

PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE EM SC SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR E SIMBIOSE INDUSTRIAL: UM ESTUDO PROSPECTIVO ATÉ 2050

JÉSSICA CARVALHO SOBCZAK

CAROLINE RODRIGUES VAZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

MAURICIO URIONA MALDONADO

Introdução

Para evitar maiores níveis de poluição ambiental causadas pela produção e uso de fertilizantes minerais na agricultura, a reciclagem de resíduos orgânicos digeridos anaerobicamente da pecuária, parece ser uma abordagem promissora (Tsachidou et al., 2019). Em 2019, o setor da suinocultura exportou mais de 750 mil ton de carne suína e, mais da metade desse montante foi decorrente da criação em Santa Catarina (SC), correspondendo a 55,65% dessas exportações.

Problema de Pesquisa e Objetivo

De encontro a esses dados, entre os anos de 2000 a 2015, o uso de fertilizantes no Brasil cresceu 87% e juntamente com esse crescimento, há o aumento nas emissões de N₂O. Além disso, a produção nacional de fertilizantes é muito inferior à demanda interna. Desta forma, os objetivos são identificar e analisar a influência nas dimensões da sustentabilidade na produção de biofertilizante proveniente da suinocultura em Santa Catarina projetado até 2050 e analisar os aspectos da simbiose industrial como forma de estimular a economia circular (EC).

Fundamentação Teórica

A EC é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerando estoques finitos e fluxos renováveis (Ellen MacArthur Foundation 2017). A simbiose industrial (SI), é onde as empresas colaboram na troca e compartilhamento de materiais em excesso, água e subprodutos de uma empresa na matéria-prima de produção de outra com o objetivo básico de reduzir economicamente seus impactos ambientais (Chertow, 2000).

Metodologia

Foi construído um modelo computacional para projetar a produção de biofertilizantes em SC até 2050 e posteriormente foram analisados e discutidos os impactos potenciais desde a ótica da EC e da SI

Análise dos Resultados

Até 2020 tem-se um crescimento em ritmo lento, chegando a 1,7 mil t de biofertilizante, porém, ao triplicar a meta para 2050, esse potencial cresce de forma mais acelerada, atingindo 5,2 mil t. Por isso, políticas e incentivos que promovam a simbiose industrial são indispensáveis para que essa cooperação e parceria venham a se concretizar na prática

Conclusão

A produção de biofertilizante com dejetos provenientes da suinocultura do estado de Santa Catarina se mostra viável quando se trata do tratamento desses dejetos por meio da digestão anaeróbica e também na análise das três dimensões da sustentabilidade da economia circular: ambiental, econômica e social.

Referências Bibliográficas

Chertow, M. R. (2000). INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337. Ellen MacArthur Foundation. (2017). Rumo a economia circular: O racional de negócio para acelerar a transição. Retrieved from [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/Tsachidou, B., et al. \(2019\). Biogas residues in substitution for chemical fertilizers: A comparative study on a grassland in the walloon region. Science of The Total Environment, 666, 212–225.](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/Tsachidou, B., et al. (2019). Biogas residues in substitution for chemical fertilizers: A comparative study on a grassland in the walloon region. Science of The Total Environment, 666, 212–225.)

Palavras Chave

Biofertilizante, Economia Circular, Simbiose Industrial

Agradecimento a órgão de fomento

Agradecemos o apoio do CNPq para financiamento da Bolsa de Mestrado de um dos autores.

PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE EM SC SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR E SIMBIOSE INDUSTRIAL: UM ESTUDO PROSPECTIVO ATÉ 2050

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade se depara com diversos desafios, incluindo sérias questões ambientais como o aquecimento global. As emissões de GEEs que implicam em inúmeros problemas ambientais, são decorrentes de diversas atividades, principalmente as relacionadas ao uso de combustíveis fósseis, tendo como um dos fatores de impacto nesse consumo, o constante crescimento populacional global. Esse crescimento causa um efeito relacionado ao aumento na demanda de alimentos e energia, contribuindo significativamente com as emissões, à proporção que a alimentação implica na intensificação do setor agropecuário para suprir essa necessidade.

A agricultura mundial é responsável por aproximadamente 10 a 12% do total das emissões antropogênicas globais de gases de efeito estufa (GEEs), que representam 60% e 50% das emissões globais de óxido nitroso (N_2O) e metano (CH_4), respectivamente (Linguist, Adviento-Borbe, Pittelkow, Kessel, & Groenigen, 2012), (Cornejo & Wilkie, 2010).

De encontro a esses dados, entre os anos de 2000 a 2015, o uso de fertilizantes no Brasil cresceu 87% e juntamente com esse crescimento, há o aumento nas emissões de N_2O . Além disso, a produção nacional de fertilizantes é historicamente muito inferior à demanda interna, não apresentando crescimento similar ao demandado. Em razão disso, a dependência em relação às importações vem aumentando ano após ano e, em 2015, entre 65% e 70% do consumo total foi suprido por importações (Cruz, Pereira, & Figueiredo, 2017).

Por isso, para evitar maior aceleração da poluição ambiental causada pela produção e uso de fertilizantes minerais na agricultura, a reciclagem de resíduos orgânicos digeridos anaerobicamente da pecuária, parece ser uma abordagem promissora Tsachidou et al. (2019). Em 2019, o setor da suinocultura exportou mais de 750 mil ton de carne suína e, mais da metade desse montante foi decorrente da criação em Santa Catarina (SC), correspondendo a 55,65% dessas exportações. E nesse mesmo ano foram contabilizadas 7.590.827 cabeças de suínos no estado, representando 18,7% da produção brasileira e gerando aproximadamente 6,2 milhões de ton de dejetos nesse período e há uma tendência de crescimento para os próximos anos.

Dessa forma, a cadeia do biogás, a qual gera biogás e biofertilizante, emerge como uma opção para o tratamento de dejetos e suprir o consumo de fertilizantes no país, sendo o biofertilizante o produto de interesse para esse estudo, pois quando utilizado na agricultura, é considerado uma maneira eficiente de reciclar a biomassa e os nutrientes, beneficiar o solo, reduzir a fabricação e o uso de fertilizantes minerais, mitigar as emissões de GEEs e aumentar o sequestro de carbono no solo (Tsachidou, Daigneux, Hissler, George, & Delfosse, 2019), evidenciando assim o conceito da economia circular (EC).

A EC é concebida como um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerando estoques finitos e fluxos renováveis Ellen MacArthur Foundation (2017). E como forma de promover essa circularidade, há o conceito de simbiose industrial (SI), onde as empresas colaboram na troca e compartilhamento de materiais em excesso, água e subprodutos de uma empresa na matéria-prima de produção de outra com o objetivo básico de reduzir economicamente seus impactos ambientais (Chertow, 2000).

Dessa forma, os objetivos dessa pesquisa são identificar e analisar a influência nas dimensões da sustentabilidade na agropecuária por meio da produção de biofertilizante com dejetos provenientes da suinocultura do estado de Santa Catarina até 2050 e analisar os aspectos da simbiose industrial como forma de estimular a circularidade na agropecuária.

Este artigo está estruturado em seis seções seguindo esta seção da introdução sobre a descrição do problema, na seção 2 consta o referencial teórico acerca da cadeia do biogás e biofertilizante, além da economia circular e simbiose industrial, a seção 3 descreve a metodologia de simulação utilizada, posteriormente, na seção 4 exibe-se a construção do modelo juntamente com os dados, na seção 5 são apresentados os resultados das projeções para o cenário base juntamente com uma discussão dos resultados e por fim, na seção 6 tem-se as considerações finais e recomendações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cadeia do Biogás e do Biofertilizante

A produção de biogás e biofertilizante acontece por meio da digestão anaeróbica (DA), alimentada com uma variedade de biomateriais Ward, Hobbs, Holliman, & Jones (2008), sendo esse um processo pelo qual quase todo resíduo orgânico pode ser convertido biologicamente na ausência de oxigênio.

A figura 1 representa de forma ilustrativa e simplificada esse processo. Inicialmente tem-se os resíduos, os quais podem ser de animais, resíduos sólidos urbanos, da agricultura e saneamento (podendo ter outros, conforme citado anteriormente), os quais em seguida são direcionados para biodigestores, onde ocorre a digestão anaeróbica de maneira controlada e nos parâmetros ideais, e então, esses resíduos orgânicos são convertidos em produtos como o biogás e digestato. No caso do biogás, ele pode posteriormente ser transformado em energia térmica, energia elétrica e biocombustível (biometano). Já o digestato, poderá retornar a agricultura como biofertilizante e então para a comunidade por meio de alimentos e demais produtos agrícolas.

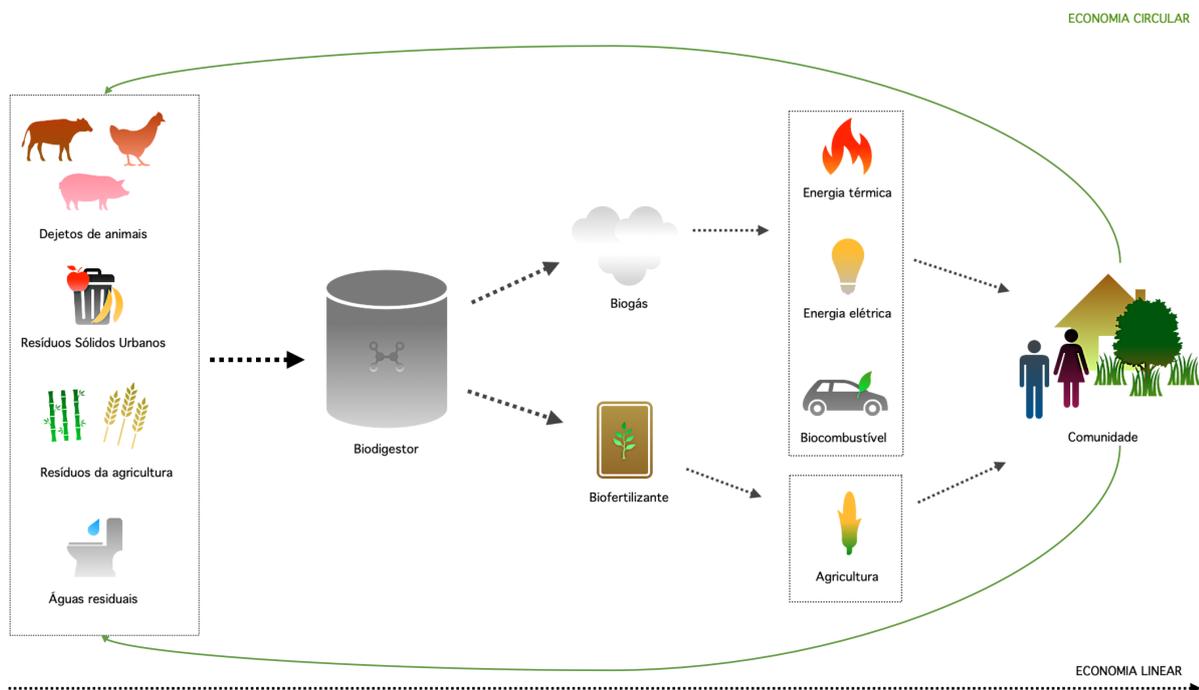


Figura 1: Ciclo do Biogás. Fonte: Autoria Própria

O biofertilizante trata-se de um adubo orgânico e que pode contribuir de maneira eficiente no reestabelecimento do teor de húmus do solo, funcionando como melhorador de suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Acerca da rapidez de ação (absorção de elementos pelas plantas),

assemelha-se a fertilizantes minerais, uma vez que os elementos nitrogênio (*N*), fósforo (*P*) e potássio (*K*) estão facilmente disponíveis para as plantas (Oliver, Souza Neto, Quadros, & Valladares, 2008). Desse modo, o biofertilizante pode trazer de volta nutrientes e matéria orgânica para áreas de terras aráveis onde o potencial de esterco é pobre, contribuindo para planos de gestão de fertilização sazonais e territoriais eficazes e mais sustentáveis (Gontard et al., 2018).

O processo de digestão anaeróbica para o tratamento de resíduos orgânicos é um programa chave para aumentar a oferta de energia limpa, alcançar a redução de emissões e promover o desenvolvimento sustentável (Francesco, Clelia, Martina, Gaetano, & Giacomo, 2017). Dessa forma, ao fechar os loops dos processos anteriormente lineares, a DA pode enfrentar os desafios de desperdício, energia, produção sustentável de alimentos e reciclagem de nutrientes de maneira sustentável e circular. Novas maneiras poderiam fortalecer o processo de digestão como parte do desenvolvimento de uma economia circular (Antonioni et al., 2019).

2.2 Economia Circular

A economia circular se destaca pelo fato de enfatizar a importância da busca de soluções científicas para fechar o ciclo, que, ao invés de encerrar a produção e o consumo com a disposição de resíduos, o lixo é minimizado na origem e devolvido à economia para reutilização (Balanay & Halog, 2019). Na prática, visa minimizar o desperdício e a utilização excessiva de recursos transformando mercadorias no final da sua vida útil e resíduos gerados durante a fabricação e utilização de mercadorias em recursos para a fabricação de outros produtos (Ingrao, Faccilongo, Gioia, & Messineo, 2018).

Além disso, uma economia circular que obtém bons resultados é decorrente da contribuição nas três dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômico e social (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018). A sustentabilidade ambiental é definida como a desmaterialização da atividade econômica (Bartelmus, 2003), isto é, uma redução absoluta ou relativa na quantidade de materiais necessários para atender as funções econômicas. A sustentabilidade econômica pode ser definida como a manutenção do capital natural e produzido, condição necessária para um crescimento econômico seja positivo e não decrescente (Bartelmus, 2003). Por fim, a sustentabilidade social se refere ao comprometimento com a sociedade e comunidade em geral, podendo apresentar de maneiras como a proteção ambiental, planejamento da comunidade, igualdade nas oportunidades de emprego, serviços sociais em geral de conformidade com o interesse público (Venturini, 2015).

No entanto, apesar de avanços referentes ao desenvolvimento sustentável, a economia global ainda é dominada pelo modelo linear de produção, o qual baseia-se predominantemente pela extração e descarte. Dessa modo, visando promover essa circularidade através de objetivos em comum, a SI pode ser considerada uma estratégia para fechar o fluxo de materiais por meio da cooperação entre diferentes partes interessadas (Saavedra, Iritani, Pavan, & Ometto, 2018).

2.3 Simbiose Industrial

A simbiose industrial foi definida como o envolvimento de “setores tradicionalmente separados em uma abordagem coletiva para obter vantagem competitiva envolvendo a troca física de materiais, energia, água e subprodutos.” (Chertow, 2007). A relação simbiótica acontece quando ocorre uma parceria e aproximação entre dois ou mais atores de setores, que em situações normais de atividades não possuiriam contato e conseqüentemente, não haveria a necessidade de conhecimentos práticos dos processos operacionais uns dos outros (Jensen, Basson, Hellowell, Bailey, & Leach, 2011).

Um conceito que se relaciona a simbiose industrial é a capacidade institucional composta

de três dimensões: recursos de conhecimento, recursos relacionais e capacidade de mobilização (Healey, Magalhaes, Madanipour, & Pendlebury, 2003). Esse é um processo por onde diferentes formas de capital institucional são formadas, ou seja, uma série de práticas nas quais as partes interessadas se reúnem para um diálogo de longo prazo para abordar uma questão de política de preocupação comum (Boons, Spekkink, & Mouzakitis, 2011).

3 ESTIMAÇÃO DO POTENCIAL DE BIOFERTILIZANTE DE SUÍNOS EM SC

3.1 Descrição do Modelo para o Setor de Suínos

Para a estimação do potencial de biofertilizante a partir de suínos em SC, foi utilizada a modelagem de dinâmica de sistemas conforme Ford (2009).

Para a construção do modelo e definição da origem dos resíduos, foi utilizado o trabalho de Oliveira & Negro (2019), onde são apresentadas quatro trajetórias tecnológicas para a produção de biogás no Brasil: agricultura (esterco de animais e resíduos industriais), gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e saneamento e a rota de esterco da suinocultura. Para este estudo, considerou-se apenas a última rota. O modelo é apresentado na Figura @ref{fig:ds}

Os dejetos provenientes da criação de suínos ocasionam inúmeros problemas ambientais, incluindo o aumento das emissões atmosféricas (GEES), bem como produz grandes quantidades de resíduos com altas cargas de nutrientes – fósforo (*P*) e nitrogênio (*N*), matéria orgânica, sedimentos, patógenos, metais pesados (cobre e zinco utilizados nas rações como promotores de crescimento, por exemplo), hormônios e antibióticos (Kunz, Higarashi, & Oliveira, 2005). Além disso, também provoca a diminuição da qualidade da água. Esse problemas podem ser observados em todos os segmentos da cadeia de suprimentos, desde a produção de grãos e animais até os elos de processamento, distribuição e consumo (Kunz, Miele, & Steinmetz, 2009).

Para calcular o potencial de metano do setor, foi utilizada a equação 1 apresentada por Santos, Vieira, Nóbrega, Barros, & Filho (2018), posteriormente, por meio dela foi possível adicionar demais dados inerentes ao modelo.

$$\text{Methane Potential Feedstock} = N \times I \times f \quad (1)$$

Onde:

N = número de animais;

I = produção de dejetos por animal;

f = produção de biogás por dejetos.

Os parâmetros referentes a quantidade de animais no estoque, produção de dejetos e rendimento para a produção específica de biogás a partir de esterco, são mostrados na tabela 1:

Tabela 1: Parâmetros usados no modelo

Parâmetros	Valores
N_f	183.494 cabeças
I_{sb}	821,25 kg/ano/cabeça
f_{sb}	0,012 - 0,024 m ³ /kg de CH ₄

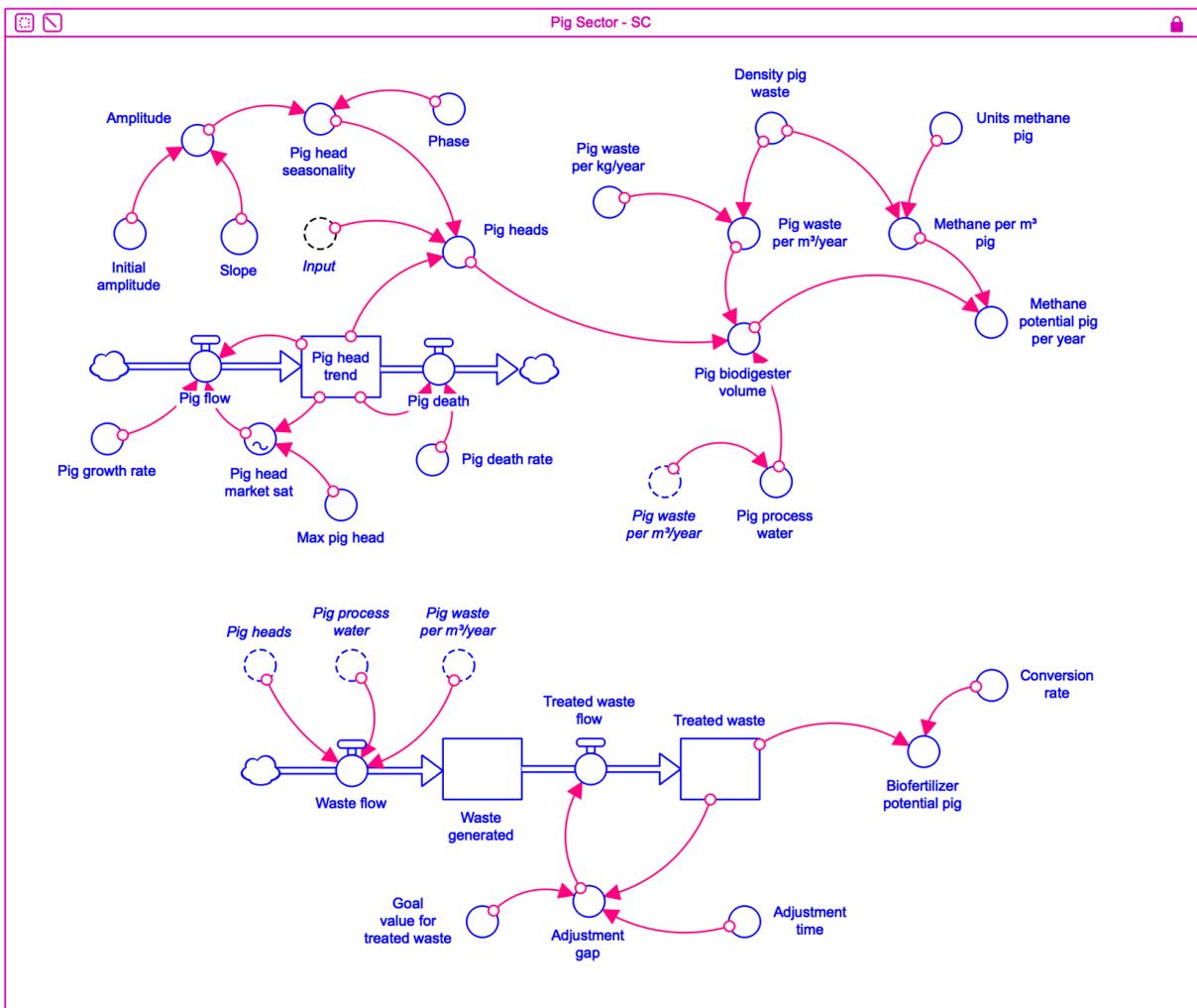


Figura 2: Modelo de simulação do setor de suínos

Tabela 2: Indicadores de Acurácia

RMSE	R2	MAE
372462	0.88	313275

No que diz respeito as taxas de crescimento do estoque, foi considerado que haverá uma saturação em determinado momento, ou seja, há um limite superior de crescimento, descrita pela curva S, calculada conforme a equação 2.

$$Market\ Saturation = \frac{Stock}{Saturation\ Stock} \quad (2)$$

\end{equation}

Além disso, para a simulação foram utilizados alguns outros parâmetros e suposições necessárias para que fosse possível obter o potencial de biofertilizante dos setores, como por exemplo, o teor de água, sendo um fator que pode afetar o processo. Neste caso, foi considerada a proporção de 1:1 de água para substrato, pois, o excesso de água pode atrapalhar a hidrólise, exigindo uma elevada carga de biomassa (Junqueira, 2014).

Por fim, tendo em conta que o digerido final é em fração líquida (m^3/ano) e os resíduos entram no processo na forma sólida (kg/ano), foi necessário transformar os valores de produção de resíduos anuais por meio do valor de densidade, sendo a densidade de suínos correspondente a $1032,15\ kg/m^3$ (Kunz & Oliveira, 2006). A equação 3 define a forma de conversão das unidades para as consideradas no modelo:

$$RG_{conv} = Resíduos_{kg} \times Densidade \quad (3)$$

Onde:

RG_{conv} = Resíduos gerados convertidos em m^3/ano ;

$Resíduos_{kg}$ = Resíduos gerados em kg/ano ;

Densidade = Densidade do substrato em kg/m^3 ;

O modelo foi construído e parametrizado para estimar o potencial de produção de biofertilizante da suinocultura com base nas metas estabelecidas pelo Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC).

3.2 Validação do modelo

A validação do modelo foi realizada com os dados de séries temporais para cabeças de suínos. Na tabela 2, são apresentados os indicadores de acurácia R^2 , **RMSE** e **MAE**.

Devido a taxa de conversão referente ao biofertilizante ser considerada para o estudo de 5%, há dados que apresentam valores entre 3,9% e 6,5%, por isso, foi feita uma análise de sensibilidade para verificar como o modelo se comporta com relação a essa variação de valores. Na figura 3 A é apresentada a comparação entre o histórico e simulado de cabeças de suínos para SC e na figura 3 B é apresentada a análise de sensibilidade.

A linha preta representa a média da simulação após 100 rodadas. O mínimo apresentado é para o valor de 4,0 mil m^3 enquanto o máximo é de 6,7 mil m^3 em 2050. A média obtida é de

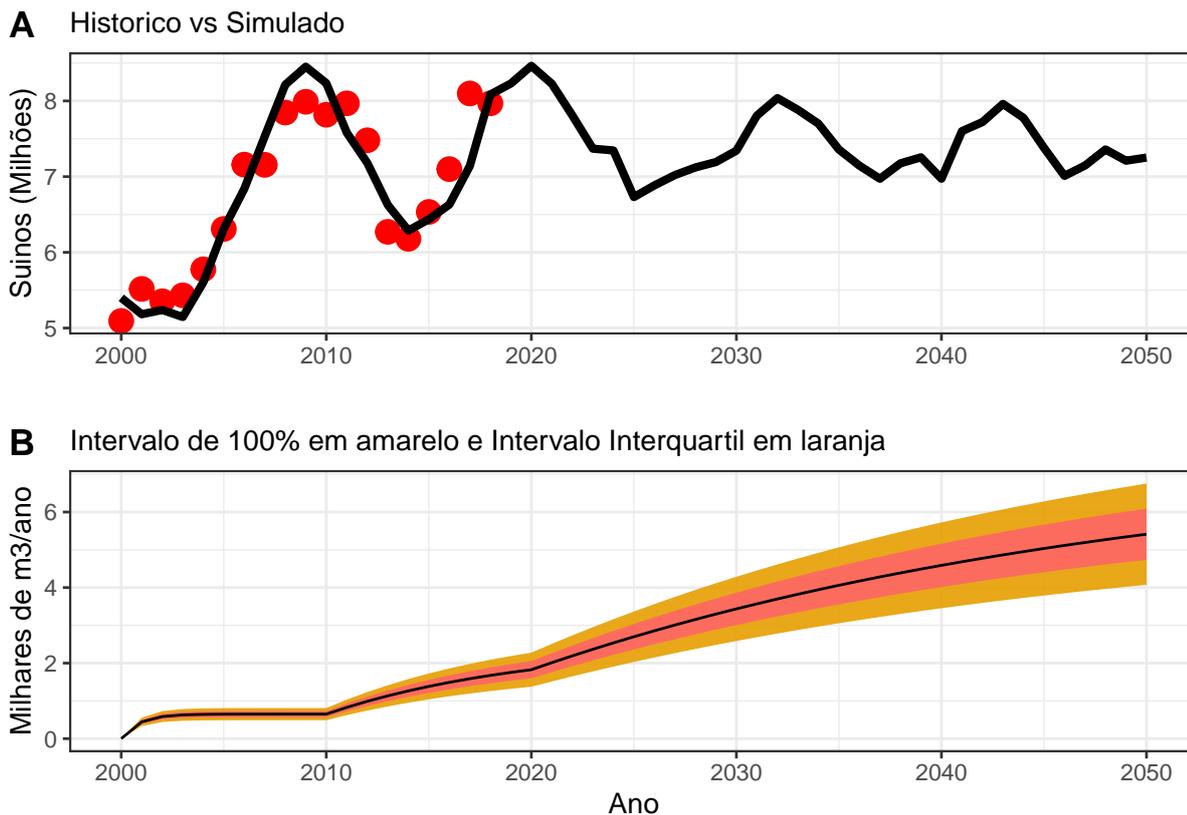


Figura 3: Gráficos do Modelo

aproximadamente 5,4 mil m^3 de produção de biofertilizante, próximo ao valor considerado para o estudo, que é de 5,2 mil m^3 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Economia Circular

Após a construção do modelo e posteriores validações, tem-se o cenário *BAU* para estimar o potencial de produção de biofertilizantes proveniente de dejetos de suínos em Santa Catarina. Este cenário tem como objetivo servir de referência para as simulações. Com isso, é possível relacionar as simulações nas três dimensões do desenvolvimento sustentável conforme foram descritas por Korhonen et al. (2018): ambiental, econômico e social.

Por meio das metas de tratamento do Plano ABC, definiu-se a porcentagem referente a suinocultura. O Plano ABC tem como alvo o tratamento de 4,4 milhões de m^3 de dejetos de animais entre 2010 a 2020 e, para mensurar a quantidade de dejetos produzidos pela suinocultura, somou-se as cabeças de animais dos três maiores setores (bovinos, galináceas e suínos), conforme dados do IBGE (2019), a fim de identificar a parcela que a suinocultura representa – em torno de 8% – equivalente ao tratamento de aproximadamente 353 mil m^3 de dejetos. Ao estipular esses valores para Santa Catarina, em 2019 o estado representou 27,25% da produção total de suínos, o que corresponde ao tratamento de 96 mil m^3 de dejetos da suinocultura até 2020.

A quantidade de dejetos tratados é proporcional as metas. À proporção que se torna necessário o tratamento de uma quantidade maior de dejetos, também cresce a quantidade de dejetos tratados. Em 2020 a meta é de 96 mil m^3 , são tratados 70 mil m^3 e, em 2050 que se

biofertilizantes cresce, favorecendo também seu uso e, conseqüentemente, tem-se a redução do uso de fertilizantes minerais, impactando diretamente na redução de emissões de GEEs. Além disso, a difusão do uso de biofertilizante na agricultura beneficia a produção orgânica e também faz com que a produção de biofertilizante se torne maior devido a demanda. Ou seja, esses fatores criam um reforço positivo (**R1**) para a produção e uso de biofertilizante.

Já na **dimensão econômica**, de acordo com Chojnacka, Moustakas, & Witek-Krowiak (2020), as indústrias de fertilizantes não possuem interesse em recursos renováveis, justamente porque não há argumentos econômicos. Porém, essas indústrias apresentam problemas ambientais, criando uma perspectiva de mudanças tecnológicas. As taxas ambientais, principalmente referentes às emissões de CO_2 são um ponto importante no que diz respeito aos fatores econômicos quando se trata da produção de fertilizantes minerais, como é o caso da uréia, o fertilizante nitrogenado mais consumido no Brasil, que é produzido a partir da síntese da amônia que gera problemas em termos ambientais, pois consome de 1–2% do suprimento mundial de energia anual e gera mais de 300 milhões de Tm de CO_2 (Vieira, 2017).

Ademais, também há os custos da importação de fertilizantes minerais, os quais apresentam variação devido as taxas cambiais do dólar. Esse aumento da demanda por fertilizantes e a falta de produção interna, aliado as variações no preço do dólar, pode trazer grandes impactos econômicos aos produtores possuem essa dependência externa (**B2**).

No entanto, apesar de haver pontos econômicos positivos, os maiores problemas com relação ao tratamento e posterior uso de resíduos como biofertilizante, é por conta da distância entre as áreas agrícolas e o alto custo de transporte, armazenamento e processamento Lofhagen, Boollmann, & Scott (2018). Para que o biofertilizante venha a se tornar uma opção mais viável, são necessárias políticas que incluam o fornecimento de subsídios para uso de produtos sustentáveis, aumento dos impostos sobre fertilizantes químicos, além de serviços de extensão para estimular o uso de biofertilizantes (Wang, Zhu, Zhang, & Wang, 2018), como mostra a figura 4.

Anteriormente na dimensão ambiental, foi abordado que o aumento no tratamento de esterco suíno, é proporcional a sua produção e uso. Porém, conforme Wang et al. (2018), são necessários subsídios para que esses investimentos e uso venham a se tornar viáveis, principalmente porque envolvem mudanças em diferentes níveis, já que além dos custos relacionados a planta de tratamento, há também custos de mão-de-obra, gerenciamento residual, armazenamento, transporte e demais custos implícitos ao processo. Ao dispor desses incentivos financeiros, a propensão ao crescimento da DA, impacta nas demais variáveis, que economicamente falando, reduzirá custos de importações de fertilizantes minerais, os quais apresentam variações de preços devido ao dólar.

No caso da **dimensão social**, um dos pontos fortes é a oportunidade de novos modelos de negócios. Atualmente, devido as questões relacionadas a sustentabilidade, mudanças climáticas e mudanças no comportamento de consumidores/produtores, indica que há uma lacuna a ser preenchida no que diz respeito a indústria de fertilizantes, as quais atualmente tem seus produtos baseados em matérias-primas derivadas de combustíveis fósseis e materiais não renováveis.

Esses novos modelos de negócios muitas vezes são fomentados por pesquisas. É importante que esses novos negócios saibam quais nichos precisam ser explorados, compreender quais recursos devem ser utilizados e qual a necessidade do setor, para que então seu produto venha a ser adotado.

Esses negócios também agregam positivamente para a geração de emprego, senso de

coletividade e cooperação (Korhonen et al., 2018). E como os empregos estão diretamente relacionados ao capital humano, desenvolver o capital intelectual e o conhecimento são essenciais, já que são os trabalhadores que movem uma empresa. Isso pode ser feito por meio de treinamentos, desenvolvimento e aprendizagem, salário justo e demais fatores que insiram o indivíduo na sociedade (Porritt, 2011).

No que diz respeito ao senso de coletividade e cooperação, um exemplo é o Condomínio de Agroenergia para a Agricultura Familiar de Ajuricaba, localizado no Oeste do Paraná, que visa atender de forma adequada os resíduos gerados por 33 pequenas propriedades, transformando-as em ativo econômico para os produtores. As fazendas possuem áreas entre 10 e 20 hectares, que produzem soja, milho, trigo, 1072 cabeças de bovinos e 3082 cabeças de suínos, gerando aproximadamente $821 m^3$ de biogás por dia e tratando 16 mil toneladas de *resduos/ano* (Lofhagen et al., 2018).

A relação entre esses fatores na dimensão social também criam um laço de reforço (R4), conforme a figura 4.

Os novos modelos de negócios, são formentados ao ter um ambiente ideal por meio da difusão e adoção do uso de biofertilizante aliado as pesquisas, tornando esse cenário mais propício a criação de novos negócios. Ao surgirem, eles proporcionam a geração de novos empregos, pois será necessário mais mão-de-obra, conhecimento e capital intelectual. Com isso, tem-se a percepção do coletivo, onde os indivíduos compreendem os benefícios obtidos e gerados, os pensamentos são voltados a comunidade, criando então cooperação para que esses benefícios sejam ampliados. Ao expandir esse pensamento de cooperação, seja entre produtores-produtores ou produtores-indústrias, há uma troca entre atores e interessados, fechando um ciclo que, apesar de ser social, favorecendo a produção de biofertilizante.

Diante disso, após analisar o potencial de produção de biofertilizante nas três dimensões da EC (ambiental, econômica e social). A economia circular para ser bem sucedida, precisa ter um potencial de ganha-ganha em todas as dimensões.

É possível observar que de fato as dimensões se complementam e trazem benefícios para a produção de biofertilizante, já que apresentam laços de reforços e balanceamentos, favorecendo o sistema.

Tendo como base o modelo de EC de Korhonen et al. (2018), referente aos inputs, é notório que a tendência é a redução no uso de materiais virgens, nas taxas ambientais, bem como nas questões relacionadas a energia, pois, ao reduzir a síntese de amônia, matéria-prima para a produção de fertilizantes nitrogenados (por exemplo, uréia), há uma queda no uso de combustíveis fósseis, com isso, buscam-se meios mais sustentáveis para suprir essa lacuna. Já com relação aos outputs, pode-se dizer que os benefícios observados são consequentes aos inputs, como a redução do uso de combustíveis fósseis e energia, menos emissões de GEEs tanto da produção de amônia quanto relativo ao uso de fertilizantes minerais, favorecendo custos de controle de emissões, além da redução de resíduos e seus respectivos sistemas de gestão.

Buscando obter melhores resultados no que diz respeito as metas de tratamento, o conceito de simbiose industrial é uma peça-chave e fundamental para maior adesão com relação ao tratamento de dejetos da suinocultura para posterior produção de biofertilizante.

4.2 Simbiose Industrial

Na figura 5 é representado o cenário BAU de 10 anos (2010 a 2020), no qual a meta de tratamento é estipulada de acordo com o Plano ABC, bem como o período estabelecido. Após

2020, são definidos 30 anos para atingir a meta (30y). Nesse cenário, não são consideradas ações ou políticas que busquem favorecer o tratamento, apenas analisar o resultados do plano.

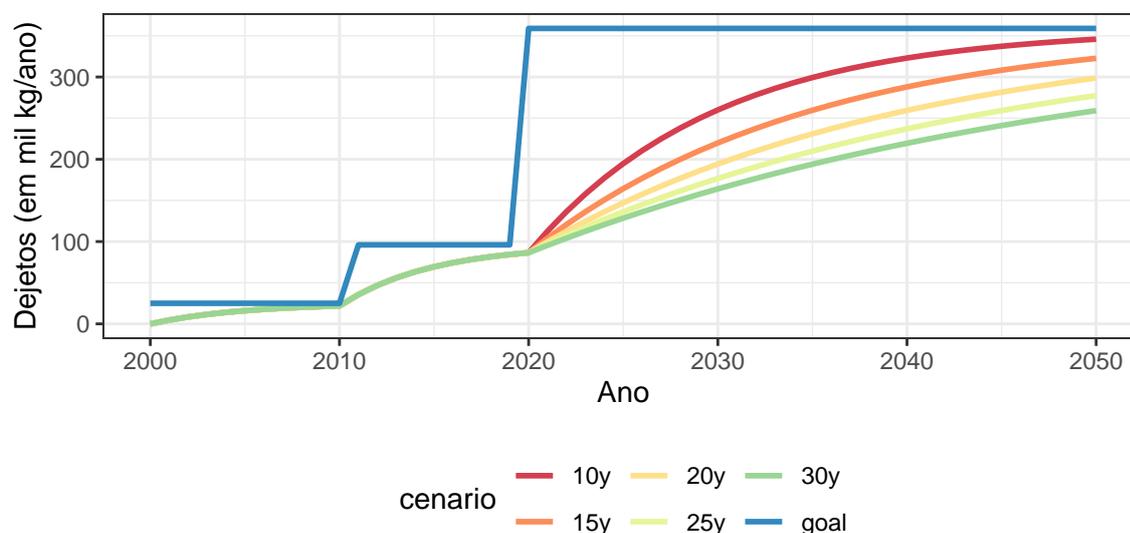


Figura 5: Cenários de atendimento às metas

No cenário BAU, a meta estipulada para o período é atingida somente após 2024, também não alcançando a meta de valores estabelecidos até 2050, atingindo no máximo 208 mil *kg* de dejetos tratados, um valor muito inferior ao pretendido, considerando que em longo prazo espera-se que o tratamento por DA esteja mais difundido e aplicável.

Porém, esse cenário não é o ideal. As questões de sustentabilidade estão cada vez mais críticas, mostrando que são necessárias mudanças em diferentes dimensões. Por isso, políticas e incentivos que promovam a simbiose industrial são indispensáveis para que essa cooperação e parceria venham a se concretizar na prática.

Um exemplo de política brasileira que pode influenciar de forma positiva é o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB), que tem como objetivo ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos para a promoção do desenvolvimento sustentável da agropecuária brasileira (MAPA, 2020). Corroborando, de acordo com Wang et al. (2018), para estender o uso de biofertilizantes, políticas nacionais, incluindo subsídios, são indispensáveis para estabelecer a infraestrutura necessária para coletar, armazenar, tratar e distribuir o produto.

E outro fator importante para o estímulo a simbiose industrial é a respeito da capacidade institucional, na qual há a capacitação institucional e que envolve os processos (em redes de atores) que a desenvolvem (Lindfors, Gustafsson, Anderberg, Eklund, & Mirata, 2020), podendo então ampliar o engajamento na colaboração e cooperação. Esses atores são produtores, consumidores, indústrias, instituições e demais partes interessadas.

Os autores Lindfors et al. (2020) analisaram uma série de *workshops* e atividades provisórias que foram empregues para fortalecer a capacidade institucional para aumentar a produção e o uso de biogás no município de Norrköping, na Suécia e concluíram que, os mesmos permitiram que os atores se familiarizassem, aprendessem juntos e elaborassem estratégias, sem exigir muito investimento dos participantes ou do organizador, criando assim um ambiente favorável.

Por esse motivo, as associações também são fundamentais nesse processo de troca de conhecimento, inserção de atores, *networking*, aproximação e alinhamento de objetivos. No setor

do biogás, as associações mais importantes e conhecidas para o impulsionamento da tecnologia são a ABiogás que possui fórum para trocas de experiência e engajamento do setor e o CIBiogás, que também promovem eventos e capacitações para os interessados.

Dessa forma, a promoção de ações como fóruns, eventos, cursos, workshops e demais ações que propiciem um ambiente que gere troca de conhecimento, interações entre atores, ampliação da perspectiva a respeito de trocas, são indispensáveis para que os atores tenham visão estratégica e busquem criar ações que de fato os solucionem e também tragam benefícios para toda a rede.

A simbiose industrial deve ser vista como uma oportunidade de negócio, visto que tem impactos na redução de custos ao utilizar subprodutos como matéria-prima no processo ao invés de matéria virgem, quando em cooperação com produtores locais, há uma proximidade geográfica que favorece os custos de logística e transporte, redução de custos de gerenciamento residual e além de tornar a empresa ambientalmente mais sustentável.

Sendo assim, analisar como as políticas e demais ações podem influenciar e impactar na cadeia produtiva visando o tratamento de resíduos e produção de biofertilizante são importantes no que se refere ao tempo de ajuste para atingir metas e o quanto dessas metas são atingidas.

Considerando a análise anterior relacionada as dimensões da sustentabilidade da economia circular, pode-se ter como exemplo os subsídios financeiros como um fator para a redução desse tempo. Sabe-se que os custos de investimento são uma barreira para a adoção da biodigestores e ao tratamento dos dejetos por meio da digestão anaeróbica, justamente por nem sempre o produtor possuir condições para tal finalidade. Com isso, oferecer subsídios e fomentar a adoção dessa tecnologia de tratamento por meio de créditos e financiamentos, torna-se mais viável a construção dessas plantas de biodigestores, estimulando para que mais atores adquiram esses equipamentos e, com isso, atenda uma maior parcela de produtores, com isso, influenciando na quantidade de dejetos tratados ao decorrer do tempo.

As outras linhas da figura 5 demonstram como a redução do tempo de ajuste nas metas pode impulsionar o potencial produtivo de biofertilizante. Essa redução de tempo e, conseqüente, aumento do potencial de produção, pode ser obtido por meio das medidas que favoreçam a simbiose industrial, seja por meio de políticas, como por exemplo os subsídios ou pela capacidade institucional que proporcione esses conhecimentos convergentes.

Ao reduzir o tempo de ajuste de 30 anos para 10 anos, o valor de dejetos tratados começa a ficar mais próximo a meta a partir de 2040, sendo que ao considerar o tempo inicial, o tratamento total de aproxima de 208 mil *kg/ano*, enquanto no menor tempo de ajuste esse valor é maior que 277 mil *kg/ano*, ficando próximo a meta de tratamento estimada para 2050 de 288 mil *kg/ano*.

Porém, ainda que o melhor cenário se apresente no tempo de ajuste de 10 anos, atualmente não se percebe muito a viabilidade desse tempo, justamente porque não há estrutura e, apesar de estar se tornando uma tecnologia mais difundida, ainda há a falta de políticas, engajamento e ações que tornem essas práticas mais aplicável em grande escala. Além disso, fatores econômicos são uma forte barreira do setor, podendo ser sanados por meio dessa troca com indústrias que geram biofertilizante, trazendo benefícios para toda a cadeia, além de demais benefícios ambientais e sociais.

Sendo assim, após apresentar alguns pontos nos quais a simbiose industrial pode beneficiar o direcionamento para a EC, a figura 6 demonstra a relação desses fatores na cadeia de produção de biofertilizante por meio das setas roxas.

Ao considerar políticas como o Programa Nacional de Bioinsumos (PNB), que fomenta o

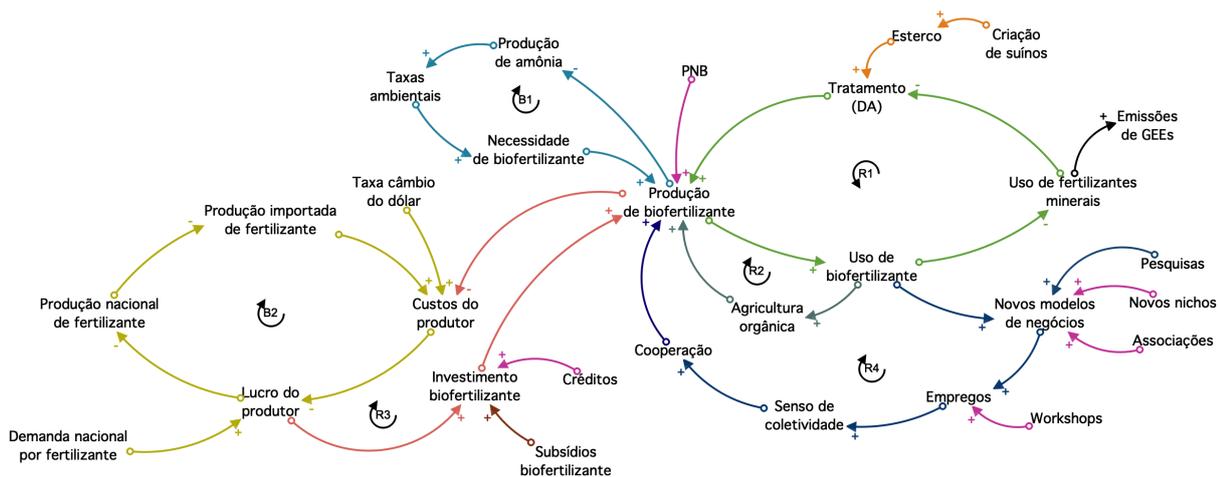


Figura 6: Fatores da simbiose industrial na cadeia de biofertilizante (em roxo)

uso de bioinsumos, causa um impacto positivo na produção de biofertilizantes, pois vai aumentar a demanda pelo produto, assim como o fornecimento de créditos para investir nessas plantas de tratamento. Além disso, devido a questões referentes a sustentabilidade, aumenta-se o nicho de atores que buscam mudanças no consumo, abrindo espaço para que novos modelos de negócios se desenvolvam para suprir essa necessidade. Ademais, as associações por meio de fóruns, cursos, eventos e demais ações, proporcionam a troca de experiência e conhecimento entre atores, dando a oportunidade dos atores compreenderem o que o mercado precisa e como podem atender essa demanda. Com esses negócios, há um aumento na geração de empregos e da necessidade de pessoas qualificadas, onde os workshops podem auxiliar nessas capacitações, criando um campo favorável para esse compartilhamento de ideias e networking, fazendo com que a comunidade compreenda a importância dessa cooperação para a sociedade.

O conceito de simbiose industrial é um meio de estimular diferentes atores a darem um rumo da economia linear para a circular, principalmente na agropecuária, ao utilizar esses resíduos da suinocultura para produzir um produto de valor agregado e que pode ser utilizado na agricultura, substituindo um produto advindo de combustíveis fósseis e trazendo muitos benefícios, conforme discutidos anteriormente com base nas três dimensões da economia circular.

5 CONCLUSÃO

A produção de biofertilizante com dejetos provenientes da suinocultura do estado de Santa Catarina se mostra viável quando se trata do tratamento desses dejetos por meio da digestão anaeróbica e também na análise das três dimensões da sustentabilidade da economia circular: ambiental, econômica e social.

Na dimensão ambiental, os pontos principais são relativos ao tratamento de dejetos e as emissões de óxido nitroso (N_2O). Por isso, visando o fechamento do ciclo biológico na agropecuária, o tratamento de dejetos suínos tende a crescer conforme as metas estabelecidas no Plano ABC, bem como o potencial produtivo de biofertilizante, atingindo aproximadamente 208 mil m^3 em 2050 no cenário BAU.

A dimensão econômica é impactada por se tratar de variáveis envolvendo custos de importação de fertilizantes nitrogenados, taxas ambientais, custos implícitos ao produtor, além de investimentos para a implementação de biodigestores, demonstrando de forma qualitativa a

importância da implementação de políticas e subsídios que fomentem a adesão a essa tecnologia.

Por fim, na dimensão social, são encontrados benefícios como a criação de novos modelos de negócios ao identificar novos nichos de consumidores que buscam formas sustentáveis de produção e, como consequência, a geração de empregos.

Ao analisar sob a perspectiva da EC, o processo de tratamento de dejetos da suinocultura por meio da DA para a produção de biofertilizante é um método de fechamento de ciclos praticável, porém, não apresenta um desenvolvimento relevante devido a falta de políticas que disseminem uma cultura de agropecuária mais sustentável, políticas que tornem mais restritivo ou dificulte o consumo de fertilizantes químicos, ações que promovam essa conscientização e identifiquem práticas as quais podem ser adotadas pelas partes interessadas, além das políticas de subsídios aos investimentos.

Por isso, para tornar essa produção de biofertilizante mais acessível, a simbiose industrial traz conceitos de cooperação entre partes interessadas que possuem objetivos em comum. Ao criar um ambiente favorável, esses atores gerenciam seus resíduos como fonte de matéria-prima para outro ator, sendo assim, não é necessário possuir um gerenciamento para descarte adequado, mas sim, disponibilizá-lo para que sirva como matéria-prima para outra cadeia produtiva, maximizando o tempo de vida útil e agregando valor.

Dessa forma, ações que visem essa cooperação e ambiente, bem como políticas que incentivem esse mercado consumidor mais sustentável, são indispensáveis para obter bons resultados, visando assim a circularidade no processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antoniou, N., Monlau, F., Sambusiti, C., Ficara, E., Barakat, A., & Zabaniotou, A. (2019). [Contribution to circular economy options of mixed agricultural wastes management: Coupling anaerobic digestion with gasification for enhanced energy and material recovery](#). *Journal of Cleaner Production*, 209, 505–514. Elsevier BV.
- Baclocchi, R., Carnevale, E., Corti, A., Costa, G., Lombardi, L., Olivieri, T., Zanchi, L., et al. (2013). [Innovative process for biogas upgrading with CO₂ storage: Results from pilot plant operation](#). *Biomass and Bioenergy*, 53, 128–137. Elsevier BV.
- Balanay, R., & Halog, A. (2019). [Tools for circular economy](#). *Circular economy in textiles and apparel* (pp. 49–75). Elsevier.
- Bartelmus, P. (2003). [Dematerialization and capital maintenance: Two sides of the sustainability coin](#). *Ecological Economics*, 46(1), 61–81. Elsevier BV.
- Boons, F., Spekkink, W., & Mouzakitis, Y. (2011). [The dynamics of industrial symbiosis: A proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review](#). *Journal of Cleaner Production*, 19(9-10), 905–911. Elsevier BV.
- Chertow, M. R. (2000). [INDUSTRIAL SYMBIOSIS: Literature and taxonomy](#). *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337. Annual Reviews.
- Chertow, M. R. (2007). ["Uncovering" industrial symbiosis](#). *Journal of Industrial Ecology*, 0(0), 070301071346001. Wiley.
- Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2020). [Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy](#). *Bioresource Technology*, 295, 122223. Elsevier BV.
- Cornejo, C., & Wilkie, A. C. (2010). [Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador](#). *Energy for Sustainable Development*, 14(4), 256–266. Elsevier BV.
- Cruz, A. C., Pereira, F. S., & Figueiredo, V. S. (2017). FERTILIZANTES ORGANOMINERAIS DE RESÍDUOS DO AGRONEGÓCIO: AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ECONÔMICO

BRASILEIRO. *BNDES Setorial*.

- Ellen MacArthur Foundation. (2017). Rumo a economia circular: O racional de negócio para acelerar a transição. Retrieved from https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_SumarioExecutivo.pdf
- Ford, A. (2009). *Modeling the environment, second edition*. Island Press. Retrieved from https://www.ebook.de/de/product/8760227/andrew_ford_modeling_the_environment_second_edition.html
- Francesco, M., Clelia, G., Martina, Z., Gaetano, C., & Giacomo, D. F. (2017). BIOGAS PRODUCTION BY MEANS OF LIVESTOCK COMPOST. Retrieved from http://www.procedia-esem.eu/pdf/issues/2017/no2/18_Mauceri_17.pdf
- Gontard, N., Sonesson, U., Birkved, M., Majone, M., Bolzonella, D., Celli, A., Angellier-Coussy, H., et al. (2018). A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(6), 614–654. Informa UK Limited.
- Healey, P., Magalhaes, C. de, Madanipour, A., & Pendlebury, J. (2003). *Place, identity and local politics: Analysing initiatives in deliberative governance*. *Deliberative policy analysis* (pp. 60–87). Cambridge University Press.
- IBGE. (2019). Pesquisa da pecuária municipal. Retrieved from <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>
- Ingrao, C., Faccilongo, N., Gioia, L. D., & Messineo, A. (2018). Food waste recovery into energy in a circular economy perspective: A comprehensive review of aspects related to plant operation and environmental assessment. *Journal of Cleaner Production*, 184, 869–892. Elsevier BV.
- Jensen, P. D., Basson, L., Hellawell, E. E., Bailey, M. R., & Leach, M. (2011). Quantifying “geographic proximity”: Experiences from the united kingdom's national industrial symbiosis programme. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(7), 703–712. Elsevier BV.
- Junqueira, S. L. C. D. (2014). *GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE BIOGÁS PROVENIENTE DE ESTERCO BOVINO: UM ESTUDO DE CASO NA FAZENDA ATERRADO* (Master's thesis). Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. Elsevier BV.
- Kunz, A., Higarashi, M. M., & Oliveira, P. A. (2005). Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no brasil. *Caderno de Ciência e Tecnologia*, 22(3), 652–665.
- Kunz, A., Miele, M., & Steinmetz, R. L. R. (2009). Advanced swine manure treatment and utilization in brazil. *Bioresource Technology*, 100(22), 5485–5489. Elsevier BV.
- Kunz, A., & Oliveira, P. A. V. de. (2006). Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. *Revista de Política Agrícola*.
- Lima, & Miranda. (2014). Análise da viabilidade econômico financeira do aproveitamento do biogás para produção de energia elétrica. *Custos e Agronegócio*, 10, 83–99.
- Lindfors, A., Gustafsson, M., Anderberg, S., Eklund, M., & Mirata, M. (2020). Developing biogas systems in norrköping, sweden: An industrial symbiosis intervention. *Journal of Cleaner Production*, 277, 122822. Elsevier BV.
- Linquist, B. A., Adviento-Borbe, M. A., Pittelkow, C. M., Kessel, C. V., & Groenigen, K. J. V. (2012). Fertilizer management practices and greenhouse gas emissions from rice systems: A quantitative review and analysis. *Field Crops Research*, 135, 10–21. Elsevier BV.
- Lofhagen, J. C. P., Boollmann, H. A., & Scott, C. (2018). Collective agroenergy generation in family agriculture: The ajuricaba condominium case study in brazil. *Revista Tecnologia e*

- Sociedade*, 14(34), 35–61.
- MAPA. (2020). Bioinsumos. Retrieved from https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/material-para-imprensa/pt/release-04-programanacionalbioinsumos_divulgacao
- Oliveira, L. G. S. D., & Negro, S. O. (2019). [Contextual structures and interaction dynamics in the brazilian biogas innovation system](#). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 462–481. Elsevier BV.
- Oliver, A. P. M., Souza Neto, A. A., Quadros, D. G., & Valladares, R. E. (2008). *Manual de treinamento em biodigestão*. Instituto Winrock – Brasil.
- Porritt, J. (2011). The five capitals model – a framework for sustainability. Forum for the future. Retrieved from <https://www.forumforthefuture.org/the-five-capitals>
- Saavedra, Y. M. B., Iritani, D. R., Pavan, A. L. R., & Ometto, A. R. (2018). [Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy](#). *Journal of Cleaner Production*, 170, 1514–1522. Elsevier BV.
- Santos, I. F. S. dos, Vieira, N. D. B., Nóbrega, L. G. B. de, Barros, R. M., & Filho, G. L. T. (2018). [Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 54–63. Elsevier BV.
- Takemura, K., Endo, R., Shibuya, T., & Kitaya, Y. (2019). [Application of biogas digestate as a nutrient solution for the hydroponic culture of chrysanthemum morifolium ramat with rockwool substrate](#). *Waste and Biomass Valorization*, 11(6), 2645–2650. Springer Science; Business Media LLC.
- Tsachidou, B., Daigneux, B., Hissler, C., George, I., & Delfosse, P. (2019). *BIOGAS RESIDUES IN SUBSTITUTION FOR CHEMICAL FERTILIZERS: CONVERTING ORGANIC WASTE INTO RESOURCE*. 27th European Biomass Conference and Exhibition.
- Tsachidou, B., Scheuren, M., Gennen, J., Debbaut, V., Toussaint, B., Hissler, C., George, I., et al. (2019). [Biogas residues in substitution for chemical fertilizers: A comparative study on a grassland in the walloon region](#). *Science of The Total Environment*, 666, 212–225. Elsevier BV.
- Venturini, L. D. B. (2015). O modelo triple bottom line e a sustentabilidade na administração pública: Pequenas práticas que fazem a diferença. Universidade Federal de Santa Maria.
- Vieira, R. F. (2017). Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas. Embrapa.
- Wang, Y., Zhu, Y., Zhang, S., & Wang, Y. (2018). [What could promote farmers to replace chemical fertilizers with organic fertilizers?](#) *Journal of Cleaner Production*, 199, 882–890. Elsevier BV.
- Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). [Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources](#). *Bioresource Technology*, 99(17), 7928–7940. Elsevier BV.