

EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

MICHELI QUADRI COSTA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

Palavras Chave

Hidrogênio verde, biogás, dinâmica de sistemas



EVOLUÇÃO DO HIDROGÊNIO VERDE NO BRASIL

Micheli dos Santos Quadri Costa¹

micheli.quadri@hotmail.com

+55 (41) 99627-7533

1. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Orientadora: Prof. Dra. Caroline Rodrigues Vaz

Co-orientador: Mauricio Uriona Maldonado

1. Introdução

As mudanças climáticas, riscos ambientais, as crescentes pressões sobre os recursos naturais, preocupações com a segurança do fornecimento de energia e aumento dos preços dos combustíveis estão entre as indicações de que a humanidade precisa se transformar (BREE et al., 2010; IEA, 2019a). Através dos quadros de políticas internacionais é possível identificar os impactos desses problemas, que incentivam contribuições para uma transição em busca de um desenvolvimento sustentável. Por meio desse direcionamento, pode-se garantir a continuidade de recursos ambientais para as gerações futuras, de forma que a melhoria da qualidade de vida, aliado ao uso de práticas sustentáveis para o manuseio de recursos naturais (ONU, 2019).

Após décadas sendo tratado como uma fonte de energia de grande potencial e disruptiva para o futuro, mas com significativos desafios tecnológicos e de mercado, o hidrogênio tornou-se um objetivo estratégico de governos e empresas em todo o mundo (EPE, 2021).

O hidrogênio pode ser utilizado diretamente como fonte de energia de baixo ou nulo carbono (a depender de seu processo de produção) em setores de difícil eletrificação e como vetor para armazenamento de energia, viabilizando maior entrada de renováveis variáveis como a eólica, a solar, etc. Nesse sentido, o hidrogênio é visto como um recurso com capacidade de promover o acoplamento dos mercados de combustíveis, elétrico, industrial e outros (EPE, 2021).

O uso de combustíveis fósseis também causou outras questões ambientais, como poluição do solo, da água e do ar (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2016). Além disso, as emissões de dióxido de carbono (CO₂), um dos gases do efeito estufa (GEE), somam um valor aproximado de 28% do total mundial (IEA, 2019b). Ainda, a queima de combustíveis fósseis também produz material particulado (MP), um dos indicadores principais da poluição atmosférica (HEI, 2019). Os avanços tecnológicos ao longo dos anos possibilitaram a utilização do petróleo como fonte energética nas mais diversas atividades, o que resultou em uma verdadeira corrida ao “ouro negro”, que se tornou o principal recurso energético do mundo. Em 2015, cerca de 87% da energia consumida no mundo era resultado da queima de combustíveis fósseis derivados do petróleo (VIANA; TAVARES; LIMA, 2015).

O uso sustentável dos recursos naturais visando a redução das emissões de GEE podem ser alcançados pelo desenvolvimento de um processo limpo para a geração de energia, baseado em combustíveis renováveis (DAHUNSI et al., 2017). Como forma de mitigar esses problemas e trazer soluções, apresentam-se as inovações tecnológicas através da utilização de bicompostíveis como o biogás (obtido através da digestão anaeróbica de biomassa) e o bioetanol como fonte de energia renovável podem ser interessantes, pois possibilitariam o fornecimento de energia com alta disponibilidade e previsibilidade (HOLM-NIELSEN et al., 2009; HAHN et al., 2014; MILTNER et al., 2017).

1.1 Problema da Pesquisa

A produção de biogás avançou em diversas frentes como, na melhoria dos processos de tratamento de resíduos sólidos e esgotos, no desenvolvimento de processos para digestão anaeróbica, na produção de calor e energia, na purificação do produto para compatibilizá-lo com as utilizações existentes de gás natural e na extração de químicos. Enquanto o predomínio dos combustíveis fósseis enfrenta cada vez mais, obstáculos como a volatilidade de preços e a tendência de diminuição na oferta, o biogás surge como uma das alternativas sustentáveis, complementando a economia circular e apresentando tecnologia em estágio avançado de escalonamento industrial. (MILANEZ et al., 2018).

Recentemente, o levantamento desenvolvido pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás, 2022) a produção de biogás no Brasil vem crescendo a cada ano e só em 2022 deve chegar a 2,8 milhões de Nm³ produzidos, reforçando que no último ano houve um

aumento de 10% no volume de biogás foi sentido, assim como a soma de todas as plantas no último ano registrou 2,3 milhões de Nm³.

As principais técnicas utilizadas para a obtenção de H₂ em larga escala promovem a reforma de hidrocarbonetos leves, especialmente o metano, um dos principais componentes do biogás (HOLLADAY, 2009). No entanto, várias dessas rotas produzem CO misturado com H₂, caracterizando o chamado "gás síntese", amplamente utilizado nas indústrias. Alcançar alta pureza H₂ a partir do gás de síntese é um processo relativamente caro, uma vez que tem que ser removido (GO, 2011). Em muitos estudos que abordam os processos de reforma, há uma ênfase em pesquisas em catalisadores para reduzir os custos e a energia envolvida.

Adicionalmente o Setor Elétrico Brasileiro tem enfrentado graves problemas físicos e comerciais nos últimos anos como por exemplo a desastrosa renovação das concessões através da Medida Provisória 579/2012, a falta de chuvas, a distorção da alocação das tarifas do setor, as alterações nos subsídios existentes, os atrasos na construção de projetos, os despachos térmicos desnecessários, a subcontratação e sobre contratação de distribuidoras e outras questões constituem o pacote de medidas que aumentaram as tarifas pagas pelos consumidores, além de variadas ações judiciais que questionam intervenções abruptas no setor (CRISPIM, 2017).

A evolução tecnológica já apresenta impactos diretos na competitividade e custos das fontes. Dentro das principais evoluções tecnológicas pode-se destacar o aumento da participação de fontes renováveis não convencionais na matriz brasileira, com elevada variabilidade no curto prazo, o potencial crescimento da geração distribuída de pequena escala, novas tecnologias como as baterias em larga escala (armazenamento) e o avanço nas tecnologias de medição de energia e comunicação (MME, 2017).

Considerando as metas de redução dos efeitos negativos ao meio ambiente, as possibilidades de complemento a matriz energética, e outros benefícios provenientes da produção do hidrogênio verde através da utilização das tecnologias do biogás, uma fonte em estágios iniciais de ascensão no Brasil, a questão que se pretende responder neste trabalho é: *como o hidrogênio verde pode contribuir para tecnologia do biogás?*

1.3 Objetivos

No sentido de responder à pergunta formulada na anteriormente, este trabalho será guiado por um objetivo geral e seu desdobramento em um conjunto de objetivos específicos, listados a seguir.

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é analisar a contribuição do hidrogênio verde na tecnologia do biogás nas próximas décadas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Levantar na literatura internacional e nacional como o hidrogênio verde cria relação com o biogás;
- Construir cenários da relação do hidrogênio verde em plantas de biogás;
- Analisar a viabilidade econômica da aplicação do hidrogênio verde nas plantas do biogás.

1.4 Justificativa

O aumento das emissões de GEEs, o aumento do consumo global, a poluição da água, a diminuição da fertilidade da terra e a gestão de resíduos ineficiente, são os resultados do mau gerenciamento dos recursos naturais em todo o mundo, onde a cadeia do biogás mostra-se como um componente importante para combater esses problemas (NEVZORAVA; KUTCHEROV, 2019).

O Brasil é um grande gerador de resíduos orgânicos, tendo em vista sua população, larga produção de alimentos, combustíveis, criação de animais e diversos processos produtivos que eliminam subprodutos passíveis de aproveitamento na produção de energia renovável (DE OLIVEIRA; FERREIRA; DE OLIVEIRA, 2016). Ainda, para (BERNAL et al., 2017) a recuperação de energia a partir de resíduos é uma das estratégias que devem auxiliar a expansão das energias renováveis no país. Para (MILANEZ et al., 2018) o aproveitamento de biogás ainda se encontra nas fases iniciais de um crescimento que pode vir a ser exponencial. Resta, contudo, a questão de como melhor explorar e expandir um mercado que se apresenta tão promissor. Posteriormente (SANTOS et al., 2018) estimaram a produção de biogás de sete principais potenciais fontes, considerando o volume de resíduos gerados no país e a produção média de biogás de cada resíduo. Ainda (LIMA et al., 2018) estimaram o potencial brasileiro em produzir biogás em aterros até o ano de 2045. Uma estimativa também ocorre em (FERREIRA et al., 2018) que levanta os principais potenciais de produção de biogás no Brasil, para calcular geograficamente o potencial do estado do Paraná.

Em 2018, a demanda mundial por hidrogênio foi de 115 Mt, sendo 73 Mt de hidrogênio puro (IEA, 2019a). De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021) a produção de amônia para fertilizante e o refino do petróleo responderam por 96% da demanda de hidrogênio puro. Já a demanda por hidrogênio em misturas com outros gases foi de 42 Mt, sendo que a produção de metanol respondeu por 29%, a redução direta na indústria do aço respondeu por 7%, e o restante em outros usos diversos. A Figura 1 mostra a evolução da demanda de hidrogênio puro e em mistura com outros gases, por aplicação.

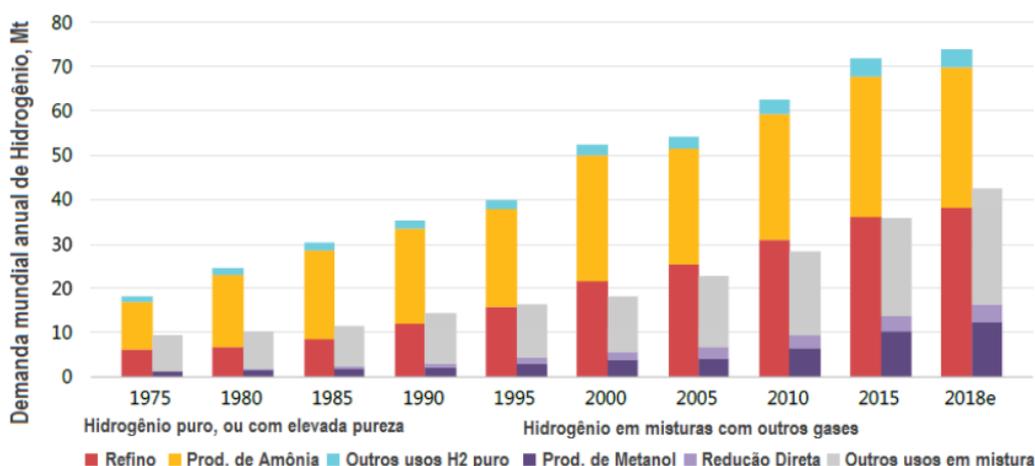


Figura 1 Evolução da demanda mundial por hidrogênio (FONTE: IEA, 2019a)

Considerado uma tecnologia de energia de baixo carbono bastante promissora, que vem sendo impulsionada pela queda dos custos da energia renovável e pelo avanço tecnológico dos veículos elétricos, dos dispositivos de eletrólise e das células a combustível (FAERMAN, 2020). O mercado de hidrogênio ganhará momentum a partir de políticas energéticas pós-pandemia para a retomada da economia e para acelerar a transição energética em diversos países (EPE, 2021).

O hidrogênio já é relevante em termos econômicos atualmente. O mercado mundial de hidrogênio em valor econômico, em 2019, correspondeu à monta de USD 118 bilhões (GRAND VIEW RESEARCH, 2020) a USD 136 bilhões (MARKETS AND MARKETS, 2020). Ademais, espera-se um crescimento significativo desse mercado já nos próximos anos, que poderá alcançar montantes de USD 160 bilhões (GLOBAL MARKET INSIGHTS, 2020) à quase USD 200 bilhões (MARKETS AND MARKETS, 2020). O catalizador deste crescimento é a visão de governos e empresas do hidrogênio como necessário para viabilizar a descarbonização profunda da economia mundial, requerida para a consecução das metas do Acordo de Paris no horizonte 2050 (EPE,2021).Através da dinâmica de sistemas pode-se observar a inserção de gases renováveis através de um modelo capaz de determinar como políticas e regulações na Alemanha podem alterar a capacidade de produção, o uso das terras, as emissões e analisar alternativas relacionadas a estes aspectos (HORSCHIG et al., 2016). Assim como (EKER; DAALLEN, 2014) elaboraram um modelo para a Holanda concluindo que os subsídios e consequente aumento da oferta e a redução dos preços podem causar uma perda de competitividade em relação ao setor elétrico, o que pode resultar em um suprimento inadequado de biomassa para o biogás.

1.5 Estrutura do Trabalho

No presente documento será apresentado na seção 2 um quadro teórico de referência resumido, contendo os principais argumentos teóricos, proposições e hipóteses associados a temática de pesquisa.

Posteriormente, na seção 3, será detalhado os principais procedimentos metodológicos a serem adotados no decorrer do desenvolvimento do estudo.

2. Referencial Teórico

Esse capítulo abrange o Referencial Teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho. Sendo eles (2.1) hidrogênio; (2.2) biogás e (2.3) geração do hidrogênio verde através do biogás.

2.1 HIDROGENIO

O hidrogênio é o elemento mais abundante no Universo e o mais leve, sendo também o mais simples da tabela periódica de Mendeleiev. É conhecido desde há centenas de anos como um gás que se obtém quando ácido sulfúrico diluído é posto em contacto com o ferro, sendo inflamável no ar. Henry Cavendish mostrou que o gás hidrogênio se forma pela acção de ácidos como o clorídrico ou o ácido sulfúrico em contacto com metais como zinco e o ferro. Ele também fez explodir misturas deste gás em contacto com o ar com faíscas eléctricas (1784), e encontrou um produto que parecia “água pura”. Mais tarde Antoine Lavoisier explicou os resultados de Cavendish, e deu ao gás o nome de “hidrogénio”, proveniente do grego “formar-água”. Esta decomposição da água nos seus componentes fez cair a ideia, já há algum longo tempo estabelecida de que a água seria apenas formada por um elemento (SANTOS e SANTOS, 2015).

O hidrogênio (H₂) além de ser o elemento mais abundante do universo ele pode ser a chave para 'descarbonizar' o planeta, possuindo três vezes mais energia do que a gasolina (SMINK, 2021).

Segundo Santos e Santos (2015) na terra não existe o hidrogênio livre, estando sempre associado a outros elementos e para ser obtido “puro” é necessário gastar energia na dissociação de uma fonte primária. Sendo assim, o hidrogênio não é uma fonte primária de energia, mas sim, uma fonte intermediária, por isso não deve ser referido como uma fonte energética, pois é apenas um vector energético, isto é, uma moeda de troca. A escolha do melhor método de produção do hidrogênio depende da quantidade que queremos produzir e do seu grau de pureza; o hidrogênio tem a mais alta energia por unidade de peso comparativamente com qualquer combustível, uma vez que o hidrogênio é o elemento mais leve e não tem os pesados átomos do carbono; é por esta razão que o hidrogênio tem sido usado intensamente nos programas espaciais onde o peso é crucial. Especificamente a quantidade de energia libertada durante a reação do hidrogênio é cerca de 2,5 vezes do poder de combustão de um hidrocarboneto (gasolina, gásóleo, metano, propano, etc), sendo observado na tabela 1.

Tabela 1: Poder calorífico de diferentes combustíveis

Combustível	Valor do Poder Calorífico Superior (a 25°C e 1 atm)	Valor do Poder Calorífico Inferior (a 25°C e 1 atm)
Hidrogênio	141,86 KJ/g	119,93 KJ/g
Metano	55,53 KJ/g	50,02 KJ/g
Propano	50,36 KJ/g	45,6 KJ/g
Gasolina	47,5 KJ/g	44,5 KJ/g
Gasóleo	44,8 KJ/g	42,5 KJ/g
Metanol	19,96 KJ/g	18,05 KJ/g

Fonte: SANTOS e SANTOS, 2015

2.2 BIOGÁS

O biogás é um produto composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), associado a vestígios de outros gases como sulfeto de hidrogênio (H₂S), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂), oxigênio (O₂) e água (H₂O). Podemos observar na tabela 2 a composição química típica do biogás (LAU et al, 2011).

O biogás pode ser usado como combustível para geração de energia por meio de sistemas combinados de calor e energia, do inglês combined heat and power (CHP) systems. A maior parte do biogás produzido no mundo é usada para geração de calor, vapor e/ou eletricidade por tecnologias de CHP baseadas na combustão de biogás, e que através da reforma do biogás para a produção de gás de síntese, mistura de monóxido de carbono (CO) e hidrogênio (H₂), ou H₂ para geração de energia elétrica em células a combustível (REN 21, 2017).

Tabela 2 – Composição Química do Biogás

Composição química do biogás	
Composto	Porcentagem
CH ₄	55e70 (vol%)
CO ₂	30e45 (vol%)
H ₂ S	500e4000 (ppm)
NH ₃	100e800 (ppm)
H ₂	<1 (vol%)
N ₂	<1 (vol%)
O ₂	<1 (vol%)
H ₂ O	<1 (vol%)

Fonte: LAU et al, 2011

2.3 GERAÇÃO DE HIDROGENIO VERDE ATRAVÉS DO BIOGÁS

A Era dos Gases determinará que a humanidade abandone uma forma de crescimento econômico não sustentável, centralizado, intensivo em capital e ineficiente energeticamente, e vá gradativamente encontrando um modelo de crescimento descentralizado, desenvolvido tecnologicamente, menos capital-intensivo e altamente eficiente no aproveitamento energético. Reforça ainda o fato de que o biogás e seus componentes fazem parte do ciclo biogeoquímico do carbono, que é o mais antigo, o maior e o mais importante ciclo do metabolismo da Terra (HEFNER, 2007).

Reconhece-se que o biogás tem grande potencial para a geração H₂ através de diversos processos de reforma. No entanto, a seleção de um processo específico depende de vários fatores, alguns dos quais são: composição de biogás, pureza necessária para o uso de H₂, produção de volume do H₂ desejado, e aproveitamento de investimentos, entre outros. Embora a tecnologia para converter eficientemente o H₂ em energia elétrica e nos níveis de energia necessários esteja mais próxima da comercialização, foram feitas tentativas paralelas de uso direto do biogás em células de combustível, conhecidas como "reforma interna" (OKUBO, HIDESCHIMA e SHUDO, 2010).

Em 1996, investigadores americanos acharam enzimas de duas formas de bactérias resistentes ao calor - uma descoberta em montes de escória de carvão queimando sem chama, a outra em aberturas vulcânicas profundas no Pacífico – onde o gás hidrogênio é libertado a partir de moléculas de glicose. Porque ambas as enzimas são resistentes ao calor, poderão ser usadas com este, o que fará com que as reações se dêem mais rapidamente. A madeira e o papel são constituídos por celulose, que é um polímero da glicose, sendo eventualmente possível, o uso destas enzimas para produzir hidrogênio de pedaços de madeira e aparas e de papel usado. A produção de hidrogênio com este método pode ser o resultado da alta temperatura que o gaseifica, bem como das pirólises de baixa temperatura resultantes da biomassa (resíduos de aglomerados, madeira, mato da limpeza das florestas, resíduos agrícolas etc.) tendo como catalisador estas bactérias resistentes ao calor. Esta tecnologia está atualmente também disponível para combustíveis fósseis

Exergia (conhecida como disponibilidade) é a medida de trabalho máxima útil. É também uma métrica de energia, não só em quantidade, mas também em qualidade. Uma análise de energia autônoma não é suficiente para investigar a irreversibilidade de um sistema, no entanto, a exergia conta com a irreversibilidade ocorrida em um processo. A análise exergia é usada para avaliar o uso eficiente de energia em uma usina. *Exergy* não é uma quantidade termodinâmica; no entanto, depende de quantidades termodinâmicas (ou seja, entalpia e entropia); que é amplamente utilizado desde 1960 (GANAPATHY, 2000).

2.1. Método SYSMAP

O modelo proposto é o SYSMAP, que tem por objetivo apresentar de uma forma estruturada os principais processos para realização de uma revisão de literatura de um tema que o pesquisador não tem conhecimento ou busca identificar detalhes específicos sobre determinado aspecto e/ou contexto, através da combinação da análise cientométrica e análise de conteúdo (VAZ, MALDONADO, 2017). Sendo que o que difere esse método dos demais, que ele faz a revisão sistemática (prisma, metanálise e risco de viés) juntamente com bibliometria, o que outros métodos não realizam.

O modelo consiste em quatro fases, sendo elas:

- i) Construção da coleção de artigos, sendo feita através de buscas em diferentes bancos de dados através de palavras-chave de interesse ("GREEN HYDROGEN" AND

- "APPLICATIONS" AND "BIOGAS")
- ii) Processo de filtragens onde os artigos encontrados são filtrados por meio da exclusão de duplicados disponíveis e correspondentes ao assunto;
 - iii) Análise cientométrica, a qual estabelece a relação entre os autores, palavras-chaves e outros pontos de interesse entre os artigos;
 - iv) Análise de conteúdo, em que é realizada uma análise mais aprofundada dos artigos a respeito do conteúdo e posterior construção das lacunas/oportunidades de pesquisa dos campos emergentes no assunto.

Figura 3- Método SYSMAP (*Scientometric and sYStematic yielding Mapping Process*)



Fonte: Vaz e Maldonado (2017)

2.2. Dinâmica de Sistemas

Considerando uma ampla gama de aplicações utilizando Dinâmica de Sistemas, a maioria dos modelos são criados em quatro estágios descritos abaixo (RANDERS, 1980):

Tabela 2. Estágio da criação de modelos utilizando Dinâmica de Sistemas

Estágio	Atividades
Conceituação	Definir o propósito do modelo; Definir o limite do modelo e identificar as variáveis-chave; Descrever o comportamento do problema e das variáveis-chave; Criar o diagrama dos mecanismos básicos, os laços de feedback, do sistema.
Formulação	Converter diagramas de feedback para equações matemáticas; Estimar e selecionar os valores dos parâmetros.
Testes	Simular o modelo e testar a hipótese dinâmica; Testar os pressupostos do modelo; Testar o comportamento do modelo e a sensibilidade às perturbações.
Implementação	Testar a resposta do modelo a diferentes políticas; Traduzir ideias de estudo para um formulário acessível.

Fonte: Randers (1980).

Frequentemente são aplicados estudos de casos e simulação por meio de modelos para pesquisa das transições sociotécnicas, em especial pode-se aplicar a modelagem utilizando Dinâmica de Sistemas para a pesquisa da transição (PAPACHRISTOS, 2018).

A Dinâmica de Sistemas é uma abordagem para estudar e compreender o comportamento de um sistema no tempo através de ferramentas e ambiente computacional, possui o objetivo principal de auxiliar na tomada das melhores decisões quando confrontadas com sistemas complexos e dinâmicos. A abordagem fornece métodos e ferramentas para modelar e analisar sistemas dinâmicos. Os resultados do modelo podem ser usados para comunicar descobertas essenciais para ajudar todos a entender o comportamento do sistema. (SYSTEM DYNAMICS SOCIETY, 2022).

Segundo (SAAVEDRA et. al. 2018) a técnica criada por Forrester para a teoria da dinâmica de sistemas, auxilia decisores e atuantes, possibilitando analisar processos que essencialmente mudam ao longo do tempo. Seu trabalho integrou conceitos da teoria da retroalimentação e computação digital, para explicar o comportamento de sistemas sociais e econômicos a fim de melhorar sua performance.

Esta abordagem utiliza ciclos de retroalimentação e diagramas de estoque e fluxo para modelar o comportamento dos sistemas complexos ao longo do tempo. Os modelos de Dinâmica de Sistemas são contínuos, nos quais o comportamento do sistema é o resultado de decisões e políticas e os resultados produzidos pelo mesmo (STERMAN, 2000).

Para (STERMAN, 2000) a teoria de dinâmica de sistemas fornece uma gama de ferramentas e técnicas para desenvolver modelos de sistemas organizacionais, permitindo uma representação rigorosa, validação através de simulação computacional e avaliação de impactos de políticas alternativas por meio de análises de sensibilidade e respostas a questões do tipo What-If. A modelagem dinâmica de sistemas baseia-se em três princípios: i) a estrutura determina o comportamento ii) a estrutura dos sistemas organizacionais geralmente envolve variáveis do tipo intangíveis iii) ganhos significativos podem ser obtidos a partir da compreensão do modelo mental e sua mudança.

3. Procedimentos Metodológicos

O quadro abaixo apresenta resumidamente os Procedimentos metodológicos a serem adotados no presente trabalho, de acordo com cada Objetivo Específico apresentado anteriormente na seção 1.1.2.

Tabela 3. Procedimentos Metodológicos da presente pesquisa

OBJETIVO ESPECÍFICO	PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS
Analisar as relações de interdependência entre os processos de produção de hidrogênio que compõe a cadeia do biogás no Brasil para identificar fatores sistêmicos que possam dificultar ou promover sua produção	Pesquisa bibliográfica Método SYSMAP
Realizar diagnóstico da situação atual de usinas piloto para a produção do hidrogênio verde utilizando o biogás no Brasil;	Modelagem de dinâmica de sistemas utilizando o <i>software Stella Architect</i> .
Desenvolver um modelo de simulação para compreender o processo, sendo esta energia proveniente do biogás no Brasil;	Modelagem de dinâmica de sistemas utilizando o <i>software Stella Architect</i> . Pesquisa exploratória Pesquisa bibliográfica

<p>Propor conjunto de políticas que possam causar o maior aproveitamento de biogás na produção de hidrogênio verde no período de análise.</p>	<p>Modelagem de dinâmica de sistemas utilizando o <i>software Stella Architect</i>.</p> <p>Pesquisa exploratória</p> <p>Pesquisa bibliográfica</p>
---	--

Fonte: Autor (2021).

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, pesquisas realizadas no meio acadêmico podem ser classificadas ou dividida de três maneiras: a primeira com base nos objetivos pretendidos, a segunda com base na obtenção de informações e a terceira se baseia nos procedimentos utilizados pelo pesquisador.

Quanto aos objetivos pretendidos, esta pesquisa pode ser classificada como descritiva. Dado que visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ao mesmo tempo em que proporciona maior familiaridade com um problema recente e pouco abordado (SILVA; MENEZES, 2005). Determina condições de fenômenos, visa descobrir a existência de associações entre variáveis explora aspectos pouco conhecidos (GIL, 2002).

Já quanto a obtenção das informações a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica pois os dados serão obtidos por meio de fontes teóricas, ou seja, por meio de material publicado em livros, revistas e artigos científicos. Este método torna-se particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço (GIL, 2002).

Por fim, classifica-se a pesquisa quanto aos procedimentos utilizados. Desta forma, a pesquisa desenvolvida se enquadra no tipo de pesquisa chamada estudo de caso pois, busca-se explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos, descrever a situação do contexto em que está sendo feita a investigação; formular hipóteses ou desenvolver teorias, explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos (GIL, 2002).

Estruturar as considerações finais e a Conclusão da pesquisa, sugerindo temas para pesquisas futuras.

4. Referências

- BERNAL, A. P. et al. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO₂ emissions. *Journal of Cleaner Production*, v. 151, p. 260–271, 2017.
- BREE, Bas van; VERBONG, Geert; KRAMER, Gert Jan. A multi-level perspective on the introduction of hydrogen and battery-electric vehicles. *Technological Forecasting and Social Change*, Elsevier BV, v. 77, n. 4, p. 529–540, mai. 2010. DOI: 10.1016/j.techfore.2009.12.005.
- DAHUNSI, S.O.; ORANUSI, S.; EFEOVBOKHAN, V.E. Cleaner energy for cleaner production: Modeling and optimization of biogas generation from Carica papayas (Pawpaw) fruit peels. *J. Environ. Manage*, v. 156, p. 19-29, 2017.
- DE OLIVEIRA, S. V. W.; FERREIRA, A. H.; DE OLIVEIRA, M. M. B. Aproveitamento de resíduos para geração de energia: eficiência e sustentabilidade. *Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente - ENGEMA*, 2016.
- EKER, S.; DAALLEN, C. VAN. Analyzing the Dynamics of the Bio-methane Production Chain and the Effectiveness of Subsidization Schemes under Uncertainty. *32nd International Conference of the System Dynamics Society*, n. October 2015, p. 1–36, 2014.
- EPE. Nota técnica DEA 13/14 Demanda de Energia 2050, 2015.
- EPE. Balanço Energético Nacional. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), 2017.
- EPE. Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio. Rio de Janeiro. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil), 2021.
- FAERMAN, H.; FREIRE, W. Brasil pode ser hub de exportação de hidrogênio. *Canal Energia*, 2020. Disponível em: <https://canalenergia.com.br/especiais/53146389/brasil-pode-ser-hub-de-exportacao-de-hidrogenio>. Acesso em: 28 de setembro de 2022.
- 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, n. April 2017, p. 440–455, 2018.
- GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas: [s.n.].2002.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, S. et al. Environmental sustainability of bark valorisation into biofoam and syngas. *J. Clean. Prod.*, v. 125, p. 33-43, 2016.
- HAHN, H. et al. Review of concepts for a demand-driven biogas supply for flexible power generation. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, v. 29, p. 383–393, 2014.
- HOLM-NIELSEN, J. B.; SEADI, T. AL; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 22, p. 5478–5484, 2009.
- HORSCHIG, T. et al. Reasonable potential for GHG savings by anaerobic biomethane in Germany and UK derived from economic and ecological analyses. *Applied Energy*, v. 184, p. 840–852, 2016.
- IEA. **Global EV Outlook 2019 - Scaling-up the transition to electric mobility**. [S.l.], 2019a. Disponível em: http://www.indiaenvironmentportal.org.in/files/file/Global_EV_Outlook_2019.pdf.

- IEA. **Key world energy statistics**. [S.l.], 2019b. Disponível em: https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdfactualites/Key_World_Energy_Statistics_2019.pdf.
- ONU. **17 objetivos para transformar nosso mundo**. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>.
- LAU CS, Tsolankis A, Wyszynski ML. Biogas upgrade para syn-gas (H₂-CO) via reforma seca e oxidativa. *Int J Hydrogen Energy* 2011; 36:397e404.
- MILANEZ, A. Y. et al. Biogás De Resíduos Agroindustriais: Panorama E Perspectivas. *BNDES Setorial* 47, p. 221–276, 2018.
- LIMA, R. M. et al. Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. *Waste Management*, v. 74, p. 323–334, 2018.
- MAC KINNON, M. A.; BROUWER, J.; SAMUELSEN, S. The role of natural gas and its infrastructure in mitigating greenhouse gas emissions, improving regional air quality, and renewable resource integration. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 64, p. 62–92, 2018.
- MILTNER, M.; MAKARUK, A.; HARASEK, M. Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. *J. Clean. Prod.*, v. 161, p. 1329-1337, 2017.
- MME. Paulo Pedrosa ministra palestra no 17º Encontro dos Associados da Apine. Assessoria de Comunicação. Ministério de Minas e Energia, Brasília. 05 out. 2017.
- OKUBO T, HIDESCHIMA Y, SHUDO Y. Estimativa da produção de hidrogênio de uma planta em larga escala para produção de hidrogênio a partir de biogás. *Int J Hydrogen Energy* 2010; 35:13021e7.
- PAPACHRISTOS, G. System dynamics modelling and simulation for sociotechnical transitions research. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, (Setembro), 1–14. 2018.
- RANDERS, J. *Elements of the System Dynamics Method*. (pp.117 - 139) Portland, OR: Productivity Press, 344 pp. 1980.
- REN21, *Renewables 2017 Global status report*. Disponível em: ren21.net/. Acesso em: 5 nov. 2017, 2017.
- SAAVEDRA M., M. R.; CRISTIANO, C. H.; FRANCISCO, F. G. Sustainable and renewable energy supply chain: A system dynamics overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, n. March 2017, p. 247–259, 2018.
- 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, n. May 2017, p. 54–63, 2018.
- SANTOS, F. M. S., SANTOS, F. A. C. M. O Combustível “Hidrogênio”. *Revista Milenium*, n. 31, 2015.
- SMINK, Veronica, Hidrogênio verde: os 6 países que lideram a produção do 'combustível do futuro', *BBC News Mundo*, 2021. Disponível em: <http://www.bbc.com/portuguese/geral-56604972>>. Acesso em: 30/09/2022.

SYSTEM DYNAMICS SOCIETY. Introduction to System Dynamics. Disponível em <<http://www.systemdynamics.org/what-is-s/>>. Acesso em 25 ago 2022.

STERMAN, J. D. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world (Vol. 19): Irwin/McGraw-Hill Boston. 2000.

VAZ, C. R.; MALDONADO, M. Uriona. Revisão de literature estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and sYStematic yielding Mapping Process). In edição: C.R.Vaz; M.Uriona Maldonado. [S.I.]: Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos de Engenharia de Produção, 2017. Cap.2, p. 21-42.

VIANA, M. B.; TAVARES, W. M.; LIMA, P. C. R. Sustentabilidade e as Principais Fontes de Energia. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília, 2015. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notastecnicas/areas-da-conle/tema14/sustentabilidade-e-as-fontes-de-energia_variosautores_politicas-setoriais>. Acesso em: 02/08/2022.

CIBiogás, Panorama do Biogás no Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/imprensa/28-milhoes-de-nm-de-biogas-devem-ser-produzidos-no-brasil-em-2022/20220818-100745-s957> Acesso em: 18/08/2022.