há um sólido conjunto de atores que possa influenciar a regulação e políticas públicas no Brasil e é importante que outras instituições e agentes atuem de forma alinhada. Muitas vezes o interesse de atores estabelecidos no regime incumbente pode ser decisivo na difusão de novas tecnologias e esse parece ser um dos caminhos para o desenvolvimento do biogás no país (DURÃO, 2017). Neste contexto existem ainda biodigestores de pequena escala ideais para pequenos produtores que possam utilizar a energia para cocção ou aquecimento, mas para este público desenvolver estes projetos, necessitam de conhecimento básico e interesse estratégico por parte da sociedade, enquanto em países com menor desenvolvimento isso já é uma realidade (TIGABU; BERKHOUT; BEUKERING, 2015).

As consultas indicaram o estado do Paraná como um laboratório de inovações, especialmente o PTI, que apontam para um novo modelo de desenvolvimento territorial, que se sustenta num tripé formado por: administrações municipais comprometidas com o aprimoramento da gestão pública; um setor privado dinâmico e empreendedor e uma forte mobilização de capital social, gerado principalmente pela tradição associativista e cooperativista das comunidades,

---

<sup>4</sup>Lei no 13.576 de dezembro de 2017

Figura 8: Mecanismos de indução e bloqueio. Fonte: Elaborado pelos autores.



exemplo para o desenvolvimento do STIBB em outros territórios nacionais.

Finalmente é constatada grande expectativa ao RenovaBio para promover a transição da fase de desenvolvimento da tecnologia para a de aceleração, quando a experimentação, o conhecimento e a tecnologia estarão mais estabelecidos. Porém, a fase de aceleração só deve ser percebida quando a maior parte dos médios e pequenos produtores adotarem a tecnologia.

## 6 CONCLUSÃO

Neste artigos exploramos os atores, redes e instituições que compõe o Sistema de Inovação do Biogás Brasileiro e o comportamento funcional deste sistema, como as três primeiras partes da análise deste sistema, ainda elaboramos um conjunto de mecanismos que servirão de auxílio para os passos seguintes da metodologia, a avaliação do cumprimento das funções e definição de metas, bem como a discussão dos mecanismos de indução e bloqueio e das questões políticas evidenciadas.

Os resultados parciais obtidos evidenciam que a produção de biogás conecta os sistemas de gestão de resíduos, produção de energia, alimentos e transporte pelos usos finais do processo de gerenciamento de resíduos: biogás e biofertilizante, o que requer análises aprofundadas nestes sistemas, a visão sistêmica precisa desta amplitude principalmente pela característica inicial do STIBB. A junção destes sistemas forma um invisível próprio, que confunde os limites mais tradicionais e, portanto, o biogás tem o potencial de mudar e fundir esses sistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIOGÁS. *Associação Brasileira de Biogás e Biometano: Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano - PNBB*. 2015.
- BERGEK, A. et al. Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, v. 37, n. 3, p. 407–429, 2008. ISSN 0048-7333.
- CARLSSON, B.; STANKIEWICZ, R. On the nature, function and composition of technological systems. *Journal of evolutionary economics*, v. 1 n.2, p. 93 – 118, 1991. ISSN 0936-9937.
- COOKE, P.; URANGA, M. G.; ETXEBARRIA, G. Regional innovation systems: Institutional and organisational dimensions. *Research Policy*, v. 26, n. 4, p. 475 – 491, 1997. ISSN 0048-7333.
- DOSI, G. et al. (Ed.). *Technical Change and Economic Theory*. Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant’Anna School of Advanced Studies, Pisa, Italy, 1988. Disponível em: <<https://EconPapers.repec.org/RePEc:ssa:lembks:dosietal-1988>>.
- DURÃO, J. V. *Transição para o uso do biogás no Brasil: análise baseada na perspectiva multinível*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Políticas Públicas, Estratégias e Desenvolvimento - PPED da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2017.
- EDQUIST, C. *Systems of Innovation: Technologies, Institutions and Organizations*. [S.l.: s.n.], 1997. ISBN 9781855674523.
- EPE. *Plano Decenal de Energia 2027*. [S.l.]: Empresa de Pesquisa Energética, 2018. 345 p.
- FERREIRA, L. R. A. et al. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 94, p. 440 – 455, 2018. ISSN 1364-0321.
- FREEMAN, C.; SOETE, L. *The economics of industrial innovation*. [S.l.]: Routledge, 1997.
- GEELS, F. Co-evolution of technology and society: The transition in water supply and personal hygiene in the netherlands (1850–1930)—a case study in multi-level perspective. *Technology in Society*, v. 27, n. 3, p. 363 – 397, 2005. ISSN 0160-791X.
- GEELS, F. W. Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, v. 31, n. 8, p. 1257 – 1274, 2002. ISSN 0048-7333.
- HEKKERT, M. P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 74, n. 4, p. 413–432, 2007. ISSN 0040-1625.
- JACOBSSON, S. The emergence and troubled growth of a ‘biopower’ innovation system in sweden. *Energy Policy*, v. 36, n. 4, p. 1491 – 1508, 2008. ISSN 0301-4215.
- KEMP, R.; SCHOT, J.; HOOGMA, R. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: The approach of strategic niche management. *Technology Analysis & Strategic Management*, Routledge, v. 10, n. 2, p. 175–198, 1998.
- LEUSIN, M. E. *Análise da difusão da tecnologia eólica no Brasil*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis - SC, 2018.
- LUNDVALL, B. Åke. *National Systems of Innovation: towards a Theory of Innovation and Interactive Learning*. [S.l.]: London: Printer Publishers, 1992.
- MALDONADO, M. U.; GROBBELAAR, S. Innovation system policy analysis through system dynamics modelling: A systematic review. *Science and Public Policy*, v. 46, n. 1, p. 28–44, 2019.
- MALERBA, F. Sectoral systems of innovation and production. *Research Policy*, v. 31, n. 2, p. 247 – 264, 2002. ISSN 0048-7333. Innovation Systems.
- MARIANI, L. *Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil*. 144 p. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas - SP, 2018.
- MARKARD, J.; RAVEN, R.; TRUFFER, B. Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, v. 41, n. 6, p. 955–967, 2012. ISSN 0048-7333.
- MEADOWS, D. *Thinking in Systems: a primer*. [S.l.]: Vermont: Chelsea Green Publishing, 2008.

- MILANEZ, A. Y. et al. Biogás de resíduos agroindustriais: Panorama e perspectivas. *BNDES Setorial*, v. 47, p. 221–276, 2017.
- NEGRO, S. O.; ALKEMADE, F.; HEKKERT, M. P. Why does renewable energy diffuse so slowly? a review of innovation system problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 16, n. 6, p. 3836 – 3846, 2012. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112002262>>.
- NEGRO, S. O.; HEKKERT, M. P. Explaining the success of emerging technologies by innovation system functioning: the case of biomass digestion in germany. *Technology Analysis Strategic Management*, v. 20, n. 4, p. 465–482, 2008. ISSN 0040-1625.
- OLIVEIRA, L. G. S. D.; NEGRO, S. O. Contextual structures and interaction dynamics in the brazilian biogas innovation system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 107, p. 462–481, 2019. ISSN 1364-0321.
- RAVEN, R. P. J. M. Implementation of manure digestion and co-combustion in the dutch electricity regime: a multi-level analysis of market implementation in the netherlands. *Energy Policy*, v. 32, n. 1, p. 29–39, 2004. ISSN 0301-4215.
- ROGERS, E. M. Book. *Diffusion of innovations*. [S.l.]: New York: Free press, 2003.
- SANTOS, I. F. S. dos et al. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 131, p. 54 – 63, 2018. ISSN 0921-3449.
- SCHUMPETER, J. A. *A teoria do desenvolvimento econômico*. [S.l.]: Nova Cultural, São Paulo, 1985.
- SENGE, P. M. *A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende*. 29. ed. [S.l.]: Rio de Janeiro: Best Sellers, 2018. ISBN 978-85-465-0109-0.
- BLEY Jr., C. *Biogás a energia invisível*. [S.l.]: Planeta sustentável, 2015.
- TIGABU, A. D.; BERKHOUT, F.; BEUKERING, P. van. The diffusion of a renewable energy technology and innovation system functioning: Comparing bio-digestion in kenya and rwanda. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 90, p. 331–345, 2015. ISSN 0040-1625.
- TSVETKOVA, A.; GUSTAFSSON, M. Business models for industrial ecosystems: a modular approach. *Journal of Cleaner Production*, v. 29-30, p. 246 – 254, 2012. ISSN 0959-6526.
- WBA. *World Biogas Association: Biogas - An important renewable energy source*. 2019. Disponível em: <<https://worldbioenergy.org/uploads/Factsheet\%20-\%20Biogas.pdf>>.
- WIECZOREK, A. J.; HEKKERT, M. P. Systemic instruments for systemic innovation problems: a framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, Beech Tree Publishing, v. 39, n. 1, p. 74 – 87, 2012. ISSN 0302-3427.