

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE DE RIBEIRÃO PRETO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO DE ORGANIZAÇÕES

ANDRÉ GUSTAVO DE BRITO THOMAZ

A avaliação de desempenho ambiental como ferramenta de estímulo ao desenvolvimento de inovação sustentável

ORIENTADOR: PROF^a. DR^a. SIMONE VASCONCELOS RIBEIRO GALINA

RIBEIRÃO PRETO

2023

Carlos Gilberto Carlotti Junior

Reitor da Universidade de São Paulo

Fabio Augusto Reis Gomes

Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto

João Luiz Passador

Chefe do Departamento de Administração

ANDRÉ GUSTAVO DE BRITO THOMAZ

A avaliação de desempenho ambiental como ferramenta de estímulo ao desenvolvimento de inovação sustentável

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração de Organizações da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências. Versão Corrigida. A original encontra-se disponível na FEA-RP/USP.

ORIENTADOR: PROF^a. DR^a. SIMONE VASCONCELOS RIBEIRO GALINA

RIBEIRÃO PRETO

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

Thomaz, André Gustavo de Brito

A avaliação de desempenho ambiental como ferramenta de estímulo ao desenvolvimento de inovação sustentável. Ribeirão Preto, 2023.

214 p.: il ; 30 cm

Tese de doutorado, apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto/USP. Área de concentração: Administração de Organizações.

Orientadora: Galina, Simone Vasconcelos Ribeiro.

1. Avaliação de desempenho ambiental. 2. Inovação Sustentável. 3. Alianças para inovação. 4. Sustentabilidade. 5. Usina Sucroenergética.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que não se fazem mais presentes entre nós, mas com toda certeza desse mundo, estariam felizes com minhas conquistas acadêmicas. Obrigado por tudo Augusto e Celina.

AGRADECIMENTOS

Agradeço pela realização deste trabalho: aos meus pais, que não se fazem mais presentes entre nós, mas com toda certeza desse mundo, estariam felizes com minhas conquistas acadêmicas. Obrigado por tudo Augusto e Celina. Agradeço à minha esposa e filha. Agradeço à orientadora Simone que foi fundamental nessa jornada e se mostrou ser uma pessoa incrível. Agradeço aos professores e à USP, aos meus amigos. Agradeço à Deus e sempre agradecerei. Aos que não se fazem presentes nos agradecimentos, saibam que sou grato por cada palavra, conselho, direcionamento.

RESUMO

THOMAZ, A. G. B. **A avaliação de desempenho ambiental como ferramenta de estímulo ao desenvolvimento de inovação sustentável.** 2023. 214f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023.

A avaliação de desempenho ambiental (ADA) é vista como uma ferramenta para medir o progresso das empresas em relação às suas práticas ambientais. As empresas buscam a mitigação dos impactos ambientais, a promoção da sustentabilidade, a identificação de oportunidades de melhoria e o monitoramento de seus resultados. Para garantir a sustentabilidade empresarial a longo prazo, além da adoção de práticas sustentáveis é necessário também investir em inovação sustentável, buscando soluções mais eficientes e sustentáveis para as atividades empresariais. A inovação sustentável tem sido considerada relevante para o sucesso econômico e competitividade das empresas e uma das principais formas de se alcançar um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado. A inovação sustentável cria valor econômico, social e ambiental por meio de produtos e serviços que promovem a eficiência de recursos. Nesse contexto, o setor sucroenergético apresenta-se como um setor relevante para o estudo da relação entre a aplicação de ADA e inovação sustentável. Nesse sentido, foi proposto responder a seguinte pergunta de pesquisa: como a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimula o desenvolvimento de inovação sustentável? Para atender aos objetivos, a aplicação do trabalho foi estruturada em duas etapas: a "Etapa 1" consistiu na construção de uma estrutura de ADA (desenvolvendo o índice de ADA Iadaus) para posteriormente aplicá-la em 3 usinas sucroenergéticas sendo a primeira aplicação em 2017 e a segunda aplicação em 2022, e a "Etapa 2", se baseou no método de estudo de caso múltiplo para analisar o desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA. Além disso, caracterizamos as parcerias realizadas para desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA. O Índice de ADA (Iadaus) mostrou ser uma métrica que pode efetivamente medir o impacto ambiental de uma empresa, e trouxe para as usinas sucroenergéticas maior consciência para a gestão de problemas ambientais. Evidenciou-se que as empresas estudadas buscaram alavancar a inovação sustentável após aplicação da ADA por meio de uma série de iniciativas estratégicas como promover a conscientização sobre questões ambientais, estabelecer metas de sustentabilidade, buscar colaboração com parceiros externos e integrar práticas de sustentabilidade na organização. O estudo revelou a importância de estabelecer parcerias para impulsionar a inovação sustentável, destacando a escolha do parceiro adequado, com similaridades técnicas e culturais para o alcance de resultados positivos. Por fim, ficou nítido que a aplicação da ADA estimulou a inovação sustentável ao fornecer uma visão clara sobre os aspectos ambientais das empresas, identificando áreas de melhoria e oportunidades de inovação sustentável. No entanto, a ADA não foi considerada como o fator decisivo para as empresas buscarem parcerias para desenvolver inovação sustentável.

Palavras-chave: Avaliação de desempenho ambiental, Inovação Sustentável, Alianças para inovação, Sustentabilidade, Usina Sucroenergética.

ABSTRACT

THOMAZ, A. G. B. **Environmental performance assessment as a tool to encourage the development of sustainable innovation.** 2023. 214f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2023.

Environmental performance assessment (ADA) is seen as a tool to measure companies' progress in relation to their environmental practices. Companies seek to mitigate environmental impacts, promote sustainability, identify opportunities for improvement and monitor their results. To ensure long-term business sustainability, in addition to adopting sustainable practices, it is also necessary to invest in sustainable innovation, seeking more efficient and sustainable solutions for business activities. Sustainable innovation has been considered relevant to the economic success and competitiveness of companies and one of the main ways to achieve more sustainable and balanced development. Sustainable innovation creates economic, social and environmental value through products and services that promote resource efficiency. In this context, the sugar-energy sector presents itself as a relevant sector for studying the relationship between the application of ADA and sustainable innovation. In this sense, it was proposed to answer the following research question: how does the application of Environmental Performance Assessment (ADA) stimulate the development of sustainable innovation? To meet the objectives, the application of the work was structured in two stages: "Stage 1" consisted of building an ADA structure (developing the Iadaus ADA index) to later apply it in 3 sugar-energy plants, the first application in 2017 and the second application in 2022, and "Step 2", was based on the multiple case study method to analyze the development of sustainable innovation after application of ADA. Furthermore, we characterize the partnerships made to develop sustainable innovation after applying the ADA. The ADA Index (Iadaus) proved to be a metric that can effectively measure a company's environmental impact, and brought sugar and energy plants greater awareness of the management of environmental problems. It was evident that the companies studied sought to leverage sustainable innovation after applying the ADA through a series of strategic initiatives such as promoting awareness about environmental issues, establishing sustainability goals, seeking collaboration with external partners and integrating sustainability practices into the organization. The study revealed the importance of establishing partnerships to boost sustainable innovation, highlighting the choice of the appropriate partner, with technical and cultural similarities to achieve positive results. Finally, it was clear that the application of ADA stimulated sustainable innovation by providing a clear view of the environmental aspects of companies, identifying areas for improvement and opportunities for sustainable innovation. However, ADA was not considered as the deciding factor for companies to seek partnerships to develop sustainable innovation.

Keywords: Environmental performance assessment, Sustainable Innovation, Alliances for innovation, Sustainability, Sugar-energy plant.

Lista de Figuras

Figura 1 - Fluxograma genérico das etapas produtivas de uma usina sucroenergética	30
Figura 2 - Mapa conceitual da pesquisa.....	58
Figura 3 - Limitações da pesquisa para o setor sucroenergético	63
Figura 4 - Estrutura do método	72
Figura 5 - Estrutura de análise hierárquica para ponderação dos R/S	90
Figura 6 - Ra(i) Razão dos dezessete R/S da usina	91
Figura 7 - Potencial de impacto dos R/S nos compartimentos ar, solo e água.....	92
Figura 8 - Programas de gestão ambiental empresa B	146
Figura 9 - Comportamentos para desenvolvimento de inovação sustentável.....	153

Lista de Quadros

Quadro 1 - Resumo do modelo metodológico	60
Quadro 2 - Constructo das variáveis	61
Quadro 3 – Classificação da pesquisa	72
Quadro 4 – Protocolo estudo de caso	73
Quadro 5 – Características das empresas selecionadas e coleta de dados	74
Quadro 6 – Perfil dos entrevistados	80
Quadro 7 – Índices de Normalização baseados no EDIP 97	88
Quadro 8 – Objetivos de desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA	119
Quadro 9 – Procedimentos internos das empresas estudadas após aplicação da ADA	120
Quadro 10 – Alvos de inovação sustentável após aplicação da ADA nas empresas selecionadas	139
Quadro 11 – Inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA	140
Quadro 12 - Tipos de inovação sustentável e estímulo da ADA	147
Quadro 13 – Benefícios ambientais, sociais e econômicos evidenciados pela pesquisa nas empresas desse estudo	151
Quadro 14 - Características das parcerias bem-sucedidas	155
Quadro 15 - Características das parcerias fracassadas	156

Lista de Tabelas

Tabela 1 – R/S da indústria sucroenergética.....	34
Tabela 2 – Matriz de amarração	82
Tabela 3 – Substâncias que compõem a vinhaça	84
Tabela 4 – Substâncias que compõem a vinhaça no âmbito brasileiro	84
Tabela 5 - Quantidade, EF e potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade da vinhaça	86
Tabela 6 – Potencial consolidado de toxicidades da vinhaça.....	86
Tabela 7 –Toxicidade Humana e Ecotoxicidade para os R/S da usina sucroenergética	87
Tabela 8 - Normalização dos Potenciais para os R/S da usina.	88
Tabela 9 - Peso relativo dos 17 R/S da usina sucroenergética	91
Tabela 10 - Quantidade absoluta (bi) dos R/S	93
Tabela 11 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa A.....	93
Tabela 12 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa B.....	94
Tabela 13 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa C.....	95
Tabela 14 – Índice de ADA Iadaus para a empresa A.....	95
Tabela 15 – Índice de ADA Iadaus para a empresa B.....	96
Tabela 16 – Índice de ADA Iadaus para a empresa C	97
Tabela 17 - Quantidade absoluta (bi) dos R/S	98
Tabela 18 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa A.....	98
Tabela 19 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa B	99
Tabela 20 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa C.....	100
Tabela 21 – Índice de ADA Iadaus para a empresa A.....	100
Tabela 22 – Índice de ADA Iadaus para a empresa B.....	101
Tabela 23 – Índice de ADA Iadaus para a empresa C	102
Tabela 24 – R/S e sua destinação final empresa A.....	103
Tabela 25 – R/S e sua destinação final empresa B.....	104
Tabela 26 – R/S e sua destinação final empresa C	104

Sumário

1. Introdução	12
1.1. Objetivo da pesquisa	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	16
2. Revisão da Literatura	17
2.1. Avaliação de desempenho ambiental	20
2.2. Indicadores de ADA.....	25
2.3. Etapas produtivas da indústria sucroenergética.....	29
2.4. Inovação.....	35
2.5. Inovação sustentável	40
2.5.1 Motivos para investimentos em inovação sustentável	46
2.6. Alianças para inovação sustentável	49
2.7. Mapa da pesquisa	56
3. Método	59
3.1. Etapa 1 – Construção da estrutura de ADA	62
3.1.2. Mapeamento dos processos produtivos	64
3.1.3. Cálculo dos potenciais de toxicidade utilizando o EDIP 97	64
3.1.3.1 <i>Potencial de ecotoxicidade</i>	64
3.1.3.2. <i>Potencial de Toxicidade humana</i>	66
3.1.4. Normalização	66
3.1.5. Desenvolvimento de um Índice de Avaliação de Desempenho Ambiental em Usinas Sucroenergéticas (<i>Iadaus</i>).....	67
3.1.6. Aplicação da ADA na indústria sucroenergética	70
3.2. Etapa 2 – Estudo de casos múltiplos	70
3.3. Protocolo do Estudo de Caso	73
3.4. Definição e seleção dos casos	74
3.4.1. Empresa A.....	76
3.4.2. Empresa B.....	76
3.4.3. Empresa C.....	77
3.5. Coleta de dados	78
3.6. Análise de conteúdo	81
3.7. Matriz de Amarração	82
4. Apresentação dos resultados	83
4.1. Etapa 1 - Cálculo dos potenciais para aplicação da ADA	83
4.1.2 Análise hierárquica para cálculo do peso relativo dos R/S.....	88
4.1.3 Aplicação da estrutura metodológica em 2017.....	92
4.1.4 Aplicação da estrutura metodológica em 2022.....	97
4.2. Etapa 2 – Desenvolvimento de inovação sustentável	103

4.2.1 – Inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA	106
4.2.2 – Fatores de estímulo ao desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA	117
4.2.2.1 – Motivação e objetivos para o desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA	117
4.2.3 – Parcerias para o desenvolvimento de inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA	124
4.2.3.1 – Parceria bem sucedida na empresa A	124
4.2.3.2 – Parceria fracassada na empresa A.....	126
4.2.3.3 – Parceria bem sucedida na empresa B	127
4.2.3.4 – Parceria fracassada na empresa B.....	128
4.2.3.5 – Parceria bem sucedida na empresa C	129
4.2.3.6 – Parceria fracassada na empresa C.....	130
5. Discussão dos resultados	132
5.1. Fase 1 - aplicação da ADA em 2 etapas.....	132
5.2. Fase 2 – o impacto da ADA na inovação sustentável dos casos	138
5.2.1. – avaliação dos fatores de estímulo ao desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA	143
5.2.2 – avaliação do impacto da implantação da ADA na inovação sustentável .	147
5.2.3 – Benefícios nos aspectos ambiental, social e econômico do desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA	150
5.2.4 – Avaliação do comportamento das empresas para desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA.....	151
5.2.5 - Avaliação das parcerias para o desenvolvimento de inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA.....	153
5.3. Síntese das contribuições do estudo	161
6. Considerações finais.....	163
6.1 Limitações e sugestões de pesquisas futuras.....	166
Referências	170
APÊNDICE A - Roteiro de Entrevista em Profundidade.....	203
APÊNDICE B - Roteiro de Entrevista em Profundidade.....	206

1. Introdução

A busca por desenvolvimento sustentável tornou-se cada vez mais presente na atualidade, e a aplicação de práticas de gestão ambiental é fundamental para alcançá-lo. Nesse sentido, a avaliação de desempenho ambiental (ADA) é vista como uma ferramenta para a medição do progresso das empresas em relação às suas práticas ambientais. A ADA tem se tornado cada vez mais importante na gestão ambiental de empresas em todo o mundo, buscando a mitigação dos impactos ambientais e a promoção da sustentabilidade (Cai et al., 2017; Munksgaard et al., 2017).

Através da ADA, as empresas podem avaliar seus impactos ambientais, identificar oportunidades de melhoria e monitorar seus resultados. A ADA é uma ferramenta fundamental para a gestão ambiental e a sustentabilidade empresarial. A aplicação de práticas de gestão ambiental pode levar a aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e melhorar a qualidade dos produtos, além de oferecer vantagem competitiva para as empresas. Além disso, a adoção de práticas sustentáveis pode gerar benefícios econômicos, como reduzir os custos de operação e melhorar a imagem da empresa frente os consumidores e a sociedade em geral (ABNT, 2015; Hariz; Bahmed, 2013).

No entanto, para garantir a sustentabilidade empresarial a longo prazo, além da adoção de práticas sustentáveis é necessário também investir em inovação sustentável, buscando soluções mais eficientes e sustentáveis para as atividades empresariais. A inovação sustentável tem sido considerada um fator crucial para o sucesso econômico e competitividade das empresas e uma das principais formas de se alcançar um desenvolvimento mais sustentável e equilibrado (Chesbrough, 2010; Barbosa et al., 2020).

A inovação sustentável é um dos principais desafios da atualidade, uma vez que é necessário envolver o crescimento econômico e a preservação do ambiente. A inovação sustentável pode ser entendida como a criação de produtos, processos ou tecnologias que promovam o desenvolvimento econômico de forma sustentável e responsável (Cillo et al., 2019; OECD, 2018). A inovação sustentável busca otimizar a eficiência do uso de recursos naturais, reduzir a pegada ecológica e gerar impactos sociais positivos. Essa inovação é contínua e visa a criação de novos produtos, serviços e modelos de negócio que

geram valor compartilhado, preservem os recursos naturais e fortaleçam as relações sociais. A inovação sustentável cria valor econômico, social e ambiental por meio de produtos e serviços que promovem a eficiência de recursos, a redução de resíduos e uma melhora na qualidade de vida da população (Pascale, 2021; Shin et al. 2018; Kneipp et al., 2019; Varadarajan 2017).

Nesse sentido, a ADA desempenha um papel importante no estímulo à inovação sustentável. A partir da avaliação dos impactos ambientais, as empresas podem identificar oportunidades de inovação e desenvolver soluções mais eficientes e sustentáveis. A combinação de práticas de gestão ambiental e inovação sustentável pode levar a benefícios como reduzir custos de operação, aumentar a eficiência da matriz energética e a melhorar a imagem da empresa perante os consumidores e a sociedade em geral (Cillo et al., 2019; Bocken et al. 2014; Kneipp et al. 2019).

A aplicação de práticas de gestão ambiental pode ser um catalisador para a inovação sustentável, uma vez que cria um ambiente favorável para a geração de novas ideias e soluções criativas. Isso pode levar a um aumento na motivação dos funcionários e melhorias na comunicação interna e externa, o que pode resultar em um impacto positivo na imagem da empresa (Ortiz-de-Mandojana et. al, 2019). A aplicação de práticas de gestão ambiental, como a ADA, pode ser um fator importante para a obtenção de financiamento e investimento em projetos de inovação sustentável (Cezarino et. al., 2019; Slawinski et. al. 2015).

Nesse contexto, o setor sucroenergético apresenta-se como um setor relevante para a criação de um framework de ADA e consequente estudo da relação entre a aplicação de ADA e inovação sustentável. A produção de açúcar e álcool é uma atividade que apresenta desafios significativos em termos de gestão ambiental, tais como o uso intensivo de recursos naturais e a geração de resíduos e subprodutos (R/S). No entanto, o setor tem se mostrado cada vez mais comprometido com a sustentabilidade e buscado soluções inovadoras para a redução de possíveis impactos negativos no ambiente (Thomaz, 2017). Acredita-se que os resultados obtidos nessa pesquisa possam ser aplicados em outras usinas sucroenergéticas e em outros setores que enfrentam desafios similares em relação à gestão ambiental e inovação sustentável.

Diante do exposto, propomos responder a seguinte pergunta de pesquisa:
Como a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimula

o desenvolvimento de inovação sustentável? Para atender ao objetivo, a aplicação do trabalho foi estruturada em duas etapas, a saber: a "Etapa 1" consiste na construção de uma estrutura de ADA para posteriormente aplicá-la em 3 usinas sucroenergéticas sendo a primeira aplicação em 2017 e a segunda aplicação em 2022, e a "Etapa 2", que se baseia no método de estudo multicase para analisar o desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA. Essa abordagem permitiu desenvolver os objetivos específicos propostos e seguir com discussões pertinentes afim de se alcançar avanços na área empresarial e acadêmica.

O desenvolvimento desta pesquisa foi motivado por contribuir com o preenchimento de lacunas presentes na literatura. O interesse pelos temas sustentabilidade e inovação é crescente na literatura científica (Salim et al., 2019; Bezerra, Gohr e Morioka 2020; Buzzao & Rizzi, 2020). Os investimentos em inovação sustentável são necessários para as empresas e impactam no cumprimento das exigências legais e regulamentações, em oportunidades de novos negócios, na melhoria da imagem da empresa, no valor da marca da empresa e em avanços tecnológicos (Hart; Milstein, 2004; Tidd & Bessant, 2009).

A relação entre práticas de gestão ambiental, como a ADA e a inovação sustentável tem sido cada vez mais estudada na literatura, porém ainda há uma lacuna de estudos específicos para diferentes setores, como o sucroenergético. A ADA pode trazer clareza e mais informações que auxiliem os gestores da empresa na tomada de decisão em busca de inovação sustentável. A pesquisa sobre a relação entre esses temas é fundamental para que as empresas possam desenvolver estratégias mais sustentáveis e inovadoras. Portanto, esta pesquisa trouxe novos *insights* e contribui para o preenchimento desta lacuna. Além disso, a pesquisa busca contribuir para a literatura sobre a inovação sustentável em empresas somando-se aos trabalhos como os de Hermundsdottir (2020), Salim et. al. (2019), Cezarino (2019). Dessa forma, a ADA apresenta-se como um instrumento de acesso à informação e tomada de decisão que, de fato levarão ou não a alguns aspectos em direção à inovação sustentável.

A inovação sustentável é um tema emergente na literatura e tem sido cada vez mais discutida como uma forma de garantir a sustentabilidade empresarial (Adams et al., 2016; Bocken et al., 2014; Hansen et al., 2009; Klewitz & Hansen, 2014; Kneipp et al., 2019). Nesse sentido, esta pesquisa pode fornecer novos

conhecimentos sobre como a avaliação de desempenho ambiental pode ser utilizada como uma ferramenta para estimular a inovação sustentável em empresas. Assim, espera-se que a pesquisa contribua para a literatura e incentive novas pesquisas nesta área.

Além disso, com base nos resultados da pesquisa, destacou-se alguns novos insights específicos para o setor sucroenergético, como evidenciar a importância da avaliação de desempenho ambiental como uma ferramenta para estimular a inovação sustentável no setor sucroenergético, identificar oportunidades de melhorar o desempenho ambiental das empresas, além de fornecer informações valiosas para o desenvolvimento de novas práticas ambientais e inovações sustentáveis permitindo que as empresas do setor sucroenergético se diferenciem de seus concorrentes e atendam às demandas crescentes por produtos mais sustentáveis, como aponta, Kneipp et al. (2019), Thomaz (2017), Bocken et al. (2014).

Por fim, com a pesquisa destacou-se a importância da parceria entre empresas e instituições de pesquisa na busca por desenvolvimento de inovações sustentáveis no setor sucroenergético. Isso pode ser explicado através da colaboração entre ambas o que permite o compartilhamento de conhecimentos e recursos, além de permitir a realização de pesquisas conjuntas e o desenvolvimento de novas tecnologias.

A tese possui uma estrutura de 6 capítulos. O capítulo um aborda a introdução e o objetivo da pesquisa e os objetivos específicos. No segundo capítulo, realizamos a revisão de literatura que fundamenta nossas discussões. O terceiro capítulo é dedicado à descrição dos métodos de pesquisa utilizados. No quarto capítulo, apresentamos os resultados da pesquisa. Finalmente, o quinto capítulo trata das discussões em torno dos resultados, seguido pelas considerações finais.

1.1. Objetivo da pesquisa

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar o desenvolvimento de inovação sustentável em empresas sucroenergéticas após a aplicação de Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA).

1.1.2. Objetivos Específicos

- i. Analisar as etapas de produção da usina sucroenergética e identificar os R/S gerados provenientes do processo produtivo;
- ii. Avaliar os indicadores disponíveis para medir o potencial de impacto no ambiente e selecionar o método apropriado para calcular esses impactos;
- iii. Estabelecer uma estrutura lógica de ADA da metodologia proposta visando calcular um índice unificado de desempenho ambiental;
- iv. Aplicar a estrutura de ADA em usinas sucroenergéticas;
- v. Identificar quais são as tecnologias de processo / produto que as usinas têm desenvolvido para inovação sustentável após aplicação da ADA.
- vi. Identificar como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo / produto para inovação sustentável após aplicação da ADA.
- vii. Identificar e caracterizar as parcerias no desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA.

2. Revisão da Literatura

Nessa seção estão expostas as bases teóricas que orientam a evolução e o entendimento dos assuntos tratados nessa tese.

A presente tese concentra-se na análise da ADA como ferramenta de estímulo ao desenvolvimento de inovação sustentável em usinas sucroenergéticas. O cerne desta abordagem repousa na compreensão de que as organizações adquirem conhecimento e mobilizam seus recursos para impulsionar processos inovadores. Nesse contexto, duas bases teóricas predominam e orientam o arcabouço conceitual desta tese: a Visão Baseada em Conhecimento (VBC) ou *Knowledge-Based View (KBV)* e a Visão Baseada em Recursos (VBR) ou *Resources-Based View (RBV)*.

A VBC aponta para a alta complexidade e crescimento contínuo do conhecimento das indústrias, em especial quando envolve alta tecnologia. No entanto, há uma dificuldade para as empresas manterem em seu ambiente interno o conhecimento requerido (Sampson, 2007). Dessa forma temos na formação de alianças a oportunidade de preencher essa lacuna de conhecimento. Os estudos sobre a VBC apontam que através das alianças as empresas acessam um leque maior de informações (Lahiri e Narayanan, 2013), podendo expandir sua base de informações, uma vez que o conhecimento de cada parceiro é único e essa base é mantida mesmo após terem formado as alianças (Grant e Baden-Fuller, 2004). A VBC aponta que as empresas buscam parcerias para acessar conhecimentos externos (Vasudeva e Anand, 2011; Grant e Baden-Fuller, 2004; Caner e Tyler, 2015). Observamos em relação aos parceiros que a quantidade, o tamanho, a distância, o nível de tecnologia, a concorrência e a experiência impactam no desenvolvimento de inovação nas empresas (Gnyawali e Park, 2011; Diestre e Rajagopalan, 2012; Petruzzelli, 2011; Anand e Khanna, 2000).

Nesse contexto, é importante destacar que: i) vários estudos indicam que a habilidade das empresas para adquirir conhecimentos variados está ligada à presença de parceiros cujo conhecimento se alinha a áreas tecnológicas similares (Diestre e Rajagopalan, 2012; Rothaermel e Boeker, 2008), que podem ser absorvidos e empregados (Lane e Lubatkin, 1998); ii) o conhecimento acessível também depende se os parceiros de alianças de Pesquisa e

Desenvolvimento (P&D) geram ou recompõem o conhecimento na mesma área de negócios (Dussauge et al., 2000; Belderbos et al., 2004; Gnyawali e Park, 2011; George et al., 2001); iii) estudos indicam que a capacidade das empresas de acessar conhecimento depende das experiências desenvolvidas por cada parceiro através de alianças anteriores (Anand e Khanna, 2000); iv) o conhecimento acessível por outros parceiros de alianças também depende da quantidade de recursos tangíveis e intangíveis dos parceiros maiores (Lahiri e Narayanan, 2013).

Paralelamente, a abordagem da Visão Baseada em Recursos (RBV) destaca a aquisição de diversos tipos de recursos, incluindo recursos humanos e tecnológicos, no processo de fomentar a inovação nas empresas. Enquanto as empresas buscam otimizar seus recursos internos e externos para impulsionar a inovação, elas não estão mais restritas a depender exclusivamente das capacidades internas para esse fim, sendo que, a necessidade de adquirir recursos externos para desenvolver essas capacidades tornou-se essencial (Lavie, 2006; Enkel et al., 2009; Inauen e Schenker-Wicki, 2011; Kondev et al., 2014; Gassmann et al., 2010; West e Lakhani, 2008; Gassmann, 2006; Mowery et al., 1996; Getz e Robinson, 2003). Contribuições significativas para essa compreensão foram trazidas por estudiosos como Penrose (1959) e Grant (1991).

Dentro da VBR, as empresas utilizam seus recursos para forjar capacidades únicas que sustentem sua vantagem competitiva (Teece, 2018). A essência da VBR reside na maneira como as empresas mobilizam suas capacidades para direcionar e empregar efetivamente os recursos no processo de concepção de produtos (Augier & Teece, 2009). A perspectiva da RBV enxerga a organização como um conjunto diversificado de recursos e capacidades, os quais após serem aplicados no desenvolvimento de produtos e serviços são destinados aos clientes (Wernerfelt, 1984; AMIT; Schoemaker, 1993; Peteraf, 1993; Barney, 1995).

Os recursos representam os ativos da empresa. Esse ativo pode ser tangível ou intangível. No caso dos recursos tangíveis, eles podem ser divididos em categorias como recursos físicos, englobando instalações de produção, maquinário e propriedades, cuja utilidade é determinada pelo tempo de uso, do seu estado físico, pela capacidade de produção. Outra categoria é a de recursos

financeiros, abrangendo capital, dívidas, fundos e outros. Os recursos humanos que também fazem parte dessa dimensão incluem as pessoas. Já os recursos intangíveis são os ativos não materiais, abrangendo: informação, know-how, registro de marca, propriedade intelectual, entre outros (Barney, 1995; Johnson et al., 2007).

Os ativos, por sua vez, representam a coleção de bens e valores pertencentes a uma empresa, e podem ser classificados de acordo com Teece, Pisano e Shuen (1997) em várias categorias: (i) às tecnologias das organizações e registro de patentes; (ii) ativos financeiros; (iii) ativos de reputação; (iv) ativos de estrutura; (v) ativos institucionais; (vi) ativos complementares.

Outros pontos importantes relacionados às parcerias para inovação à luz da VBR são: i) a semelhança entre parceiros desempenha um papel essencial, facilitando o compartilhamento de conhecimento. A percepção do valor do conhecimento dos parceiros pode ser influenciada pela similaridade (Simonin, 1999); ii) quanto maior a diferença, mais difícil se torna reconhecer os benefícios potenciais derivados da parceria (Szulanski, 1996; Kostova et al., 2008); iii) diferenças significativas podem obstruir o compartilhamento e uso do conhecimento, afetando o desempenho inovador; iv) a existência de valores compartilhados, normas e padrões comportamentais, agilizam o compartilhamento de informações e fomentam a confiança, minimizando conflitos entre os membros (Sitkin e Roth, 1993; Björkman et al., 2007; Darr e Kurtzberg, 2000). Ademais, a confiança é fator decisivo na escolha de parceiros e influencia as colaborações futuras. Portanto, a confiança não apenas precede o início da colaboração, mas também sustenta sua continuidade, apontando para a relevância de sua contribuição para a geração de ideias inovadoras (Dodgson et al., 2006).

Portanto, a interseção entre a VBC e a VBR fornece um arcabouço abrangente para explorar como as empresas podem alavancar seu conhecimento e recursos para promover a inovação sustentável estimuladas pela ADA. A análise dessas bases teóricas oferece um terreno fértil para a compreensão de como a avaliação de desempenho ambiental pode atuar como um catalisador fundamental nesse processo, motivando as empresas a adotarem práticas mais sustentáveis e estimular a criação de soluções

inovadoras que equilibrem o crescimento econômico com a responsabilidade ambiental.

2.1. Avaliação de desempenho ambiental

Esta seção foi desenvolvida para atender aos objetivos específicos: ii) Avaliar os indicadores disponíveis para medir o potencial de impacto negativo no ambiente e selecionar o método apropriado para calcular esses impactos; iii) Estabelecer uma estrutura lógica de ADA da metodologia proposta visando calcular um índice unificado de desempenho ambiental; iv) Aplicar a estrutura de ADA em usinas sucroenergéticas;

Conforme a ISO 14031 (ABNT, 2009), a ADA configura-se como um processo empregado para facilitar a tomada de decisões administrativas referentes aos resultados da administração ambiental de uma instituição em relação aos seus aspectos ambientais ou elementos que podem interagir e ocasionar impactos no ecossistema. Esse processo avaliativo é conduzido mediante a monitorização dos aspectos ambientais ou da análise de indicadores que evidenciem modificações nas condições ambientais. As avaliações de desempenho ambiental oferecem uma compreensão dos aspectos ambientais pertinentes relacionados a uma atividade, bem como a formulação de medidas destinadas a otimizar a eficiência com o intuito de reduzir os níveis de consumo e as emissões prejudiciais ao meio ambiente (Jasch, 2000).

Ainda que geralmente direcionadas à avaliação da gestão ambiental de entidades, as avaliações de desempenho ambiental podem ser aplicadas em avaliações ao longo do processo de inovação, com o propósito de avaliar as eventuais transformações ambientais relacionadas a um novo processo ou produto tecnológico, ampliado ou melhorado. Essa abordagem contribui para o aprimoramento contínuo das inovações tecnológicas. Nesse contexto, as avaliações de desempenho ambiental têm o potencial de apoiar os centros de pesquisa durante todas as fases, desde a concepção até a disseminação e adoção das inovações tecnológicas, viabilizando ajustes no desenho de produtos e processos tecnológicos, visando a uma utilização mais eficiente dos recursos naturais, a diminuição da poluição, a viabilidade econômica e a adequação aos contextos sociais e ambientais onde as inovações serão implementadas (ABNT, 2015).

A inserção da dimensão ambiental no âmbito organizacional constitui uma das maiores transformações nos setores empresariais e industriais. Isso demanda que as companhias efetuem inúmeras adaptações e planejamento na estrutura e operações, para que se estabeleça uma abordagem holística e integradora das variáveis ambientais (Jabbour et al, 2014). A gestão ambiental desempenha um papel crucial, pois os recursos naturais são essenciais para as atividades produtivas da indústria, e procedimentos ineficientes resultam na geração de resíduos e subprodutos que podem ocasionar poluição ambiental, impactando os seres humanos e exaurindo recursos naturais (ABNT, 2015; Dias, 2011).

A ADA surge como uma ferramenta de gestão ambiental que analisa todo o ciclo de vida de um produto ou processo, desde sua origem até a etapa final de uso, quando a matéria-prima se converte em resíduo ou subproduto (R/S) (ABNT, 2004). A ADA visa instaurar programas direcionados ao desenvolvimento de tecnologias e produtos sustentáveis do ponto de vista ambiental, os quais estejam em conformidade com a legislação vigente e contribuam para aprimorar a reputação institucional (ABNT, 2004).

A ADA se configura como um conjunto de etapas voltadas para a facilitação das decisões administrativas relacionadas ao desempenho ambiental de uma organização. Esse objetivo é atingido com a escolha de índices, coletas e análise de dados, avaliação das informações, revisão e aprimoramento contínuo do procedimento (Dias-Sardinha; Reijnders, 2001).

Adicionalmente, a adoção da ADA pode proporcionar uma série de vantagens à empresa, incluindo: aprimoramento da reputação da empresa junto à sociedade, clientes e investidores; diminuição de despesas por meio da redução do consumo de recursos naturais e energia, da geração de resíduos e das penalidades resultantes de irregularidades ambientais; aperfeiçoamento da eficiência dos procedimentos e da qualidade do produto final; exploração de novos mercados e oportunidades comerciais; e conformidade com a legislação ambiental (Almeida; Sellitto, 2013).

Porém, a implantação da ADA não é uma tarefa fácil e requer o comprometimento de toda a organização, desde a alta direção até os colaboradores operacionais. É necessário realizar um diagnóstico inicial para identificar os pontos críticos e estabelecer as metas e objetivos do sistema, bem

como elaborar um plano de ação para aplicação das medidas necessárias. Além disso, é importante realizar treinamentos e capacitações para conscientizar e engajar todos os colaboradores na cultura de gestão ambiental da empresa (ABNT, 2015).

Portanto para a implantação da ADA e a mensuração do desempenho ambiental empresarial através de indicadores é fundamental que as empresas estejam comprometidas com a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente, atendendo às expectativas da sociedade e dos reguladores, contribuindo assim para a construção de um mundo mais sustentável e equilibrado (Hariz, Bahmed 2013).

Melo e Pegado (2006) defendem que a ADA pode ser realizada através da utilização de indicadores de impacto ambiental, que consideram as alterações no ecossistema causadas pelas atividades humanas. É de extrema importância que os objetivos dos processos produtivos estejam em alinhamento com preocupações ambientais, especialmente por meio de indicadores que impulsionem o aprimoramento do desempenho ambiental nas organizações (Rebelato et al, 2016). A literatura contemporânea oferece diversas ferramentas que identificam e avaliam as melhores formas de desenvolvimento ambiental, havendo um consenso em relação a elementos-chave como ar, água, solo, energia, biodiversidade e substâncias perigosas (Delai; Takahashi, 2011). As empresas podem obter benefícios através da ADA, que permite priorizar aspectos ambientais e mitigar os impactos decorrentes das atividades produtivas.

Numerosos estudos foram conduzidos para adquirir conhecimento e avaliar práticas de gestão ambiental. O Programa de Atuação Responsável, originado no Canadá na década de 1980, é considerado o primeiro modelo formal de gestão ambiental. Ele se baseia em princípios orientadores, códigos de prática gerencial, painéis públicos consultivos e é usado para identificar as necessidades de aprimoramento e cooperação mútua (Campos, 2001). O Strategies for Today's Environmental Partnership foi lançado em 1990 pelo American Petroleum Institute com o objetivo de criar um manual para melhorar o desempenho ambiental e na área da saúde na indústria petrolífera dos Estados Unidos (Kuhre, 1998). Hunt e Auster (1990) conceberam um modelo composto por cinco etapas para classificar as empresas examinadas conforme seu grau

de consciência ambiental, variando desde nenhuma até alta preocupação ambiental.

A ADA desempenha um papel crucial nas organizações, uma vez que fornece dados que proporcionam a priorização dos aspectos ambientais e reduz os impactos gerados durante as operações de produção (ABNT, 2015). Exemplificando, o Programa de Atuação Responsável e o Strategies for Today's Environmental Partnership citados anteriormente são modelos formais de gestão ambiental que surgiram no Canadá e nos Estados Unidos, respectivamente. Hunt e Auster desenvolveram um modelo de categorização das empresas com base em sua conscientização ambiental.

Maimon (1994) propõe um método em três fases para avaliar o desempenho ambiental das empresas: conformidade com os regulamentos de mercado, adaptações necessárias para prevenir questões de poluição e antecipação de problemas ambientais futuros. Sanches (2000) sugere duas abordagens de integração da variável ambiental nas empresas: uma que percebe questões ambientais como custos adicionais e obstáculos ao crescimento dos negócios, e outra que encara a dimensão ecológica como uma fonte de lucro. Donaire (1994) defende uma abordagem simultânea que envolve medidas de controle do meio ambiente em áreas com emissões gasosas e esgotos, estratégias para mitigar pressões ambientais e adoção de metas visando ao alto desempenho ambiental sob a influência das forças de mercado.

Günes et al. (2008) detectaram elevadas concentrações de cromo, sulfetos, amônia, DBO e DQO em amostragens de água contaminada provenientes do rio Ergene (Turquia), o que evidencia uma significativa toxicidade para seres humanos. RPS (2008) conduziu uma avaliação dos riscos à seres humanos decorrentes de emissões gasosas de indústrias, incluindo estimativas de risco de câncer, exposição a contaminantes no sistema respiratório, exposição infantil por meio da amamentação e níveis de metais em alimentos. Liu et al. (2013) constataram contaminação carcinogênica de culturas na China devido a metais pesados, tornando inviável o cultivo de vegetais em áreas próximas a minas e aterros.

Tahir e Darton (2010) propuseram para ADA de empresas uma ferramenta que consiste em cinco etapas, envolvendo a definição de sustentabilidade, estabelecimento de fronteiras para o sistema analisado e a

criação de indicadores. No estudo de Samuel et al. (2013), foram elaborados métricas com o objetivo de impulsionar a produção sustentável em uma empresa do setor petroquímico na Malásia. Por outro lado, a abordagem de Kubota e Rosa (2013) integra a teoria de resolução inventiva de problemas com estratégias voltadas para P+L (produção mais limpa), visando a redução de efluentes e emissões gasosas.

Existem diversas metodologias para avaliar o desempenho ambiental de atividades humanas. Uma delas é o Ecoblock, que emprega indicadores regionais, nacionais ou globais para mensurar pressões ambientais, incluindo consumo de água, utilização da terra, emissões gasosas entre outras. O SGADA, apresentado por Campos (2001), emprega o Balanced Scorecard (BSC) em um sistema de gestão ambiental para avaliar o desempenho ambiental de uma empresa. A metodologia EBSCSC, proposta por Cunha (2010), combina a lógica do Balanced Scorecard com orientações das metodologias GRI e Ecoblock.

As diretrizes para relatórios de sustentabilidade emitidas pela Global Reporting Initiative (GRI) representam um referencial amplamente reconhecido para a elaboração de relatórios de sustentabilidade em âmbito global. Essas diretrizes contemplam aspectos como emissões atmosféricas, águas residuais, resíduos totais, consumo de energia, uso de água, incidentes ambientais e investimentos em gestão ambiental. A metodologia SBP, desenvolvida por Almeida e Sellitto (2013), descreve como as atividades de uma intervenção humana afetam o ambiente e como esses efeitos podem ser capturados por meio de indicadores que, por sua vez, podem ser combinados para formar um índice abrangente variando de 0 a 100%.

A literatura oferece uma variedade de metodologias e indicadores empregados na ADA, como a avaliação baseada na ISO 14031 (Jash, 2000; Campos e Melo, 2008), a abordagem de inteligência ambiental apresentada por Jabbour et al. (2014) e o modelo concebido para usinas sucroenergéticas proposto por Thomaz (2017). Outros pesquisadores introduzem estruturas de ADA centradas nos potenciais impactos na saúde de seres humanos e ambiental resultantes dos processos de produção. Esse enfoque se deve à inclusão da toxicidade humana e ambiental como uma das categorias de impacto consideradas, com as vias de exposição ambiental mais comuns sendo a água, seguida pelo solo, ar e biota.

No processo de avaliação do potencial de toxicidade de efluentes líquidos, resíduos sólidos e gases, são levadas em consideração as substâncias químicas que cada um é composto, tais como cádmio, arsênico, mercúrio, cromo, dioxinas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, níquel e SO₂. Essa avaliação é fundamentada em critérios como persistência ambiental e a capacidade de bioacumulação dessas substâncias (Queiroz, 2006).

A identificação e avaliação dos riscos associados à poluição industrial constituem um desafio no contexto da avaliação ambiental. Isso se dá pelo fato de que os impactos podem ser de natureza direta, indireta e cumulativa podendo gerar graves problemas toxicológicos (Salter e Ford, 2001; Thoresen, 1999).

2.2. Indicadores de ADA

Esta seção foi desenvolvida para atender aos objetivos específicos: ii) Avaliar os indicadores disponíveis para medir o potencial de impacto negativo no ambiente e selecionar o método apropriado para calcular esses impactos; iii) Estabelecer uma estrutura lógica de ADA da metodologia proposta visando calcular um índice unificado de desempenho ambiental; iv) Aplicar a estrutura de ADA em usinas sucroenergéticas;

Os métodos e indicadores empregados na ADA têm a finalidade de abordar uma ampla gama de informações ambientais de maneira abrangente. São utilizados para estabelecer dados absolutos relacionados ao consumo de materiais e energia, permitindo comparações com outras variáveis. Isso visa a amplificar o valor das informações quantitativas, assegurando a comparabilidade tanto entre dados quanto ao longo do histórico estudado (Jasch, 2000; Perotto et al., 2008). No entanto, é perceptível a falta de uniformidade nos métodos de pesquisa da ADA, o que pode dificultar sua aplicação.

Os indicadores e métodos empregados na ADA cumprem distintas finalidades, incluindo a comparação do desempenho ambiental entre diferentes empresas, o alinhamento com os objetivos específicos da empresa e potenciais reduções de custos, a função de ferramenta comunicativa para relatórios ambientais, além de serem passíveis de medição frequente e refletirem de maneira clara o desempenho ambiental das empresas (Jasch, 2000).

Os indicadores e métodos de ADA proporcionam às lideranças organizacionais um panorama completo sobre o desempenho ambiental das empresas. Isso viabiliza a avaliação dos avanços realizados, a identificação de questões relevantes e a identificação de tendências negativas por meio do monitoramento do meio ambiente. Um ponto favorável às métricas ambientais é a possibilidade de comparações ao longo de certos períodos. Além disso, esses indicadores estão sujeitos a avaliações periódicas e ao monitoramento do alcance das metas estabelecidas (Jasch, 2000).

Os indicadores adotados na Avaliação do Desempenho Ambiental (ADA) também desempenham a função de permitir que as empresas quantifiquem e relatem seus desempenhos em termos ambientais. Eles têm a capacidade de categorizar e sintetizar os dados referentes às características ecológicas, oferecendo uma visão clara da posição da organização em relação à sua atuação ambiental. Esses indicadores devem englobar os impactos ecológicos sobre os quais a empresa possui influência direta por meio de suas operações e serviços. Esses valores possuem uma importância crucial, pois servem como base para futuras pesquisas de desempenho ambiental (Perotto et al., 2008).

Ao selecionar ferramentas de ADA, é fundamental levar em consideração os detalhes dos procedimentos de produção e dos itens em questão para escolher os indicadores mais adequados, como destacado por Jasch (2000). Diversos estudos, incluindo aqueles realizados por Thoresen (1999), Jasch (2000) e as normativas ISO 14000, oferecem orientações para a escolha de indicadores ecológicos com base em princípios como ISO 14031 e ISO 14034. A escolha de índices de ADA deve considerar os produtos fabricados e as especificidades ligadas aos procedimentos de produção, sendo esse um passo crucial para determinar indicadores que consigam mensurar o desempenho ligado à questões ambientais das empresas, conforme indicado por Perotto et al. (2008).

Entre as diversas abordagens disponíveis, diferentes procedimentos são empregados para avaliar categorias de impacto (como ecotoxicidade e toxicidade humana), com base em um levantamento de consumos e emissões. Além disso, eles possibilitam a aplicação de técnicas de normalização para derivar um índice final, tornando-os aptos para comparações entre empresas do

mesmo setor. Isso os torna particularmente pertinentes para o uso na indústria sucroenergética.

Por meio de um estudo comparativo desses métodos, foram encontradas 4 categorias distintivas que permitem determinar o método mais apropriado para esta tese. As categorias de comparação do método incluem o local, o nível de análise de impacto associado a cada método, as categorias de impacto abordadas por cada um e a extensão de aplicação de cada abordagem.

O manual CML 2002, uma publicação holandesa de 2002, fundamenta-se nas normas ISO (Guinée, 2002). O CML 2002 segue uma abordagem midpoint, selecionando seus modelos de caracterização após uma abrangente revisão das metodologias globais (Joint Research Centre, 2010). Ele abarca categorias de impacto como mudança climática e toxicidade humana, com aplicação em escala global.

O método Eco-indicator 99, originário da Holanda, busca simplificar a interpretação e ponderação ao calcular pontuações únicas denominadas eco indicadores. Como um método endpoint, ele considera categorias como a ecotoxicidade. Sua aplicação engloba âmbito global e europeu (Joint Research Centre, 2010).

O EDIP 97 foi elaborado na Dinamarca pelo *Danish EDIP Program* (Wenzel et al., 1997). Este método, seguindo a abordagem midpoint, auxilia análises ambientais em produção de produtos industriais e fornece fatores de caracterização com diferenciação espacial (Hauschild; Wenzel, 1998). Com aplicação global, suas categorias de impacto incluem acidificação, ecotoxicidade e toxicidade humana.

O método EPS 2000 originou-se na Suécia e abrange cerca de duzentas substâncias para calcular os efeitos causados por elas, tornando-o mais preciso. As categorias de impacto incluem saúde humana e toxicidade humana com aplicação global (Joint Research Centre, 2010).

O método IMPACT 2002+ vem da Suíça e combina abordagens midpoint/endpoint, conectando os resultados através de 14 categorias midpoint e 4 endpoint. Suas categorias de impacto envolvem toxicidade humana e aquecimento global, com foco na Europa (Jolliet et al., 2003).

Lançado em 2003 no Japão, o método LIME busca a quantificação dos impactos ambientais ligados às questões ambientais do Japão (Itsubo et al.,

2004). Suas categorias de impacto incluem aquecimento global, toxicidade humana e ecotoxicidade, direcionado ao Japão.

Elaborado em 2005 através do Centro de Pesquisa Inter-universitário o método LUCAS adapta-se às condições canadenses (Joint Research Centre, 2010; Toffoletto et al., 2007). Suas categorias de impacto englobam depleção de ozônio, ecotoxicidade e toxicidade humana, destinando-se ao Canadá.

O método MEEuP foi desenvolvido pela Comissão Europeia em 2005. Sua aplicação é direcionada à União Europeia, abrangendo impactos como consumo eletricidade, água e toxicidade humana (Kemna et al., 2005). O método ReCiPe continua os métodos Eco-indicador 99 e CML 2000, integrando abordagens endpoint e midpoint. Suas categorias incluem toxicidade humana esgotamento de recursos minerais e de água (Goedkoop et al., 2009; Joint Research Centre, 2010).

O método TRACI foi desenvolvido em 2003 pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, adota a abordagem midpoint e considera condições ambientais dos EUA, avaliando impactos como acidificação, ecotoxicidade, utilização da terra e água.

O método USEtox apresenta a abordagem midpoint para analisar o destino, a exposição e a toxicidade de produtos químicos, fornecendo critérios de caracterização para toxicidade humana e ecotoxicidade, apresentando aplicação global (Huijbregts et al., 2010; Joint Research Centre, 2010). O método IMPACT World+ foi criado como avaliação regionalizada, envolvendo as regiões do mundo todo. Suas métricas atualizam Impact 2002+, EDIP e LUCAS (Impact World+, 2012). Suas categorias incluem toxicidade humana e ecotoxicidade e tem alcance global.

Observa-se uma lacuna na presença de métodos de origem brasileira, o que sugere uma oportunidade de pesquisa nesse campo e o envolvimento de especialistas do Brasil em programas globais nesse domínio. O método selecionado para esta tese é o EDIP 97. Essa escolha é fundamentada na preferência por métodos com alcance global em relação às suas categorias de impacto, conforme recomendado para aplicação no Brasil. Além disso, o EDIP 97 traz distinção entre a toxicidade resultante de emissão poluente nos meios atmosférico, aquático e terrestre, o que é pertinente para análises na indústria sucroenergética, onde seus resíduos/subprodutos geram emissões em ar, água,

solo. Sendo amplamente reconhecido para avaliar impactos ambientais, o EDIP 97, foi concebido para auxiliar avaliações ambientais na fabricação de produtos em indústrias e prover fatores de caracterização distintos (Hauschild et al., 2012; Ometto, 2014).

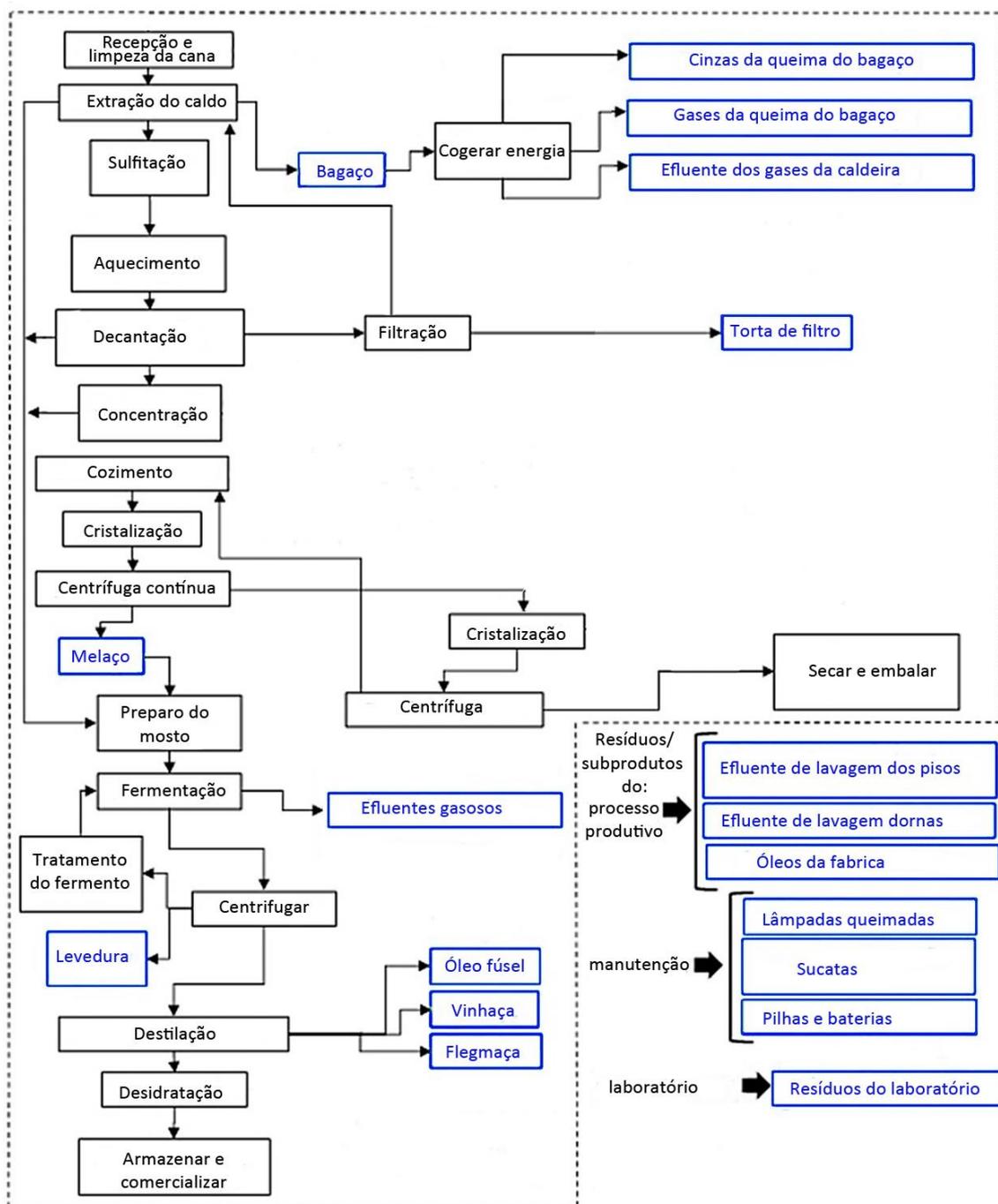
2.3. Etapas produtivas da indústria sucroenergética

Esta seção foi desenvolvida para atender ao objetivo específico i) Analisar as etapas de produção da usina sucroenergética e identificar os R/S gerados provenientes do processo produtivo.

O processamento da cana de açúcar envolve uma série de etapas interconectadas, nas quais as fases iniciais são compartilhadas tanto para a produção de açúcar quanto para a de etanol. Conseqüentemente, a partir de um determinado ponto no processo, a direção é estabelecida para a produção de um ou outro produto específico da indústria. O fluxo do processo produtivo sucroenergético é visualmente apresentado na Figura 1.

A colheita da cana é o primeiro passo nos processos sucroenergéticos, podendo ser feita de forma manual ou mecanizada. No Brasil, a colheita mecanizada é amplamente utilizada para atender às legislações ambientais. Após a colheita, a cana é estocada provisoriamente e posteriormente descarregada nas mesas alimentadoras ou provisionada em barracão ou carretas, sistema conhecido como "bate e volta" (Rein, 2017). A recepção na usina inicia a industrialização da cana, que é limpa a seco antes de ser transferida para a extração do caldo. A lavagem não é realizada na cana mecanizada para evitar perda de sacarose pela água, e as impurezas são removidas na etapa do tratamento do caldo. A cana processada gera o bagaço, que ao ficar livre do caldo é enviado para a cogeração de energia, sendo assim ele não foi considerado como R/S (De Souza Dias et al., 2015).

Figura 1 - Fluxograma genérico das etapas produtivas de uma usina sucroenergética



Fonte: Adaptado de Thomaz (2017).

A cana de açúcar é composta por duas partes principais: o caldo e as fibras. Extrair o caldo da cana é uma etapa feita por moendas, capazes de recuperar de até 98% da sacarose. O sistema de difusão é empregado em algumas usinas para retirar o caldo, apresentando eficiência igual ou superior ao método de prensagem. Para recuperar a parte restante da sacarose contida no bagaço, o processo de embebição é empregado, onde água é adicionada ao bagaço para diluir o caldo, aumentando assim a extração de sacarose. O caldo resultante é encaminhado para as próximas etapas do processo (Albuquerque, 2011; Ometto et al., 2014).

A cogeração é uma técnica utilizada na indústria sucroenergética para produzir energia elétrica a partir do bagaço, sendo este processo um dos mais empregados globalmente. A cogeração traz benefícios tanto ambientais quanto econômicos, possibilitando que as usinas se tornem autossuficientes em energia elétrica. O processo envolve a queima do bagaço em caldeiras, gerando cinzas, gases e efluentes. As cinzas resultantes podem ser utilizadas como adubo na lavoura após um processo de decantação (Rein, 2017).

A extração de caldo de cana envolve diversas etapas, incluindo tratamento primário para eliminação de impurezas insolúveis, sulfitação para redução de pH e diminuição da viscosidade do caldo, caleagem para elevação do pH próximo à neutralidade, aquecimento para acelerar a formação de substâncias insolúveis, e decantação para separar o caldo clarificado do lodo. O lodo após filtragem libera a sacarose restante na cana, gerando a torta de filtro como subproduto. (Albuquerque, 2011; Della-Bianca et al., 2013; Rein, 2017).

O caldo clarificado é obtido pela mistura do caldo filtrado com caldo extraído. Para remover o excesso de água, é feita a concentração do caldo em dois estágios: evaporação rápida por meio de evaporadores e evaporação controlada por cozedores para formação dos cristais de açúcar. De acordo com Albuquerque (2011), o processo de concentração começa na evaporação, que é feita de forma contínua em evaporadores conectados em série, fazendo com que o caldo seja concentrado progressivamente. O vapor vegetal é injetado na primeira caixa para aquecer o caldo nas caixas seguintes.

O segundo estágio envolve o cozimento, que é conduzido individualmente em cozedores sob vácuo e de forma intermitente, conforme delineado por Souza Dias et al. (2015). A massa cozida resultante é encaminhada para os

cristalizadores, onde parte da sacarose diluída no mel é recuperada e armazenada para a fase subsequente de centrifugação. No processo de centrifugação, a massa é enviada para um cesto perfurado, onde o mel flui através das perfurações e os cristais são separados. Após ser retirado do cesto, o açúcar é transportado por correias para a etapa de secagem e embalagem. De acordo com as informações de Fernandes (2011), o açúcar bruto é estocado a granel, enquanto o mel é reenviado aos cozedores para recuperar a sacarose remanescente, originando o melaço e a massa B, que é aproveitado para produzir etanol.

A produção de etanol se inicia após as fases de fabricação do açúcar, empregando como matéria-prima o caldo extraído da cana, o caldo clarificado ou o melaço. O processo de obtenção do etanol compreende a fermentação do caldo ou um mix de melaço e caldo. O mosto, uma solução açucarada, é preparado e controlado para otimizar a fermentação, envolvendo o ajuste de pH para 4,5, manutenção da temperatura a 32°C e fornecimento de nutrientes vitais. A introdução de leveduras no mosto dá início à produção de etanol através de processos bioquímicos. Durante a fermentação, os açúcares presentes transformam-se em etanol nas dornas de fermentação por volta de 7 horas, resultando em um líquido denominado vinho levedurado, com teor médio de etanol variando de 7% a 12%. Durante esse procedimento, parte do etanol formado pode ser arrastada pelo dióxido de carbono (CO₂), sendo possível recuperar o etanol mediante a lavagem do CO₂ com água. Isso origina um efluente gerado pelas emissões gasosas das dornas de fermentação. Adicionalmente, durante a limpeza das dornas de fermentação, outro efluente é gerado, conhecido como efluente de lavagem das dornas (Della-Bianca et al., 2013; Andrietta et al., 2011).

Após a fermentação, as leveduras são recuperadas através de um processo de centrifugação do vinho. As leveduras podem ser desidratadas para comercialização posterior ou retornar ao processo fermentativo após um tratamento apropriado. O vinho, já livre de leveduras, passa por destilação para produzir álcool hidratado, utilizando duas colunas principais: destilação e retificação. Durante a destilação, as substâncias voláteis presentes são separadas com base em diferentes pontos de ebulição e solubilidade (Rebelato et al., 2016; Rein, 2017).

Nessa fase, originam-se dois subprodutos: a flegma e a vinhaça. A flegma é direcionada para a coluna de retificação, enquanto a vinhaça é removida na proporção de cerca de 14 L por litro de etanol gerado (Fernandes, 2011). Na etapa de retificação, a flegma é passa por um processo de contração e purificação, resultando no álcool hidratado. Além do álcool hidratado, a retificação gera a flegmaça, uma solução aquosa empregada para limpeza de pisos e equipamentos, e o óleo fúsel. O óleo fúsel passa por resfriamento, lavagem, decantação e é então armazenado para venda (Andrietta et al., 2011).

Após ser produzido, o etanol é destinado para a venda ou para o processo de desidratação. Métodos como peneira molecular, destilação extrativa ou destilação azeotrópica são utilizados para isso, obtendo-se álcool anidro com concentração de aproximadamente 99,9%. O armazenamento do etanol (anidro ou hidratado), ocorre em tanques de grande capacidade, com a quantidade medida por medidores de vazão até a venda (De Souza Dias et al., 2015). Ademais, na planta industrial, resíduos resultam de trocas periódicas de óleos lubrificantes em máquinas, soluções de laboratório provenientes de análises do processo produtivo, bem como resíduos de manutenção, sucatas ferrosas e não ferrosas, lâmpadas inutilizadas, baterias e pilhas.

Foram encontrados 17 R/S no processo de produção de açúcar e etanol, diretamente originários do processo produtivo e indiretamente da manutenção e laboratórios, conforme apresentados na Figura 1. A Tabela 1 apresenta os R/S gerados nos processos de fabricação sucroenergéticos, a etapa de fabricação que foi gerado e a sua composição química.

A vinhaça (1) é um resíduo líquido ácido e rico em composto orgânico. Originada durante a destilação do caldo de cana-de-açúcar, a produção de etanol resulta em cerca de 14 L de vinhaça por litro de etanol fabricado. Essa substância é aproveitada na fertirrigação, enquanto os tanques de armazenamento usam geomembranas ou técnicas similares (Rebelato et al., 2016; Elia Neto e Nakahodo, 1995; GURGEL, 2015), uma vez que pode poluir solo e águas. Os óleos lubrificantes (2) usados na unidade fabril se descartados no solo, podem contaminar os lençóis freáticos (Nogueira; Garcia, 2013).

Tabela 1 – R/S da indústria sucroenergética

R/S	Etapa de geração	Composição química
Vinhaça	Produção	Efluente com alta matéria orgânica e acidez, contendo elementos como cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, zinco, cádmio, chumbo, ferro e fenol.
Pilhas e baterias	Todos os setores	Resíduos contendo metais pesados como níquel, manganês, zinco, cádmio.
Óleos lubrificantes fábrica	Todos os setores	Subprodutos contendo metais como ferro, chumbo, zinco, manganês, cobre e molibdênio.
Lâmpadas queimadas Melaço	Todos os setores Produção	Mercúrio, cádmio, chumbo, manganês, níquel, zinco e ferro. Composição incluindo nitrogênio, fosfatos, cálcio, magnésio, zinco, manganês, cobre, ferro e micronutrientes.
Oleo fúsel	Produção	Contendo álcool: isoamílico, isobutílico, n-amílico, n-butílico além de isopropanol, furfural, aldeídos e ácidos graxos.
Resíduos dos laboratórios	Laboratórios	Estamos falando de soluções clarificantes à base de alumínio, resíduos de papel de filtro, cinzas resultantes das análises de impureza mineral e reagentes utilizados nas análises de quantidade de açúcares redutores. Além disso, existem os resíduos provenientes das análises de açúcar, etanol e das águas das caldeiras.
Sucatas metálicas	Produção	Resíduos contendo metais ferrosos e não ferrosos, como alumínio, cobre, bronze, níquel, zinco, ferro e molibdênio.
Efluente lavagem dornas	Produção	Aproximadamente 20% da vinhaça.
Efluente lavagem pisos equipamentos	Produção	Efluente com características variáveis, abrangendo pH de extremamente ácido a altamente alcalino, e potencialmente contendo contaminação por graxas e óleos.
Torta de filtro	Produção	Composta por nitrogênio orgânico, cálcio, fósforo, potássio, magnésio, manganês, zinco e ferro.
Levedura	Produção	Subproduto rico em proteínas e concentrado em vitaminas do complexo B. Contem manganês, cobre, cromo, molibdênio, níquel, zinco, ferro, cobalto, vanádio, selênio.
Cinzas da queima do bagaço	Produção	Compostas por manganês; cobre; cromo; molibdênio; níquel; zinco; ferro; cobalto; cadmio; chumbo; selênio; mercúrio.
Efluente tratamento gases combustão	Produção	Trata-se de efluente que, apesar de conter certo teor de matéria orgânica, apresenta baixa taxa de DBO (de 100 a 300 mg/L de DBO).
Gases provenientes da queima do bagaço	Produção	Composto por CO ₂ , CO, NOx.
Efluente gasoso das dornas de fermentação	Produção	Composto pelo gás CO ₂ .
Flegmaça	Produção	Composta por cobre, ferro, zinco e manganês.

Fonte: adaptado de Thomaz (2017), Rebelato (2019).

O melaço (3), subproduto do processo de produção de açúcar, contém açúcares como frutose, glicose e sacarose, podendo ser fertilizante ou alimento animal. Porém, pode poluir solo e corpos d'água (Rebelato et al., 2016). O óleo fúsel (4), é subproduto da produção de álcool e polui rios e solo caso seja lançado diretamente nessas vias, sendo tóxico devido ao metanol (Conab, 2017; Unica, 2022).

As pilhas e baterias (5) são materiais ricos em metais pesados e possuem grande potencial de contaminação, especialmente via solo (Rein, 2017). As lâmpadas queimadas (6) apresentam considerável risco de contaminação de

solo e água (Rebelato et al., 2016). As sucatas ferrosas (7) incluem metais diversos podendo contaminar água e solo via plantas ou adsorção (Nogueira; Garcia, 2013).

A torta de filtro (8), derivada da filtração do lodo decantado, possui bagaço de cana e uma parcela de minerais, tendo grande potencial poluente, especialmente em águas (Única, 2022; CTC, 2005). A levedura (9), rica em proteínas e vitaminas B, tem potencial de poluir águas superficiais e subterrâneas (Rein, 2013).

A Flegmaça (10) resulta da retificação do flegma e apresenta potencial poluente no solo, rios e/ou lençol freático (Rebelato et al., 2014; Copersucar, 2005). Os resíduos de laboratório (11) incluem soluções clarificantes com capacidade para contaminar rios e solo (Rebelato et al., 2016). O efluente da lavagem das dornas (12), mais diluído que a vinhaça, impacta solo, rios e/ou lençol freático (Rebelato et al., 2013).

O efluente da lavagem de pisos e equipamentos (13), apresenta pH variável e polui águas e solo (Rebelato et al., 2016). As cinzas da queima do bagaço (14) que podem ser usadas como fertilizantes, apresentam potencial impacto em águas superficiais (Nogueira; Garcia, 2013). Os gases da queima do bagaço (15) têm potencial poluente na atmosfera (Rebelato et al., 2013). O efluente do tratamento de gases de combustão (16), apresenta temperaturas de até 80° C e, dessa forma, não pode ser descartado em rios ou áreas de cultivo (Rebelato et al., 2016). O efluente gasoso das dornas de fermentação (17), é potencialmente um poluente atmosférico (Rebelato et al., 2014). A identificação dos resíduos e subprodutos é base para desenvolver a ferramenta de ADA.

2.4. Inovação

Esta seção foi desenvolvida para atender aos objetivos específicos v) Identificar quais são as tecnologias de processo / produto que as usinas têm desenvolvido para inovação sustentável após aplicação da ADA e vii) Identificar como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo / produto para inovação sustentável após aplicação da ADA. Para compreender adequadamente os conceitos relacionados à inovação sustentável, é fundamental adquirir uma compreensão sólida dos conceitos de inovação em si,

bem como de suas diversas categorias. É relevante destacar que o campo da inovação tem sido abordado por uma ampla gama de teóricos, e neste contexto, são apresentados os insights de alguns dos principais autores dessa abordagem.

A inovação é um fenômeno complexo que pode ser definido de várias formas. Schumpeter (1934) descreve a inovação como um processo de "destruição criativa", caracterizado pela introdução de novos produtos, processos, mercados, matérias-primas e formas de organização que descontinuam o estabelecido. Nelson e Winter (1982) destacam a importância da interação entre vários atores e fatores no processo de inovação, que afeta a trajetória futura.

Drucker (1986) apresenta a perspectiva de que a inovação é uma ferramenta importante para as empresas, permitindo que explorem a mudança como uma oportunidade para realizar algo distinto. Por sua vez, a OECD (2005) estabelece a definição de inovação como a aplicação de novos produtos, processos, métodos de marketing ou melhorias organizacionais, resultando em práticas de negócios novas ou substancialmente aprimoradas. Kemp, Smith e Becher (2000) contribuem à discussão ao caracterizarem a inovação como um fenômeno abrangente, emergindo da intrincada interação entre indivíduos e instituições.

Porém, a inovação também pode ser interpretada como uma maneira de explorar a mudança como uma oportunidade para a criação de negócios ou serviços diferenciados. Drucker (2008) sublinha a importância de identificar fontes de inovação e sinais que apontem para oportunidades, requisitos essenciais para o sucesso da inovação. Por fim, Tidd, Bessant e Pavitt (2008) realçam que a inovação é um desdobramento de processos organizacionais alinhados à estratégia, conduzindo a projetos que conferem vantagem competitiva.

Além disso, é possível considerar a inovação como transformações nas estruturas de operação econômica, abrangendo mudanças nos papéis desempenhados pelos intervenientes financeiros ao colaborarem nos processos de desenvolvimento de proposta (Vasconcelos, 2001). A inovação disruptiva, por sua vez, tem como objetivo inaugurar novos mercados e esquemas de empreendimentos, implicando na ruptura de modelos anteriores que alteram os

alicerces da rivalidade, introduzindo soluções de maior eficiência do que as já existentes (Christensen, 2001).

A inovação pode ser vista como um processo criativo que ocorre em um ambiente de incerteza, no qual a combinação de elementos já existentes resulta em novas soluções e ideias. Segundo Chesbrough (2003), a inovação aberta é uma forma de inovação que se baseia na colaboração e na troca de conhecimentos entre empresas, universidades e outras organizações, com o objetivo de gerar novas ideias e soluções. Nesse processo, as empresas buscam ideias fora de suas fronteiras, trabalhando em parceria com outras organizações e compartilhando riscos e recompensas.

Também pode-se dizer que a inovação pode ser entendida como um processo social que envolve a introdução de novas ideias, produtos, serviços ou formas de organização em um determinado contexto. Segundo o autor, a inovação não se limita ao desenvolvimento tecnológico, mas pode incluir também mudanças nas normas sociais, valores culturais e práticas organizacionais. Nesse sentido, a inovação pode ser vista como um processo que envolve a criação e difusão de novos conhecimentos e práticas em diferentes áreas da sociedade (Adams et al., 2016; Bocken et al., 2014; Hansen et al., 2009; Klewitz & Hansen, 2014; Kneipp et al., 2019).

Além disso, a inovação pode ser definida como um processo de mudança em que as empresas, instituições e sociedades como um todo desenvolvem novas formas de fazer as coisas, aprimorando e criando produtos, processos e serviços. A inovação pode ocorrer tanto em nível microeconômico, com empresas desenvolvendo novos produtos e serviços, quanto em nível macroeconômico, com mudanças nas estruturas e instituições sociais que favorecem o desenvolvimento de novas tecnologias e formas de organização. Desse modo, a inovação pode ser compreendida como um procedimento em constante evolução que engloba a busca incessante por abordagens e métodos inovadores (Shin et al., 2018; Fagerberg, 2004).

Em suma, a definição de inovação é multifacetada e varia de acordo com a perspectiva teórica adotada. Enquanto alguns veem a inovação como uma ferramenta empresarial para explorar a mudança como oportunidade, outros a caracterizam como um fenômeno complexo resultante da interação entre vários atores e fatores. Independente da perspectiva adotada, a inovação é crucial para

o sucesso de uma organização, pois pode gerar vantagem competitiva e melhorar a eficiência dos processos (Adams et al., 2016; Bocken et al., 2014; Hansen et al., 2009; Klewitz & Hansen, 2014; Kneipp et al., 2019). Apresentamos a seguir alguns tipos de inovação.

A inovação tecnológica abarca a introdução de produtos ou processos que são tecnologicamente inéditos, assim como aprimoramentos substanciais em produtos e processos já existentes. Essa forma de inovação pode ser incorporada ao mercado por meio da inovação de produtos ou serviços, ou implementada no processo de produção por meio da inovação de processos. A sua realização envolve um conjunto diversificado de atividades que englobam aspectos científicos, tecnológicos, organizacionais, financeiros e comerciais (FINEP, 2009; OECD, 2018).

Segundo Adams (2016), a inovação tecnológica refere-se à introdução de novas tecnologias no processo produtivo ou em produtos/serviços e ocorre quando há "a aplicação bem-sucedida de novas tecnologias ou técnicas de produção, geralmente associadas a um processo contínuo de pesquisa e desenvolvimento".

A inovação de produto envolve a introdução no mercado de produtos exclusivos ou melhorados, oferecendo benefícios distintos relacionados com suas características e finalidades pretendidas. Essas mudanças resultam do emprego de novos conhecimentos, alterações de equipamentos e/ou modificações na organização da produção. São abrangidas por essa categoria de inovação a adoção de novos materiais, produtos intermediários, tecnologias inovadoras e novas funções (OECD, 2018).

Por outro lado, a inovação de serviço emerge da criação de novas atividades capazes de atender necessidades não materiais. Esse tipo de inovação pode englobar aspectos relacionados a produtos, processos, organização e mercado (OECD, 2018). A inovação de produto e serviço refere-se à introdução de produtos ou serviços recém criados no mercado ou a melhorias substanciais em produtos ou serviços já existentes. Em consonância com a definição de Kotler e Keller (2012), a inovação de produto e serviço envolve a "criação de produtos e serviços novos ou modificados que atendem melhor às necessidades dos clientes existentes ou atraem novos clientes".

A inovação de processo consiste na adoção de um novo método ou aperfeiçoamento de um processo já existente, abarcando técnicas, máquinas e equipamentos utilizados na produção. Isso engloba tanto a aquisição de maquinário e equipamentos específicos para a execução de novos processos ou processos tecnologicamente melhorados, quanto o emprego de softwares voltados para a obtenção de benefícios. A inovação de processo compreende modificações substanciais em técnicas, equipamentos e/ou softwares utilizados, visando aprimorar a eficiência, a qualidade ou a redução de custos (OECD, 2018). É a implementação de novos métodos, técnicas e sistemas produtivos que geram melhorias na maneira como a empresa se estrutura e produz, influenciando em sua organização e produção (Cezarino et al., 2019).

A inovação na estrutura organizacional, por outro lado, abrange modificações nas hierarquias de autoridade, distribuição de responsabilidades, sistemas de recompensas, canais de comunicação e outras interações formais entre os membros da instituição. Essa modalidade de inovação implica a inserção de componentes novos nas operações da entidade, em seu aparato informativo ou na produção concreta, podendo concretizar progressos no âmbito tecnológico empregado pela empresa (Knight, 1967). Trata-se de um procedimento que incorpora alterações na configuração da empresa, abarcando a coordenação e organização das incumbências e tarefas. Conforme afirmado por Vasconcelos (2001), a inovação na estrutura organizacional pode ser descrita como introduzir novos métodos de organização, novos arranjos institucionais e novos mecanismos de coordenação".

A inovação organizacional baseia-se em introduzir ou aprimorar métodos organizacionais, que podem se manifestar como novas práticas de negócios, reorganização dos locais de trabalho ou modificações nas relações externas da empresa. Ela diz respeito à revitalização de procedimentos e abordagens utilizados para estruturar empresas, estabelecer parcerias com fornecedores, coordenar a produção e comercialização de produtos e serviços (OECD, 2018). Essa forma de inovação envolve a adoção de novos modos de gestão, englobando mudanças nas políticas, sistemas e processos gerenciais. Tidd, Bessant e Pavitt (2008) definem a inovação organizacional como "a introdução de novos métodos de trabalho, práticas gerenciais inovadoras, sistemas de

gestão de qualidade inovadores, sistemas de informação novos e políticas de recursos humanos inovadoras, entre outros".

A inovação no modelo de gestão envolve alterações substanciais na maneira como as atividades de gerenciamento são conduzidas ou modificações significativas nas práticas organizacionais tradicionais, com o objetivo de avançar nas metas da organização. Essa forma de inovação modifica a forma como os gestores desempenham suas funções, contribuindo para o aprimoramento do desempenho organizacional (Hamel; Breen, 2007). Ela está relacionada às mudanças na abordagem de gerenciamento da empresa, abrangendo a adoção de novos modelos de gestão e processos de tomada de decisão. A inovação no modelo de gestão pode ser descrita como a implementação de novos métodos de tomada de decisão, estratégias empresariais inovadoras, novos modelos de negócios e formas inovadoras de gerenciar recursos humanos (Bocken et al., 2014; Ritala et al., 2018).

Quanto à inovação de marketing, refere-se à adoção de novos métodos de marketing, que podem englobar mudanças na apresentação do produto e embalagem, estratégias de divulgação e distribuição, bem como abordagens para determinar preços, vantagens e serviços. Esses métodos de marketing visam atender às demandas dos consumidores, explorando mercados novos ou realocando produtos no mercado para expandir as vendas (OECD, 2018). Essa forma de inovação diz respeito às transformações nas estratégias e táticas de marketing da empresa, incluindo introduzir produtos ou serviços, novos métodos de comunicação com o mercado e novos canais de distribuição. Seguindo a definição de Kotler e Keller (2012), a inovação de marketing é "a aplicação de novas técnicas de promoção, distribuição ou precificação, bem como a introdução de novos produtos ou serviços".

As definições de inovação foram necessárias para se compreender os conceitos de inovação sustentável apresentados a seguir.

2.5. Inovação sustentável

Esta seção foi desenvolvida para atender aos objetivos específicos v) Identificar quais são as tecnologias de processo / produto que as usinas têm desenvolvido para inovação sustentável após aplicação da ADA e vii) Identificar

como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo / produto para inovação sustentável após aplicação da ADA.

A abordagem sobre a inovação sustentável é um tema recente, que teve suas primeiras menções nas pesquisas acadêmicas em meados dos anos 2000. A inovação sustentável é uma evolução da abordagem da ecoinovação, que se concentra nos aspectos econômicos e ambientais. Obviamente, a inovação sustentável vai além da ecoinovação porque inclui objetivos sociais e está mais claramente ligada aos objetivos de sustentabilidade de curto e longo prazo (Boons, et al, 2013), incluindo os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015 pautando uma agenda mundial para políticas públicas mundiais até 2030 (UN, 2023).

Uma forma simples de definir inovação sustentável é a de inovação que melhora o desempenho da sustentabilidade nas suas 3 dimensões: ambiental, econômica e social (Carrillo-Hermosilla et al. 2009). No entanto, embora consideremos que inovação sustentável tenha uma abordagem mais ampla, Afeltra et al. (2023) identificaram na literatura, que termos e conceitos de inovação sustentável como ecoinovação, inovação orientada para a sustentabilidade e inovação verde têm sido geralmente usados de forma alternada, muitas vezes como sinônimos. Em razão desse contexto, é necessário apresentar conceitos e classificações sobre a ecoinovação para a elaboração da fundamentação teórica da inovação sustentável desta pesquisa.

O conceito de ecoinovação tem como objetivo central a redução do impacto ambiental ao mesmo tempo em que maximiza o valor econômico. Esse conceito abrange uma ampla gama de atividades, que vão da busca por recursos sustentáveis até o reaproveitamento e a reciclagem de resíduos. A ecoinovação engloba tanto inovações graduais quanto transformadoras, que resultam em mudanças organizacionais direcionadas para a sustentabilidade ambiental. Isso implica em modificações nos produtos, processos e até mesmo no mercado em que a empresa atua (Angelo, Jabbour, Galina, 2012).

Segundo Fessler e James (1996), o termo "ecoinovação" é definido como um procedimento que abarca a criação de produtos, processos ou serviços inovadores que agregam valor tanto para o cliente quanto para o empreendimento, enquanto também acarretam uma redução considerável do

impacto ao ambiente. Vários outros pesquisadores também têm se dedicado a explorar o conceito de ecoinovação, refinando suas definições ou introduzindo novas perspectivas. É relevante destacar que existe um corpo substancial de pesquisas dedicadas a essa temática. Além disso, para realçar a importância da dimensão social em conjunto com as dimensões econômica e ambiental, surgiu o conceito de inovação sustentável.

Rennings (1998) descreve a ecoinovação como uma abordagem que busca corrigir e prevenir impactos ambientais, tendo como objetivo reduzir o impacto no ambiente e a preservação do meio ambiente. Por sua vez, Kemp e Foxon (2007) conceituam a ecoinovação como uma forma de desenvolver, aplicar ou explorar novos produtos, serviços, processos produtivos, estruturas organizacionais e modelos de gestão que, ao longo da vida útil, resultem em diminuição de riscos ao ambiente e de impactos prejudiciais através da utilização de recursos.

Reid e Miedzinski (2008) propõem uma definição da ecoinovação como a concepção de novos produtos, processos, sistemas, serviços e procedimentos competitivamente precificados, os quais satisfazem as necessidades humanas e promovem uma melhoria na qualidade de vida global, minimizando a utilização dos recursos naturais em seus ciclos de vida e minimizando a liberação de substâncias prejudiciais. Por sua vez, Andersen (2008) destaca a importância da capacidade da ecoinovação em viabilizar rentabilidade sustentável no mercado, ao mesmo tempo que reduz os impactos ambientais e agrega valor às empresas.

Conforme Arundel e Kemp (2009), a abrangência da ecoinovação transcende produtos e processos para incluir também inovações organizacionais e institucionais, englobando transformações em valores, crenças, conhecimentos, normas e práticas administrativas. Carrillo Hermosilla, Gonzales e Konnola (2009) caracterizam a ecoinovação como um processo de mudança que engloba tanto componentes tecnológicos quanto sociais. A ecoinovação se configura como uma inovação voltada para a transformação, visando à aplicação prática para aprimorar o desempenho ambiental.

Para a OECD (2018) a ecoinovação não se restringe à criação, assimilação ou exploração de novos produtos, processos de produção, serviços ou métodos de gestão e negócios. Seu propósito primordial reside em evitar ou

consideravelmente diminuir os riscos ambientais, a poluição e outros efeitos adversos relacionados ao uso de recursos ao longo de todo o ciclo de vida.

Halila e Rundquist (2011) enfatizam que a ecoinovação tem como objetivo identificar inovações que contribuam para um ambiente sustentável. Isso é alcançado por meio do desenvolvimento de melhorias ecológicas, apoio à criação e disseminação de produtos, processos, modelos organizacionais e sistemas ecologicamente mais eficientes. Essas abordagens podem resultar em melhorias nas condições de vida tanto para as gerações atuais quanto para as futuras.

A ecoinovação também pode ser definida como o processo de criação, adoção e difusão de novas práticas e tecnologias que têm como objetivo reduzir os impactos ambientais e aumentar a eficiência dos recursos, contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, a ecoinovação é um processo dinâmico de mudança tecnológica, organizacional e social que envolve a criação e a adoção de novos produtos, processos e modelos de negócios que resultam em melhorias ambientais e econômicas (Miranda, 2023).

Para Jabbour et al. (2020) a ecoinovação é o processo de desenvolver e implementar soluções sustentáveis e rentáveis para atender às necessidades de consumo e produção, ao mesmo tempo em que se reduz os impactos ambientais e maximiza os benefícios socioeconômicos.

Já Díaz-García (2015) definem a ecoinovação como a busca contínua por soluções inovadoras que ajudem as empresas a se tornarem mais sustentáveis, e envolve a criação de novos produtos e serviços, a melhoria de processos e sistemas, e o estabelecimento de parcerias para promover a sustentabilidade em toda a cadeia de valor.

O conceito de ecoinovação surgiu no final da década de 1990, mas termos semelhantes como inovação ambiental e inovação verde já eram utilizados desde a década de 1970 e 1980, respectivamente. Outros termos, como inovação sustentável, foram introduzidos posteriormente para ampliar o conceito de ecoinovação, levando em conta os pilares econômico, ambiental e social da sustentabilidade. Essa diversidade de termos pode ser explicada pela variedade de áreas envolvidas na pesquisa, como economia, ecologia, engenharia, gestão e sociologia, entre outras (Rennings, 1998; Angelo et al., 2012; Boons e Lüdeke-Freund, 2013).

Para ampliar o conceito deecoinovação, Charter e Clark (2007) propuseram a denominação inovação sustentável, que integra os pilares econômico, ambiental e social da sustentabilidade em todo o processo de geração de ideias, pesquisa e desenvolvimento, comercialização e aplicação a produtos, serviços ou processos. A inovação sustentável tem sido objeto de diversas definições e conceitos. No entanto, a maioria dos autores concorda que se trata da criação e adoção de soluções que visam maximizar a eficiência do uso de recursos naturais, minimizar a pegada ecológica e gerar impactos sociais positivos.

A inovação sustentável representa um passo além da inovação convencional, pois requer a integração dos aspectos econômico, ambiental e social para ser verdadeiramente sustentável. Embora possa ser caracterizada por sua natureza radical ou transformacional, nem toda inovação se enquadra nesse perfil. A inovação sustentável deve estar alinhada ao triple bottom line da sustentabilidade, proporcionando vantagens nos âmbitos econômico, ambiental e social (Wheeler e Elkington, 2001). Para ser considerada genuinamente sustentável, essa inovação precisa ser viável economicamente, preservar o ambiente e gerar valor social seja local e nacional (Coral, Rossetto e Selig, 2003).

A inovação sustentável pode abranger uma ideia, prática ou objeto que é percebido como novo para um indivíduo ou entidade que a adota. Isso envolve a incorporação, combinação ou síntese de conhecimentos originais e pertinentes, resultando em novos produtos, processos ou serviços (Luecke e Katz, 2003). Esse processo de inovação sustentável engloba a interligação dos aspectos econômicos, ambientais e sociais nas estratégias corporativas, desde a concepção de ideias até a comercialização do produto. Essa abordagem pode ser adotada para produtos ou serviços (Charter e Clark, 2007).

Outra perspectiva sobre inovação sustentável é apresentada como a criação, renovação ou aprimoramento de serviços, produtos, processos tecnológicos ou estruturas organizacionais que visam atender às demandas de clientes, promovendo o desenvolvimento e o bem-estar, ao mesmo tempo em que preservam e respeitam os recursos ambientais, além de terem bons resultados nas esferas social, econômica e ambiental (Yoon e Tello, 2009; Bos-Brouwers, 2010).

O modelo do "cubo da inovação sustentável", proposto por Hansen, Grosse-Dunker e Reichwald (2009), oferece um esquema conceitual para compreender a inovação sustentável. Esse modelo engloba elementos como a incorporação de critérios sustentáveis, o engajamento de partes interessadas, o uso de ferramentas específicas, a avaliação do ciclo de vida dos produtos, a otimização do sistema de produtos e serviços, a adoção de estratégias de marketing e a conscientização dos colaboradores orientadas sobre a relevância da inovação sustentável.

De acordo com Bigliardi, B.; Filippelli, S. (2022), a inovação sustentável é um processo de transformação contínua que visa a criação de novos produtos, serviços e modelos de negócio que geram valor compartilhado, destacam que a inovação sustentável envolve a criação de valor econômico, social e ambiental por meio de produtos e serviços que promovem a eficiência de recursos, a redução de resíduos e a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

A inovação sustentável é o entrelaçamento de ideias de inovação e sustentabilidade, englobando mudanças propositais dentro de uma organização, seus produtos ou processos, com o propósito de gerar valor tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente, ao mesmo tempo em que busca retornos econômicos (Adams et al, 2016). Varadarajan (2017) ressalta que a implementação de novas tecnologias, processos e modelos de negócios é fundamental para que as empresas possam reduzir seus impactos ambientais e sociais, aumentando sua eficiência operacional e competitividade. Baran, 2021 (2021), acrescentam que a inovação sustentável é importante para a conservação dos recursos naturais, redução da poluição e promoção do bem-estar social, fortalecendo a competitividade das empresas.

Além disso, a inovação sustentável pode ser considerada um processo de criação e desenvolvimento de produtos, serviços e modelos de negócio que aliam eficiência de recursos, responsabilidade social e ambiental e vantagem competitiva. A inovação sustentável é a criação e implementação de soluções que permitem a realização de atividades econômicas de forma mais eficiente e responsável, reduzindo o impacto ambiental e social e gerando benefícios para a sociedade (Shin et al. 2018, Kneipp et al., 2019).

Segundo a UNIDO (2015), a inovação sustentável é a exploração de novas oportunidades de negócios que simultaneamente criam valor econômico

e ambiental e melhoram a qualidade de vida. A inovação sustentável é um conceito que envolve a criação e adoção de soluções que visam maximizar a eficiência do uso de recursos naturais, minimizar a pegada ecológica e gerar impactos sociais positivos (Pascale et al., 2021).

A inovação sustentável deve ser holística e integrada, atendendo às necessidades humanas e gerando valor econômico, social e ambiental (Scherer e Voegtlin, 2020; Voegtlin et al, 2022). A inovação sustentável deve ter a capacidade de criar soluções inovadoras que gerem benefícios econômicos, sociais e ambientais ao mesmo tempo em que é fundamental para atender às necessidades do presente e manter a capacidade de atender as necessidades futuras. Dessa forma, a inovação sustentável é capaz de gerar benefícios em todas as dimensões da sustentabilidade: econômica, ambiental e social (Baran, 2021; Varadarajan, 2017; Kneipp et al., 2019; Petrini & Eisele, 2019).

Considerando a literatura, a área e sua vasta abordagem para conceituação do tema, nesta tese, adota-se o termo inovação sustentável compreendida como uma inovação que produz a criação, renovo ou aprimoramento de serviços, produtos, processos organizacionais ou tecnológicos, estruturas organizacionais em um período de tempo curto ou longo, que considera o objetivo de melhorar o desempenho nos 3 pilares da sustentabilidade: econômico, ambiental e social. Com efeito, a incorporação dos três pilares - econômico, ambiental e social - nas estratégias e ações das empresas constitui o elemento distintivo das inovações sustentáveis em comparação às inovações convencionais, enriquecendo significativamente essa abordagem.

2.5.1 Motivos para investimentos em inovação sustentável

Os investimentos em inovação sustentável são impulsionados por diversos motivos, como por exemplo a busca por legitimidade da empresa. Nesse contexto, a adoção de práticas mais contemporâneas em inovação sustentável é impulsionada pela habilidade da empresa em comunicar de forma abrangente suas iniciativas, resultando em valor comercial agregado e facilitando o acesso a mercados específicos (Hussain et al., 2018).

Conforme apontado por Boons et al. (2013), os investimentos na área de inovação sustentável são impulsionados por sua capacidade de viabilizar a introdução de novos produtos e serviços sustentáveis no mercado. De acordo com a visão de Geissdoerfer, Vladimirova e Evans (2018), as empresas que incorporam práticas de inovação sustentável em sua gestão adotam uma perspectiva de criação de valor sustentável a longo prazo, o que pode resultar em impactos positivos nas esferas social, econômica e ambiental de suas operações (Costa et al., 2022).

Investimentos em inovação sustentável também surgem como uma resposta antecipatória à instabilidade da economia, como estratégia diferenciadora para um posicionamento competitivo com visão de longo prazo, como um compromisso transparente, responsável e moral ao nível ambiental e social, como uma postura voltada para a geração de valor com base na gestão sistematizada da inovação sustentável (Pimenta, 2022).

Kemp, Smith e Becher (2000) discutem vários motivos para a busca da inovação sustentável, incluindo: (a) incentivos para inovar, impulsionados pela concorrência, preços e necessidade de clientes; (b) capacidade de integrar e combinar conhecimento de diversas fontes; e (c) habilidade de coordenar o processo inovativo.

Ginsburg e Bloom (2004) apontam que o compromisso das organizações com a inovação sustentável é moldado pela necessidade de conformidade com regulamentações ambientais, mitigação de críticas, atendimento à crescente demanda dos consumidores por produtos ecológicos e investimento em tecnologias voltadas para essas demandas. A integração entre inovação e sustentabilidade exige um repensar as políticas inovação e tecnologia, voltadas para desenvolver as áreas no entorno tanto nas organizações públicas quanto em empresas privadas (Silvestre, 2016).

A interligação entre inovação e sustentabilidade traz consigo oportunidades e responsabilidades, uma vez que as empresas são reconhecidas pelos consumidores como atores-chave capazes de moldar o futuro e fomentar a criação de tecnologias direcionadas para questões ligadas ao meio ambiente e sociedade (DEARING, 2000). Ao adotar abordagens de inovação sustentável, as empresas podem conquistar vantagem competitiva ao realizar atividades de maneira diferenciada, otimizando a sinergia entre sustentabilidade e inovação no

cerne da empresa para estimular a criação de novos empreendimentos. Isso gera valor sustentável a longo prazo (Amui et al., 2017; Hofmann, 2012; Cezarino et al., 2019; Jiang et al., 2018).

Hansen, Grosse-Dunker e Reichwald (2009) afirmam que a sustentabilidade não apenas amplia as possibilidades de inovação e oportunidades de negócios, mas também impõe uma exigência normativa sobre a inovação, a fim de torná-la mais compatível com as preocupações ambientais e sociais. Além disso, a sustentabilidade emerge como uma nova fonte de inspiração para a inovação e uma maneira de conquistar uma vantagem competitiva.

Além disso, as empresas investem em inovação sustentável para aumentar sua eficiência e reduzir seus custos operacionais, ao mesmo tempo em que melhoram sua reputação junto aos consumidores e investidores. A inovação sustentável também pode oferecer novas oportunidades de negócios, através do desenvolvimento de produtos ou serviços com baixo impacto ambiental, e pode ser uma forma de as empresas se manterem competitivas em um mercado cada vez mais exigente em relação à sustentabilidade (Scherer e Voegtlin, 2020; Voegtlin et al, 2022; Adams et al (2016).

Os investimentos em inovação sustentável também podem ser motivados pela necessidade de adaptação às mudanças climáticas e aos desafios ambientais, e pela busca por vantagens competitivas, como a redução de riscos associados à escassez de recursos naturais e às regulamentações ambientais. Os benefícios da inovação sustentável podem ser percebidos em diversos aspectos, como a redução de custos, o aumento da eficiência, a criação de novas oportunidades de negócios, a melhoria da imagem corporativa e a mitigação de riscos associados à mudança do clima e à escassez de recursos naturais (Bocken et al. 2014; Kneipp et al. 2019; Cillo, 2019; Scaliza, 2022).

Resumidamente, as razões para os investimentos em inovação sustentável abrangem vários aspectos: (a) atender regulamentações ambientais; (b) responder a críticas e pressões de partes interessadas em direção à sustentabilidade; (c) aproveitar oportunidades de negócios e atender a demanda por produtos sustentáveis; (d) incentivos governamentais e políticas públicas; (e) visão baseada em recursos; (f) gerenciar processos de inovação e liderança institucional; (g) combinar conhecimentos internos e externos; (h) avanços em

tecnologia ambiental; (i) busca por legitimidade; (j) criação de valor a longo prazo; e (k) gerar resultados positivos nas esferas social e ambiental. Estas motivações são sustentadas por diversos estudos, autores e abordagens (Costa et al., 2022; Hussain et al., 2018; Geissdoerfer, Vladimirova e Evans, 2018; Ginsburg e Bloom, 2004; Lee e Hooley, 2005; Hansen, Grosse-Dunker e Reichwald, 2009; Yoon e Tello, 2009; Bocken et al., 2014; Kneipp et al., 2019; Kemp, Smith e Becher, 2000; Cillo, 2019; Scaliza, 2022; Porter e van der Linde, 1995).

2.6. Alianças para inovação sustentável

Esta seção foi desenvolvida para atender ao objetivo específico vii) Identificar e caracterizar as parcerias no desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA.

As alianças para inovação sustentável têm sido discutidas na literatura como uma estratégia importante para promover o desenvolvimento sustentável em empresas e organizações. Diversos autores destacam a importância das alianças para superar as barreiras à inovação, compartilhar recursos e conhecimento, e aumentar as capacidades de inovação das empresas. As alianças são formas de cooperação que permitem a empresas unirem esforços para alcançar objetivos comuns, como a geração de inovação (Bouncken e Fredrich; 2017).

Nesse contexto, a escolha dos parceiros torna-se essencial para o sucesso das alianças para inovação sustentável. A colaboração por meio de parcerias entre empreendimento com foco na sustentabilidade emerge como uma estratégia viável para abordar os desafios socioambientais, conectando empresas de grande porte a pequenos negócios, incluindo startups. O propósito subjacente a essas alianças é impulsionar a inovação orientada para a sustentabilidade. Através dessa cooperação, as organizações podem combinar recursos, conhecimentos e experiências para desenvolver soluções que sejam tanto economicamente viáveis quanto social e ambientalmente benéficas (Scherer e Voegtlin, 2020).

As alianças para inovação sustentável têm sido cada vez mais utilizadas como ferramenta para a inovação nas empresas, com o objetivo de acessar

conhecimentos externos e recursos valiosos para potencializar a criação de valor, sendo uma capacidade de organização relevante para obter os benefícios da sustentabilidade (Bezerra, Gohr e Morioka 2020; Geissdoerfer, Vladimirova e Evans 2018).

Elkington (1997) destaca a importância das parcerias entre empresas e organizações da sociedade civil para desenvolver soluções sustentáveis que atendam às necessidades da sociedade e do meio ambiente. Segundo o autor, as alianças são fundamentais para superar as barreiras à inovação, incluindo a falta de recursos financeiros e tecnológicos, e para aumentar as capacidades de inovação das empresas, bem como a alavancar novas oportunidades de mercado.

Gray (2006) destaca que as alianças para inovação sustentável podem ajudar as empresas a criarem valor compartilhado, que beneficia não apenas a empresa, mas também a sociedade e o meio ambiente. O autor destaca que as alianças podem ser uma forma eficaz de envolver os stakeholders e obter informações sobre as necessidades e expectativas da sociedade em relação à sustentabilidade. Kolk e van Tulder (2010) destacam a importância das alianças para a implementação da responsabilidade social corporativa e para o desenvolvimento sustentável. Segundo os autores, as alianças podem ajudar as empresas a compartilharem riscos e recursos, aumentar a eficácia das iniciativas de sustentabilidade, e melhorar a governança e transparência das empresas em relação às suas práticas de sustentabilidade.

Porter e van der Linde (1995) destacam que as alianças para inovação sustentável podem ajudar as empresas a encontrar novas oportunidades de negócios em áreas relacionadas à sustentabilidade, como a energia renovável, a gestão de resíduos e a eficiência energética. Segundo os autores, as alianças podem ajudar as empresas a desenvolverem soluções inovadoras que atendam às necessidades da sociedade e do meio ambiente, e que também sejam rentáveis para as empresas.

Os parceiros escolhidos para formar alianças podem apresentar diferentes características, como tamanho, setor de atuação, tecnologias utilizadas, dentre outros fatores. A escolha dos parceiros deve levar em consideração a complementaridade de recursos e competências, como orientação estratégica e relacional (compatibilidade cultural) e do alinhamento

de objetivos de longo prazo (Guertler e Sick, 2021). Além disso, a escolha de parceiros com características complementares pode ampliar a diversidade de conhecimentos e recursos disponíveis para a empresa, o que pode contribuir positivamente para o processo de inovação. Ao desenvolver uma visão compartilhada e formas de trabalharem juntos, os parceiros são capazes de construir e sustentar trocas valiosas de informações e uma colaboração mais eficaz para a inovação (Laursen, 2017; Laursen e Salter, 2006).

De acordo com Gulati (1998, p. 293), as alianças são acordos voluntários entre empresas e que envolve troca, codesenvolvimento ou compartilhamento de tecnologias, produtos ou serviços. A busca por conhecimentos externos tem se mostrado crucial para alcançar resultados em inovação, e as alianças, juntamente com joint ventures, fusões e aquisições, são algumas das formas mais comuns de atingir esse objetivo. Isso pode se intensificar quando consideramos os desafios ainda maiores de se integrar diferentes interesses, habilidades e conhecimentos de parceiros para atingir a inovação sustentável nas 3 esferas – econômica, social e ambiental.

As alianças se destacam por acelerar o avanço tecnológico, como apontam Shin et al. (2016). O tema é relevante porque as alianças para inovação sustentável são um meio para se ter acesso aos recursos valiosos dos parceiros, o que potencializa a geração de inovações (Sáez, Arribas, & García, 2002). No entanto, a revisão da literatura sobre alianças para inovação apresenta uma escassez de estudos que contemplem a maximização da criação e apropriação de valor ao longo do tempo (Wang & Rajagopalan, 2015; Martínez-Nova & Narula, 2018).

Conforme apontam Lane e Lubatkin (2006), as alianças são uma forma de desenvolver a capacidade de aprendizagem e uso dos conhecimentos do parceiro. Essas alianças podem ocorrer entre parceiros dispares ou com proximidade geográfica, tecnológica, setorial, social, institucional, entre outros (Hansen, 2015; Boschma, 2005; Broekel; Boschma, 2012; Lane e Lubatkin 2006). Segundo Zahra e George (2002), as alianças são uma ferramenta para adquirir conhecimento para posterior transformação e exploração, e assim acelerar o desenvolvimento tecnológico das empresas. Os parceiros podem procurar relações que se aproximem em diversas dimensões de proximidade, e podem formar alianças entre empresas de setores e tecnologias distintas, o que

levará a diferentes resultados (Salvini, 2020). A diversificação nas alianças para inovação é essencial para o desenvolvimento da inovação sustentável e para a busca por melhores resultados (Cillo et al., 2019; Shin et al. 2016).

A seleção de parceiros e a escolha do local para a aliança estão intrinsecamente ligadas, devido a percepção dos riscos relacionados à apropriação de conhecimento dentro de uma aliança não estar somente ancorada nas características da transação, mas também no contexto em que ela ocorre. Em certos cenários, a decisão sobre a localização pode preceder a escolha do parceiro. As empresas podem buscar parcerias em um determinado local visando aproveitar vantagens locais por meio do parceiro, ou podem determinar o tipo de parceiro necessário com base em suas capacidades tecnológicas, independentemente de onde esteja situado. Dessa forma, a formação de alianças de P&D é menor conforme aumenta a distância geográfica entre as partes (Martínez-Noya; Narula, 2018; Henisz, 2000; Reuer e Lahiri, 2014; Santangelo et al., 2016).

Apesar da distância geográfica impactar negativamente o desempenho inovador das alianças, envolvimento direto (provenientes de colaborações anteriores) e indireto (por meio de parceiros em comum) entre parceiros atenuam esse efeito (Zaheer et al., 2010). As empresas buscam alianças visando internalizar vantagens específicas de localização e potencializar sua capacidade inovadora ou evitam tais alianças para mitigar o risco de vazamentos não intencionais de conhecimento. De fato, a distribuição geográfica das atividades envolvendo pesquisa e desenvolvimento é impulsionada pela busca de acesso a transferências de conhecimento (Feinberg e Gupta, 2004; Alcácer, 2006; Martínez-Noya; Narula, 2018; Lahiri, 2010).

De acordo com Martinez, Zouaghi e Garcia (2017) e Moreira (2016), o conjunto de alianças desenvolvidas por uma empresa formam seu portfólio de alianças, sendo que a variedade do portfólio de alianças pode contribuir de forma positiva para a geração de inovação nas empresas, podendo indicar a existência de um nível ideal de diversidade de parceiros. Além disso, dependendo do perfil dos parceiros, as alianças estratégicas se destacam como formas de acesso a recursos valiosos (Sáez et al., 2002), permitindo assim alcançar um conhecimento externo diversificado (Cohen & Levinthal, 1989).

Outra questão importante a ser considerada nas alianças para inovação sustentável é a forma como as empresas se relacionam com seus parceiros. Segundo Gnyawali e Park (2009), as empresas podem adotar diferentes estratégias de cooperação, como a cooperação em pesquisa e desenvolvimento, a competição e a coopetição. A coopetição, que consiste na combinação de elementos de cooperação e competição, tem sido apontada como uma estratégia eficaz para alavancar a inovação nas alianças.

A colaboração em P&D tem se destacado como uma abordagem crucial para acessar conhecimentos científicos de vanguarda, essenciais para impulsionar as inovações nas organizações de alto desempenho. As parcerias em P&D, caracterizadas pela união de forças entre dois ou mais participantes, visam a combinação de recursos e a coordenação de atividades em prol de um objetivo compartilhado. Essas alianças também são identificadas como acordos de cooperação tecnológica ou parcerias estratégicas em tecnologia (Martínez-Noya; Narula, 2018).

Por meio dessas alianças, as empresas podem aprimorar sua interação, estreitar relacionamentos e promover a troca de informações entre si. Esse processo enriquece o portfólio de recursos das organizações, melhora a qualidade das informações, aprimora o conhecimento acerca de mercados e recursos tecnológicos. Como resultado, as empresas que optam por essas alianças têm a capacidade de fortalecer suas estratégias de inovação, especialmente quando se trata de inovações pioneiras (Bouncken; Pesch; Kraus, 2015).

Acesso a fontes externas de conhecimento e recursos são necessários para a criação de novos conhecimentos e para alavancar e aperfeiçoar os conhecimentos já existentes, assim, tem-se na colaboração entre parceiros de diferentes países a possibilidade de alavancar vantagem competitiva em mercados estrangeiros, abrindo dessa forma uma lacuna de oportunidade para investigar se parceiros que estão em países diferentes podem desenvolver atividade de inovação juntos (Kauppila, 2010; Lavie, Miller, 2008). Isso impacta positivamente no resultado de inovação das empresas (Martínez-Noya & Narula, 2018).

Outro ponto importante na formação das alianças para inovação sustentável que buscam P&D serem bem-sucedidas é a relação tecnológica do

parceiro. As empresas com conhecimento em áreas tecnológicas similares têm maior probabilidade de criar alianças com melhor desempenho (Frankort, 2016; Lane e Lubatkin, 1998; Rothaermel e Boeker, 2008). O relacionamento tecnológico influencia o desempenho da inovação nas alianças de P&D, uma vez que os parceiros compartilham bases de conhecimento semelhantes (Diestre e Rajagopalan, 2012; Frankort, 2016). Quando os parceiros possuem conhecimentos parecidos, eles conseguem assimilar e utilizar o conhecimento um do outro de forma mais eficiente, o que aumenta o valor criado por meio da colaboração em P&D (Frankort, 2016; Lane e Lubatkin, 1998). Uma forma de avaliar a relação tecnológica dos parceiros consiste em examinar a quantidade de patentes registradas por cada empresa envolvida nas alianças de P&D (Diestre e Rajagopalan, 2012).

Já a experiência do parceiro abrange tanto a experiência geral da empresa em formar alianças anteriores quanto a experiência específica adquirida por meio de colaborações repetidas com o mesmo parceiro (Hoang e Rothaermel, 2005). As colaborações passadas permitem que os parceiros acumulem conhecimento sobre os recursos de P&D um do outro, abrindo caminho para explorar novas oportunidades de conhecimento juntos (Reuer e Devarakonda, 2017).

Os parceiros com mais experiência em alianças tendem a ter maior conhecimento sobre como aproveitar as inovações sustentáveis referentes às colaborações anteriores, especialmente quando essas alianças foram bem-sucedidas (Jones et al., 2003; Duysters et al., 2012). Outro ponto é que os parceiros experientes desenvolvem rotinas para combinar seus conhecimentos com os de colaborações anteriores e atuais, o que aumenta sua capacidade de absorver novos conhecimentos e melhora seu desempenho em inovação (Bouncken e Fredrich, 2016; Lane e Lubatkin, 1998; Anand e Khanna, 2000). Para avaliar a experiência do parceiro, pode-se calcular o número médio de parcerias que os envolvidos da parceria formaram antes da aliança atual (Hoang e Rothaermel, 2005).

Parceiros maiores, em geral, possuem recursos valiosos que podem impulsionar o desempenho da empresa. Eles têm acesso a uma diversidade de recursos, que podem ser tanto tangíveis quanto intangíveis, como talentos, recursos financeiros, esforços de marketing, investimentos em P&D e reputação,

que podem ser compartilhados com a empresa parceira por meio da aliança (Lavie, 2007; Lahiri e Narayanan, 2013).

Adicionalmente, os parceiros maiores têm maior capacidade de absorver o conhecimento presente no capital organizacional de suas empresas parceiras e integrá-lo de forma eficiente em suas próprias organizações (Belgraver e Verwaal, 2017). Para medir o tamanho do parceiro, pode-se usar o número total de funcionários das empresas envolvidas na aliança como variável do tamanho da empresa (Lahiri e Narayanan, 2013).

Diversas pesquisas têm evidenciado que uma busca excessiva por conhecimento externo pode acarretar problemas potenciais, como a dificuldade em encontrar o parceiro adequado (Laursen, 2017; Laursen e Salter, 2006), o que, por sua vez, pode comprometer o desempenho da inovação. Portanto, o processo de seleção de parceiros desempenha um papel fundamental na construção de relacionamentos entre as empresas (Li et al., 2008; Li e Piezunka, 2020).

A formação de alianças para inovação sustentável pode ser um processo complexo e envolve riscos. Por isso, é importante considerar a compatibilidade estratégica e cultural dos parceiros, além de estabelecer acordos claros quanto à propriedade intelectual, apropriação de valor e compartilhamento de recursos. Além disso, a formação de alianças para inovação sustentável ainda enfrenta desafios, como a questão da falta de confiança entre os parceiros. Em um ambiente aberto e dinâmico, onde a entrada e saída de parceiros pode ocorrer a qualquer instante, e a mudança de comportamento pode acontecer, a confiança desempenha um papel fundamental. Torna-se um pré-requisito essencial e frequentemente influencia a qualidade do relacionamento pois afeta a disposição de cada parte em ser aberta e compartilhar com dados com terceiros (Li et al., 2008; Geissdoerfer, Vladimirova e Evans 2018; Li e Piezunka, 2020).

Quando indivíduos agem, interagem e compartilham de maneira significativa, eles baseiam-se na confiança para sustentar tais interações. Inserir confiança, dessa forma, desenha um alicerce para um funcionamento harmonioso nas relações (Marsh et al., 2020). Da mesma forma, em um cenário de colaboração em um ambiente em constante evolução, a confiança se torna uma peça-chave para enfrentar os desafios da incerteza quando parcerias são

estabelecidas com o objetivo de alcançar metas inovadoras. Assim, a confiança desempenha um papel significativo na qualidade dos laços entre os parceiros (Li et al., 2008; Li e Piezunka, 2020; Mohr e Nevin, 1990).

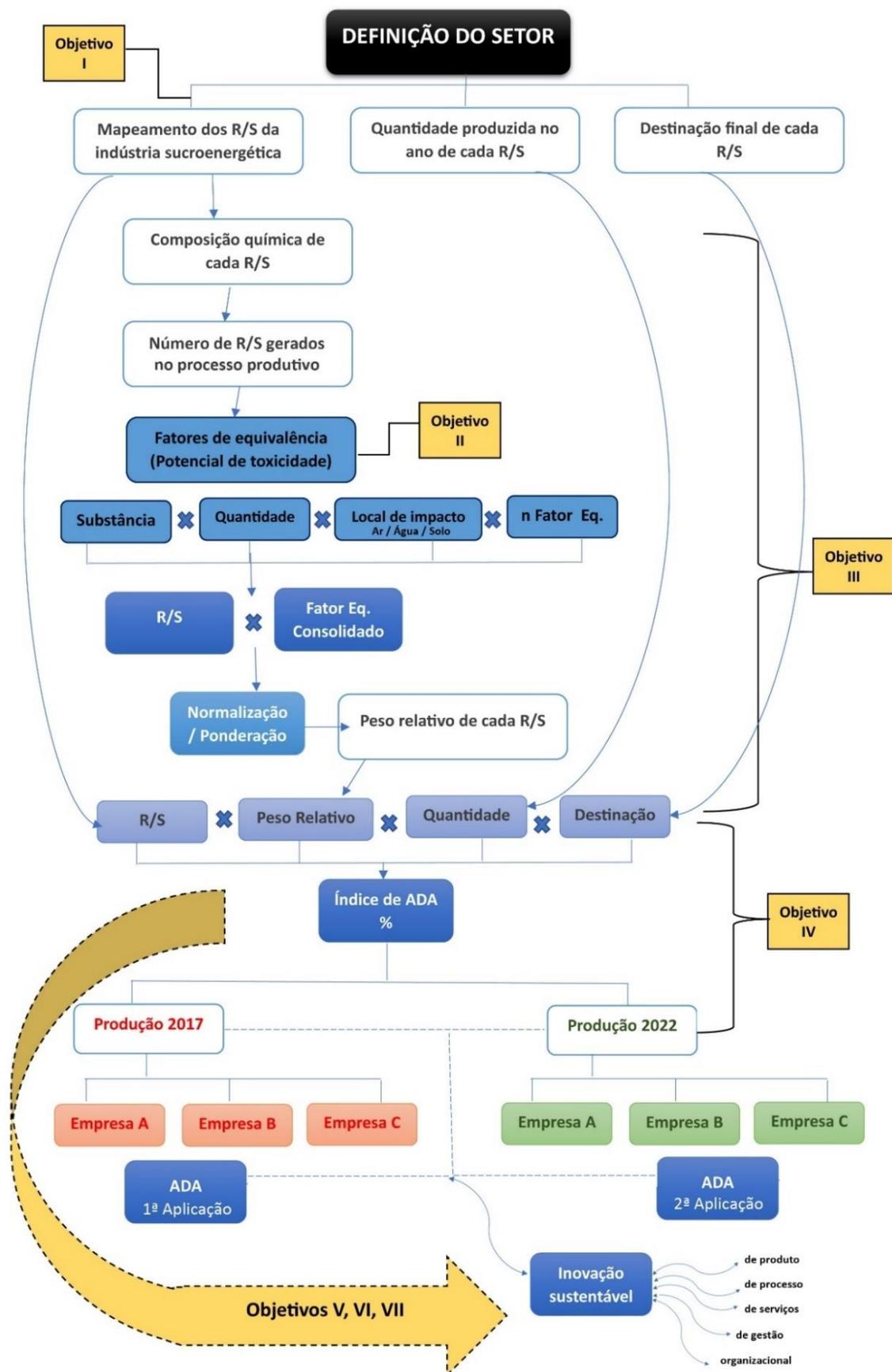
Dessa forma, a confiança desempenha um papel de destaque nas etapas iniciais do processo de inovação colaborativa entre as empresas parceiras, sendo que, nas etapas iniciais, a confiança torna-se determinante para selecionar os parceiros (Bürger e Roijakkers, 2021). Dessa forma, que um alto nível de confiança pode estimular a concretização da parceria. A construção da confiança pode ocorrer através da interação direta com outras partes, como experiências anteriores, apontamentos sobre a confiabilidade da outra parte, e confiança situacional. Além disso, a confiança existente entre uma empresa e seus parceiros pode ser construída com base em experiências positivas anteriores repetidas com esses parceiros, ou seja, a confiança se sustenta na previsibilidade e em comportamentos anteriores (Daronnat et al., 2021).

2.7. Mapa da pesquisa

Apresentado o referencial teórico que norteia a pesquisa, temos na Figura 2 a representação da proposta de pesquisa e os objetivos específicos. O objetivo I visa mapear o processo produtivo da indústria sucroenergética, identificando os resíduos e/ou subprodutos (R/S) gerados nas etapas de produção e a destinação final de cada R/S. O objetivo II contempla o estudo dos indicadores existentes para avaliação do potencial de impacto negativo no ambiente (fator de equivalência) e, em seguida, definir o método para cálculo dos impactos. O objetivo III consiste em elaborar a ferramenta de ADA para então calcular um índice que represente o desempenho ambiental da empresa. Para alcance do objetivo III segue-se alguns passos: i) no primeiro momento é detalhado a composição química de cada R/S bem como a quantidade de cada composto; ii) em seguida determinamos o Fator de Equivalência (potencial de toxicidade) de cada R/S através do produto entre a quantidade (g) de cada composto, local de destino e fator de equivalência; iii) em seguida os fatores de equivalência são consolidados para então serem normalizados (trazer os diferentes fatores de equivalência para uma mesma unidade de medida) e ponderados, permitindo assim encontrar o Peso Relativo de toxicidade de cada R/S; iv) por fim, com

estes dados reunidos a ferramenta de ADA torna-se possível de ser aplicada. O objetivo IV consiste em aplicar a estrutura metodológica em empresas do setor sucroenergético. A aplicação da ADA no recorte de tempo 2017-2022 nos permite atender aos objetivos V, VI e VII da pesquisa, e assim analisar o desenvolvimento de inovação sustentável em empresas sucroenergéticas após a aplicação de ADA. A Figura 2 apresenta uma perspectiva abrangente da pesquisa, destacando os principais resultados que pretendemos alcançar nesta pesquisa. Na próxima seção, são apresentados os métodos que utilizamos para colocar esses resultados em prática.

Figura 2 - Mapa conceitual da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor.

3. Método da pesquisa

As investigações na área da administração tratam de fenômenos complicados e distintos, tornando a sua implementação empírica difícil. O mesmo é válido para tópicos como ADA e Inovação Sustentável, que, até agora, não foram suficientemente trabalhados (Hansen, 2015; Fitjar et al, 2016).

Com o objetivo de compreender melhor os mecanismos de interconexão entre ADA e inovação sustentável, neste estudo, escolhemos uma pesquisa qualitativa, que possibilita a compreensão e explicação dos fenômenos sociais de forma que não afaste o pesquisador do ambiente de origem da pesquisa (Cooper & Schindler, 2011; Myers, 2013). Optamos pela abordagem exploratória, pois permite uma proximidade do pesquisador com o objeto a ser estudado e oferece uma perspectiva abrangente dos fatos (Reis, 2010).

As pesquisas podem ter como finalidade serem aplicadas ou puras. A pesquisa atual é aplicada, pois pode ser utilizada para solucionar um problema prático na sociedade. Isso é uma característica típica das pesquisas em ciências sociais aplicadas (Cooper; Schindler, 2003).

Devido à complexidade da pesquisa, e para se alcançar os objetivos propostos, a pesquisa está dividida em duas etapas distintas: a "Etapa 1", que consiste na construção de uma estrutura de ADA baseada na adequação da disposição final dos R/S originados nas etapas industriais, e a "Etapa 2", que se baseia no método de estudo multicase. Essa abordagem permitirá que se investigue os objetivos específicos propostos e possamos avançar com discussões consistentes para avanços em trabalhos acadêmicos e problemas empresariais. O Quadro 1 resume o modelo metodológico adotado na pesquisa, mostrando a relação entre os objetivos e os métodos utilizados, as variáveis analisadas, os dados e as análises dos dados.

Independentemente da perspectiva metodológica adotada, é fundamental construir as variáveis que serão analisadas e seus conceitos. Nesse sentido, as variáveis são entendidas como as características ou atributos que podem ser mensurados (Cooper; Schindler, 2003). O quadro 2 apresenta as variáveis empregadas no método do presente estudo, suas definições, formas de medição e principais autores.

Quadro 1 - Resumo do modelo metodológico

Objetivos	Método	Variáveis	Dados	Análise
i) Analisar as etapas de produção da usina sucroenergética e identificar os R/S gerados provenientes do processo produtivo; ii) Avaliar os indicadores disponíveis para medir o potencial de impacto negativo no ambiente e selecionar o método apropriado para calcular esses impactos; iii) Estabelecer uma estrutura lógica de ADA da metodologia proposta visando calcular um índice unificado de desempenho ambiental; iv) Aplicar a estrutura de ADA em usinas sucroenergéticas	Construção da ferramenta para ADA Levantamento bibliográfico Estudo de Caso	Geração de resíduos Geração de subprodutos Indicadores de Potencial de Impacto das emissões Potenciais das emissões, baseada no método EDIP	Múltiplos estudos de caso. Base de dados científica	Revisão de Literatura Análise Hierárquica de Processos Melhorada (IAHP) Triangulação das entrevistas, relatórios e documentação Análise de conteúdo
v. Identificar quais são as tecnologias de processo / produto que as usinas têm desenvolvido para inovação sustentável após aplicação da ADA. vi. Identificar como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo / produto para inovação sustentável após aplicação da ADA.	Estudo de Caso, com roteiro de entrevistas semiestruturado	Resultados de Inovação sustentável	Estudos de caso múltiplos.	Triangulação das entrevistas, relatórios e documentação Análise de conteúdo
vii. Identificar e caracterizar as parcerias no desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA.	Estudo de Caso, com roteiro de entrevistas semiestruturado	Alianças para inovação	Estudos de caso múltiplos.	Triangulação das entrevistas, relatórios e documentação Análise de conteúdo

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2 - Constructo das variáveis

Variável	Conceito	Medição	Autores
Geração de resíduos Geração de subprodutos	Resíduo: qualquer emissão proveniente de atividades produtivas. Subproduto: refere-se ao material originado nas fases de produção que: i) possua potencial para uso futuro ou comercialização; ii) seja diretamente aplicável, ou seja, sem necessidade de modificações; e iii) esteja integrado a um processo produtivo contínuo.	Quantidade gerada Composição química Destinação final	(ABNT, 2004; Liu et al., 2013; GRI, 2017; Thomaz, 2017)
Indicadores de Potencial de Impacto das emissões	Método elaborado para respaldar avaliações ambientais durante a criação de produtos industriais e fornecer variáveis de caracterização com distinções espaciais.	Local de origem do método. Nível de avaliação de impacto dos métodos: Midpoint, Endpoint e Combinado. Categorias de impacto. Abrangência de aplicação: global, nacional ou continental.	(Wenzel et al., 1997; (Hauschild; Wenzel, 1998; Mendes; Bueno; Ometto, 2015)
Potenciais das emissões, através do EDIP 97	Medidores de avaliação do desempenho ambiental fundamentados na capacidade de toxicidade.	Toxicidade humana e Ecotoxicidade	(Wenzel et al., 1997; (Hauschild; Wenzel, 1998; Mendes; Bueno; Ometto, 2015)
Resultados de Inovação sustentável	Trata-se de uma inovação que resulta na renovação ou aprimoramento de produtos, serviços, processos tecnológicos ou organizacionais, bem como em mudanças em estruturas e modelos de negócios, visando benefícios tanto em curto quanto em longo prazo e busca otimizar o desempenho social, ambiental e econômico	Atividades que resultaram em Inovação tecnológica, Inovação de: produto, serviço, processo, organizacional, gestão ou em máquinas e equipamentos. Patentes registradas.	(Hamel e Breen, 2007; OECD, 2018; Tidd, Bessant e Pavitt, 2008; Szekely, 2012; FINEP, 2009)
Alianças para inovação	Parcerias de inovação referem-se a relacionamentos estabelecidos entre 2 ou mais parceiros e que podem combinar recursos e coordenar atividades com o intuito de atingir um objetivo comum	Objetivo da parceria. Tempo de duração parceria. Histórico de desenvolvimento da parceria. Tipo do parceiro. Tamanho do parceiro.	(Martínez-Noya; Narula, 2018).

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1. Etapa 1 – Construção da estrutura de ADA

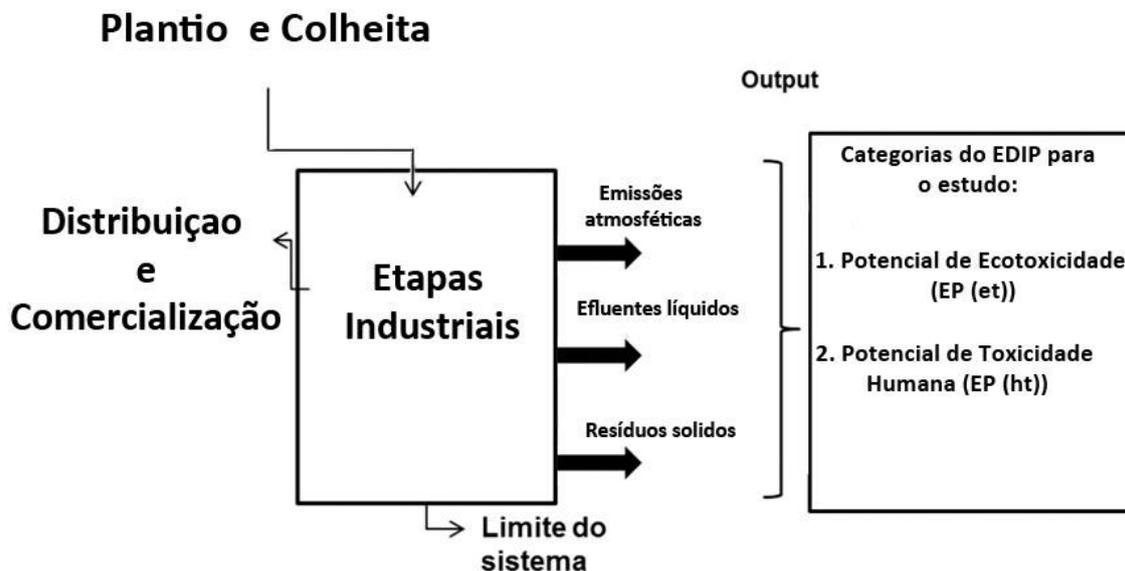
No contexto desta tese, é importante fazer algumas considerações em relação ao escopo do estudo. A pesquisa foi conduzida com foco nas etapas de produção do etanol e açúcar. Não foi levado em consideração para o estudo as fases de cultivo da cana, bem como as etapas de venda dos produtos. Dentro desse contexto, a avaliação do potencial impacto para o meio ambiente e seres humanos associados a essa indústria concentrou-se nos R/S gerados somente por suas atividades industriais.

A Figura 3 apresenta o limite do estudo, delineando as dimensões abordadas no setor. Isso compreende as etapas industriais, enquanto deixa de lado as etapas que precedem a atividade industrial (plantio e colheita) e aquelas relacionadas à venda (distribuição e comercialização). Nesse escopo definido, o cálculo dos potenciais, utilizando o método EDIP 97, considerou os R/S provenientes somente das atividades industriais.

No que diz respeito à saída do processo, foram identificadas as emissões no ar, água e solo, abordando as categorias especificamente de ecotoxicidade e toxicidade humana para análise ambiental presentes no EDIP 97, conforme explicado nesta seção. Embora todas as empresas tenham entradas no sistema (como matérias-primas, água e energia), essas entradas não foram objeto de análise do estudo.

Além disso, é fundamental esclarecer que, para o escopo deste trabalho, adotou-se o conceito de "resíduo" para abranger toda emissão originada de atividades produtivas, incluindo tanto efluentes líquidos, resíduos sólidos quanto emissões gasosas. Em contrapartida, para que um material seja caracterizado um "subproduto", ele deve cumprir com as seguintes condições: i) demonstrar potencial para uso futuro ou para ser vendido; ii) ser aplicável sem a necessidade de modificações; e iii) integrar um processo produtivo contínuo (FIPA, 2007). É válido ressaltar que, tanto os resíduos como os subprodutos podem ser qualificados como poluentes ou tóxicos, já que um material com essas características não pode ser adequadamente assimilado por um sistema natural caso sejam introduzidos em quantidades que excedam sua capacidade de absorção (Ribeiro et al., 2015).

Figura 3 - Limitações da pesquisa para o setor sucroenergético



Fonte: Elaborado pelo autor

A seguir, é apresentado em detalhes o método de pesquisa empregado nesta fase, dividido em etapas. Neste estudo, estamos ampliando e aprimorando a estrutura de ADA previamente desenvolvida por Thomaz (2017). Essa decisão é respaldada pelo fato de que aprimorar a estrutura da ADA pode ter um impacto significativo na melhoria contínua do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas. Nesta versão atualizada, foi incorporado o potencial de ecotoxicidade, que envolve a avaliação do impacto das emissões de R/S no meio ambiente e seu potencial prejudicial em organismos vivos, assim como na natureza em geral, dada sua toxicidade. Em consequência, existe a mudança no peso relativo ($V_{(a)i}$) do potencial de ecotoxicidade e toxicidade humana para cada R/S, descrito no item *b*) da subseção 3.1.5. *Desenvolvimento de um Índice de Avaliação de Desempenho Ambiental em Usinas Sucroenergéticas (Iadaus)*.

Os resultados da ADA podem contribuir para a tomada de decisões estratégicas das usinas sucroenergéticas. Ao avaliar se a ADA contribuiu para a inovação sustentável nas usinas, é possível identificar boas práticas e oportunidades de aprimoramento para o setor, ajudando a orientar a tomada de decisões estratégicas. Além disso, ao ampliar o estudo de ADA para avaliar sua contribuição para a inovação sustentável nas usinas, é possível contribuir para

o avanço da pesquisa em sustentabilidade e inovação, e para aprimorar a eficácia das estruturas de avaliação existentes.

3.1.2. Mapeamento dos processos produtivos

Nesta fase, foi conduzido o mapeamento detalhado das etapas produtivas da usina sucroenergética, acompanhado da elaboração de um inventário minucioso abrangendo os resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões gasosas e subprodutos gerados nas diferentes etapas de produção. Além disso, foram realizadas caracterizações detalhadas dos R/S, considerando aspectos como a atividade que os originou, a composição química e o potencial impacto negativo ambiental e na saúde humana. Essa etapa foi conduzida a partir de fontes técnicas e documentos obtidos junto às empresas estudadas, complementados por observações realizadas diretamente nas instalações industriais.

3.1.3. Cálculo dos potenciais de toxicidade utilizando o EDIP 97

No contexto deste estudo, a avaliação dos impactos ambientais foi conduzida utilizando as categorias e indicadores preconizados pelo método EDIP 97. Nota-se que o método EDIP 97 segue a abordagem midpoint, sendo direcionado para a identificação de problemas específicos de avaliação de impacto. Escolher este método foi uma ação deliberada devido à sua ampla aceitação como uma ferramenta para a quantificação dos impactos ambientais. O método EDIP 97, cuja adoção foi determinada, foi originariamente concebido para facilitar análises ambientais no âmbito do desenvolvimento de produtos, conferindo-lhes fatores de caracterização distintos e específicos (Mendes; Bueno; Ometto, 2015). No transcorrer deste estudo, foram submetidas à análise as seguintes categorias intrínsecas ao método EDIP: ecotoxicidade e toxicidade humana.

3.1.3.1 Potencial de ecotoxicidade

A liberação de substâncias químicas no ambiente pode resultar em efeitos nos organismos e influenciar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas

devido à sua ação tóxica. Essa relação causa-efeito complexa requer uma análise abrangente das características físico-químicas dos R/S gerados, abrangendo uma gama que vai desde resíduos de maior risco ao ambiente até aqueles de menor risco. Outro ponto é que essa avaliação considera aspectos distintos em relação aos mencionados anteriormente (Potting; Hauschild, 2005; Wenzel; Hauschild; Alting, 2000).

A capacidade de toxicidade de uma substância no meio ambiente resulta tanto de suas propriedades tóxicas quanto de sua exposição ao ambiente. O potencial de impacto das substâncias (PI) não é apenas determinado pelas quantias liberadas, mas também pela sua trajetória no meio ambiente, incluindo passagens pelos compartimentos solo, ar, água e sua degradação biológica. Esse impacto potencial pode ocorrer local ou regionalmente (Potting; Hauschild, 2005).

Caso as concentrações de substâncias prejudiciais liberadas por emissões forem altas o suficiente, os efeitos nocivos podem ter início imediatamente após a liberação, caracterizando a ecotoxicidade aguda. Por outro lado, os efeitos tóxicos que surgem após exposição que se repita ou se prolongue são considerados de ecotoxicidade crônica. Isso pode ocorrer com compostos de reduzida biodegradabilidade (Wenzel; Hauschild; Alting, 2000). Os impactos ambientais são mensurados baseando-se nos efeitos causados pelas emissões tanto na água, em termos crônicos ou agudos, quanto no solo, em termos crônicos (Ometto, 2005).

Para determinar a ecotoxicidade, é requerido o produto da amplitude da emissão pelo fator de equivalência correspondente disponível no método EDIP, conforme ilustrado abaixo:

EP(etwa) = Quantidade de Emissão x Fator de Equivalência (etwa)
ecotoxicidade aguda na água (1)

EP(etwc) = Quantidade de Emissão x Fator de Equivalência (etwc)
ecotoxicidade crônica na água (2)

EP(etsc) = Quantidade de Emissão x Fator de Equivalência (etsc) ecotoxicidade
crônica no solo (3)

A ecotoxicidade é quantificada em metros cúbicos (m³) por ar, solo e água examinado, indicando o volume necessário para diluir a emissão e estabelecer a concentração da substância. Esses coeficientes são fornecidos em detalhes por Wenzel, Hauschild e Alting (2000, p. 261-263).

3.1.3.2. *Potencial de Toxicidade humana*

A avaliação do potencial de toxicidade humana para os R/S é utilizado os conceitos delineados no EDIP 97 (Wenzel et al., 1997). A toxicidade humana resulta de substâncias que tem propriedades toxicológicas, não apresenta biodegradabilidade e são propensas a acumular-se nos seres vivos.

A manifestação da toxicidade humana está intrinsecamente ligada à interação dessas propriedades com a forma de exposição das substâncias. Caso a substância apresente emissão no ar é chamada de hazard toxicity air (HTA), exposição aquática de hazard toxicity water (HTW) ou terrestre de hazard toxicity soil (HTS) (Wenzel et al., 1997).

Nesse contexto, é viável calcular a toxicidade humana (EP) determinando os fatores de equivalência (EF) para cada substância, que estão documentadas no EDIP 97, através do produto de cinco componentes: como a substância se dispersa no ambiente, como a substância transita através das vias de exposição, pela inalação ou ingestão, pelo grau de toxicidade da substância e sua capacidade de biodegradação (Wenzel et al., 1997). O (EP) associado a um determinado R/S é determinado somando os produtos dos fatores de equivalência das substâncias presentes no R/S, multiplicados pela quantidade correspondente (Q) da substância, conforme a fórmula:

$$EP = Q \cdot EF \quad (4)$$

Dessa forma, encontramos potenciais de toxicidade humana para o Ar (EP(hta)), Água (EP(htw)) e Solo (EP(hts)) para os R/S.

3.1.4. **Normalização**

Os (PI), são apresentados em unidades complexas, refletindo os efeitos no ambiente de forma não imediatamente compreensível em relação a problemas concretos ou ameaças predominantes até que ocorra a normalização. Desse modo, a normalização fixa um ponto de referência para avaliar a pressão ambiental em cada categoria de impacto (Sleeswijka et al., 2008; UNEP, SETAC, 2011). Durante o processo de normalização, é prática comum comparar os (PI) utilizando a mesma referência para todas as categorias. Isso significa calcular magnitudes relativas para expor resultados de maneira propícia para ponderações finais e decisões. Em resumo, a normalização alinha a ecotoxicidade e toxicidade humana em uma base uniforme, simplificando para analisar os dados.

É válido ressaltar que os valores de normalização têm origem nos cálculos dos R/S gerados pela usina em âmbito nacional, os quais são quantificados em um índice empregado para compor a ferramenta de ADA do setor. Nesta etapa, adotou-se o método EDIP 97 para a normalização, o qual, de acordo com as explanações de Wenzel, Hauschild e Alting (2000), utiliza como base o consumo de recursos e os (PI) imposto pela sociedade ao meio ambiente anualmente. O fator de equivalência é centrado nas pessoas, ou seja, representa o impacto potencial por pessoa por ano - PEw.

3.1.5 Desenvolvimento de um Índice de Avaliação de Desempenho Ambiental em Usinas Sucroenergéticas (*I_{adaus}*)

Nesta etapa, ocorreu a formulação de um Índice de ADA (*I_{adaus}*), destinado a retratar a performance ambiental de usinas sucroenergéticas no Brasil, baseada nos potenciais de ecotoxicidade e toxicidade humana. Essa etapa consolida diversos indicadores, resultando em um índice abrangente. O *I_{adaus}* foi concebido para oferecer uma representação percentual, a qual evidencia se a disposição dos R/S da usina sucroenergética é considerada adequada do ponto de vista ambiental.

O cálculo do índice *I_{adaus}* é através da fórmula:

$$I_{adaus} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{(V(a)_{iQ_iA_i})}{(\sum_{j=1}^n (V(a)_{iQ_jA_j}))} k_i \right) \times 100 \quad (5)$$

onde:

- a) n - refere-se ao quantidade de R/S gerados nas etapas produtivas da usina, os quais foram apresentados na Etapa 1.
- b) $V_{(a)i}$ - peso relativo do potencial de ecotoxicidade e toxicidade humana. O cálculo do peso relativo ocorreu em duas fases distintas:

Etapa 1 – Realização do cálculo dos potenciais dos R/S com o EDIP 97.

Nesse estágio, o processo de avaliação de impacto teve início com a identificação dos potenciais de ecotoxicidade e toxicidade humana associados a cada R/S. Essa análise foi fundamentada nos conceitos propostos no método EDIP 97 (Wenzel et al., 1997).

Etapa 2 – Ponderação relativa (PR)

A ponderação relativa atribui pesos para comparar as categorias de impacto. Essa técnica combina resultados prévios para obter uma medida global do impacto ambiental do sistema, permitindo interpretação dos dados. É a ponderação conjunta de diversos impactos, resultando em valor único das categorias no cálculo dos potenciais de toxicidade (Westkämper; Alting; Arndt, 2000; Thomaz, 2017; Oliveira; Cristobal; Saizar, 2016).

Para avaliar ecotoxicidade e toxicidade humana, usou-se Improved Analytic Hierarchy Process (IAHP), variação do AHP de Saaty (1991) para decisões baseadas em comparação e hierarquização de critérios.

O AHP original compara pares de alternativas e atributos, crescendo quadraticamente com número de alternativas/atributos (Rao, 2013). Já o IAHP lida bem com atributos objetivos, usando matriz de comparação com escala de importância relativa, normalizando e convertendo valores subjetivos em objetivos (Thomaz, 2017; Zhang, 2015; Rao, 2013). Dessa forma, o IAHP traz vantagens como ter matrizes mais consistentes, ser mais eficaz para extrair informações e ter uma aplicação prática (Li et al., 2013). O método IAHP para pesar os índices aumenta a consistência nas matrizes de julgamento, solucionando

desafios das escalas tradicionais e da coerência nas matrizes (Xiulin; Dawei, 2014).

Para ter resultados mais rápidos e precisos e aproveitar o potencial do IAHP, utilizamos o software MindDecider (www.minddecider.com) que agiliza e supera limitações do AHP. O software traz a opção de "Auto resolver dependências" que reduz comparações com base em correlações inseridas. Com proporções como $X < Y$ e $Z > Y$, a função "auto resolver dependências" deduz que $X < Z$. Ao inserir $X < Y$ e $Y = Z$, deduz $X < Z$. assim, é reduzido o número de perguntas necessárias para a ponderação (Thomaz, 2017; Roodchenko e Banin, 2015; Rebelato et al., 2019). Assim, os dados dos potenciais de ecotoxicidade e toxicidade humana, calculados pelo EDIP 97, foram inseridos no MindDecider. O resultado é o peso relativo de cada R/S chamados de $(V(a)_i)$.

- c) Q_i - representa a proporção relativa de cada R/S. Essa variável indica a contribuição percentual de cada R/S em relação ao total de R/S gerados pelas usinas sucroenergéticas do Brasil. Essa análise considera um período de um ano referente à safra entre 2017 e 2022. É expressa por:

$$Q_i = \frac{b_i}{\sum_{j=1}^n b_j} \times 100 \quad (6)$$

onde, b_i é a quantidade total de R/S i gerado pela usina estudada.

- d) A_i - alcance de impacto relativo de cada R/S que é expresso por:

$$A_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^n x_j} \times 100 \quad (7)$$

onde, x é um valor que varia entre 1 e 3, sendo 1 para uma menor alcance de impacto e 3 para um maior alcance de impacto que cada R/S pode atingir.

- e) k_i - avalia a destinação final feita pela empresa para cada R/S, sendo atribuído o valor 1 para meios adequados ambientalmente e 0 para meios inadequados ambientalmente.

3.1.6 Aplicação da ADA na indústria sucroenergética

Nesta fase, três empresas pertencentes à indústria sucroenergética foram selecionadas como casos de estudo. Durante esse processo, foram realizadas observações nos locais de estudo e coletadas informações documentadas das empresas. Essas informações incluíram dados sobre as quantidades produzidas de cada R/S, assim como a destinação final dada para cada um desses elementos. As empresas escolhidas pertencem ao setor sucroenergético, que além de ser relevante e diversificado, oferece muitas oportunidades para estudos acadêmicos e de negócios. Outros fatores que justificam essa escolha setorial são: i) relevância econômica: a indústria sucroenergética é relevante para a economia brasileira, seja na geração de empregos ou movimentando uma grande quantidade de recursos financeiros; ii) Impacto ambiental: a produção de açúcar e etanol pode ter impactos significativos no meio ambiente, tanto positivos quanto negativos, o que torna esse setor um alvo interessante para estudos sobre sustentabilidade e responsabilidade ambiental; iii) inovação sustentável: a indústria sucroenergética tem sido uma fonte de inovação tecnológica, com empresas investindo em pesquisa e desenvolvimento de novos processos e produtos, o que pode ser um tema interessante para estudos sobre inovação sustentável; iv) cadeia produtiva: a produção de açúcar e etanol envolve uma cadeia produtiva complexa, que inclui desde o plantio da cana-de-açúcar até a distribuição dos produtos finais. Isso pode ser um tema interessante para estudos sobre logística e gestão da cadeia de suprimentos e, v) regulação governamental: a indústria sucroenergética é altamente regulada pelo governo, o que pode ser um tema interessante para estudos sobre políticas públicas e regulação econômica. São adequadas para o estudo pois foram empresas que aceitaram a implantação de ADA.

3.2 Etapa 2 – Estudo de casos múltiplos

Esta seção aborda a segunda fase do estudo, destacando a abordagem de pesquisa adotada, a justificativa por trás da escolha do método, as técnicas empregadas para coletar e analisar os dados, além de fornecer um resumo das etapas realizadas durante o estudo.

O estudo adotou uma abordagem descritiva e qualitativa, conforme definido por Cooper & Schindler (2011). A escolha por uma abordagem qualitativa se baseia no objetivo de aprofundar o entendimento de uma questão específica dentro de um contexto sócio-cultural determinado (Myers, 2013). Optar por um estudo qualitativo pressupõe existir uma realidade externa de caráter objetivo que pode ser explorada e resumida, bem como a identificação das interações entre diferentes elementos dessa realidade por meio de métodos que enfatizam a rigorosa fundamentação científica e ajudam a identificar modelos teóricos (Su, 2018).

Diante do contexto apresentado e dos objetivos propostos nesta tese, é adequado classificá-la como um estudo de natureza aplicada e abordagem descritiva. A abordagem adotada é qualitativa, buscando ampliar as possibilidades de análise e compreensão dos dados coletados. O procedimento utilizado é o estudo de caso múltiplo ou multicase, o que permite analisar o fenômeno em diferentes contextos, considerando suas particularidades e singularidades.

Para atingir os objetivos estabelecidos, foram empregadas técnicas de baseadas em intervenções que englobaram entrevistas, observação participante, análise documental e elaboração de diagnósticos. Foi utilizado um roteiro semiestruturado para condução das entrevistas, permitindo que os entrevistados se expressassem livremente em relação aos temas abordados (mais detalhes das entrevistas estão na seção 3.5). A observação participante possibilitou a obtenção de informações sobre o cotidiano das empresas investigadas, assim como sobre as práticas adotadas em relação à gestão de resíduos e subprodutos.

Com esse propósito, a abordagem de pesquisa selecionada foi o estudo de caso múltiplo (Yin, 1994; Eisenhardt, 1989a). O estudo de caso múltiplo é particularmente eficaz na geração de insights teóricos por meio da observação pragmática de dados empíricos (Jabbour et al., 2015). Essa escolha é particularmente apropriada quando a literatura científica carece de dados

empíricos substanciais (Eisenhardt, 1989a). Essa metodologia é especialmente útil para investigar eventos contemporâneos com foco em responder questões de "como" ou "por quê". A técnica de estudo de caso permite ao pesquisador reexaminar a teoria em uso, o que será uma das abordagens adotadas nesta tese (Yin, 1994).

A Figura 4 representa as etapas metodológicas seguidas na pesquisa. A triangulação metodológica é usada para abordar a complexidade dos objetos estudados. A primeira fase compreende a revisão bibliográfica, que identifica a lacuna de pesquisa e orienta a criação dos instrumentos de coleta de dados usados na etapa seguinte, o estudo de caso.

O quadro 3 apresenta, de forma estrutural, como está classificada a metodologia desta pesquisa.

Figura 4 - Estrutura do método



Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 3 – Classificação da pesquisa

Classificação referente aos objetivos da pesquisa	Classificação referente à natureza da pesquisa	Classificação referente ao objeto de estudo	Classificação referente à coleta de dados	Classificação referente à e análise de dados
Descritiva	Qualitativa-quantitativa	Estudo de caso múltiplo	Entrevista Pesquisa bibliográfica Triangulação	Análise de conteúdo Triangulação na análise

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas conceituações estabelecem uma base sólida para a execução do estudo proposto, uma vez que esta pesquisa se classifica como descritiva,

investigando o "como" por trás da pergunta de pesquisa. Para garantir a validade interna e externa, os tópicos subsequentes delineiam o protocolo do estudo de caso, os critérios utilizados para selecionar as empresas, a criação do instrumento de coleta de dados e as técnicas de análise de conteúdo utilizadas.

3.3 Protocolo do Estudo de Caso

O protocolo do estudo de caso é delineado no Quadro 4. A estrutura do protocolo para estudo de caso proposta é construída a partir das diretrizes centrais estabelecidas por Yin (2004), servindo como guia fundamental para a condução do estudo de caso.

Quadro 4 – Protocolo estudo de caso

Questão de pesquisa	Como a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimula o desenvolvimento de inovação sustentável em empresas sucroenergéticas?
Unidade de análise	Analisar o desenvolvimento de inovação sustentável em empresas sucroenergética após a aplicação de ADA.
Contexto	Empresas ligadas ao setor sucroenergético e inovação sustentável
Organizações	3 empresas do setor sucroenergético
Suporte técnico	Construção de uma estrutura de ADA, estudo de caso múltiplo e referencial teórico
Limite temporal	1 coleta de dados em 2017 e outra coleta em 2022, sendo uma pesquisa longitudinal sobre o avança da ADA nesse período
Fonte de dados e confiabilidade	Utilização do roteiro como norteador do trabalho de campo. Documentos disponíveis nos sites, redes sociais, material informativo e relatórios disponibilizados pela empresa, relatórios de Sustentabilidade e inovação, revistas e publicações internas e externas à empresa.
Validade dos Constructos	Dimensões de análise que compõe os instrumentos de coleta de dados foram elaborados por meio de revisão de literatura e validados por especialistas.
Validade interna	Os resultados serão discutidos por meio de múltiplas fontes de dados, como entrevistas, observação e análise documental. A análise de dados também leva em consideração o contexto em que se desenvolve.
Validade externa	Utilização de casos múltiplos, discussão dos resultados com base na literatura científica.
Principais questões do estudo de caso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qual a quantidade (em toneladas) de cana processada na safra? ✓ Qual a destinação dos subprodutos e resíduos gerados durante e após o processo de fabricação na safra? ✓ Quais são as tecnologias de processo/produto que foram desenvolvidas pela usina como resultado da aplicação da ADA? ✓ Que fatores foram preponderantes, após aplicação da ADA, para estimular o desenvolvimento de inovação sustentável? ✓ Qual o grau de maturidade das tecnologias de processo/produto que a usina tem desenvolvido? Outras usinas desenvolvem projetos iguais ou semelhantes? ✓ Como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo/produto? Quais desafios que têm para desenvolver essas tecnologias?

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Definição e seleção dos casos

Para essa etapa foram escolhidas 3 empresas ligadas ao setor sucroenergético. A fim de garantir a confidencialidade, os nomes das empresas serão mantidos em sigilo, sendo identificadas como Empresa A, Empresa B e Empresa C.

No Quadro 5 são apresentadas as características das empresas selecionadas e fonte de coleta de dados (mais detalhes das entrevistas estão na seção 3.5).

Quadro 5 – Características das empresas selecionadas e coleta de dados

Empresa	Período	Setor/produtos	Entrevistas	Documentos
Empresa A	Entrevista 1 2017 Entrevista 2 2023	Refinaria de açúcar e um importante player no setor de óleos comestíveis	Entrevista 1 - Gerente de projetos e inovação Entrevista 2 -Gerente de projetos e inovação	-Documentos disponíveis nos sites, redes sociais -Material informativo e relatórios disponibilizados pela empresa. -Relatórios de Sustentabilidade e inovação -Revistas e publicações internas e externas à empresa
Empresa B	Entrevista 1 2017 Entrevista 2 2023	Produção de açúcar, etanol e energia elétrica como produtos principais	Entrevista 1 -Supervisor de produção Entrevista 2 -Engenheiro de processos	-Documentos disponíveis nos sites, redes sociais -Material informativo e relatórios disponibilizados pela empresa. -Documentos internos
Empresa C	Entrevista 1 2017 Entrevista 2 2023	Produção de açúcar, etanol e energia elétrica como produtos principais e comercializa subprodutos como levedura e óleo fúsel, utilizado como solvente e etanol amílico puro	Entrevista 1 -Supervisor de produção Entrevista 2 -Engenheiro de processos	-Documentos disponíveis nos sites, redes sociais -Material informativo e relatórios disponibilizados pela empresa. -Relatórios de Sustentabilidade e inovação -Revistas e publicações internas e externas à empresa

Fonte: Elaborado pelo autor.

A escolha das empresas vinculadas ao setor sucroenergético para o estudo de casos foi motivada por diversos critérios: i) devido à importância econômica do setor sucroenergético para a economia brasileira, ii) devido ao

grande impacto ambiental originado das suas atividades produtivas, iii) devido às questões ambientais e regulamentação governamental, que exercem grande pressão nesse setor para realizarem as adequações necessárias, iv) devido à indústria sucroenergética ser fonte de inovações sustentáveis, v) devido as empresas estudadas terem orientação a sustentabilidade frente à pressão dos *stakeholders* (governo, sociedade, fornecedores, clientes, entre outros), e por fim, vi) devido ao exposto interesse das empresas pelo estudo, bem como à disposição para fornecer dados e à autorização para realizar visitas para observar os processos e produção.

Este estudo de caso longitudinal (etapa 2) foi aplicado em 2 diferentes momentos (2017 e 2022) com intuito de analisar a relação causa-efeito entre a aplicação de ADA e o desenvolvimento de Inovação Sustentável. Foi realizado em 2 fases, sendo: a primeira fase com a aplicação de ADA baseada nos dados de produção de 2017 e a segunda fase realizou-se em 2022 com uma nova aplicação da ADA seguida de uma coleta de dados para avaliar as reações das empresas aos resultados ADA no sentido de desenvolvimento de inovações sustentáveis.

A opção pela realização do estudo neste formato se deve ao fato de que nas empresas estudadas houve aplicação de uma estrutura de ADA em 2017. Sendo assim, buscou-se avaliar se nas empresas estudadas despertou-se determinado nível de consciência referente ao impacto ambiental negativo dos R/S gerados nas etapas industriais. Na aplicação da ADA em 2017 apresentou-se aos gestores das empresas o mapeamento do processo produtivo, seus R/S gerados identificando-se a destinação final de cada um. Dessa forma, buscou-se identificar o desenvolvimento de inovações sustentáveis originado de reações das empresas frente aos resultados de ADA apresentados nos 2 momentos de aplicação.

A metodologia desenvolvida foi aplicada por meio de estudo múltiplo de casos conduzidos em 3 empresas pertencentes à indústria sucroenergética. Em 2017 entrevistamos o Gerente de projetos e inovação da empresa A, o supervisor de produção da empresa B e o supervisor de produção da empresa C para coleta de dados necessários para a 1ª aplicação de ADA. Em 2023, estes mesmos colaboradores foram entrevistados novamente para coleta de dados necessários para a 2ª aplicação de ADA. Em 2023, também foram entrevistados

o Gerente de projetos e inovação da empresa A, o engenheiro de processos da Empresa B e engenheiro de processos da Empresa C para analisar as inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA e assim, entender como a aplicação da ADA estimulou o desenvolvimento de inovação sustentável.

3.4.1. Empresa A

A empresa A é uma refinaria de açúcar e um importante player no setor de óleos comestíveis, fundada em 1988 na Nigéria. Sendo uma grande indústria processadora de cana, com um volume de 3,9 milhões de toneladas de cana processada por ano, a empresa A produz além de etanol e açúcar, alimentos como arroz e macarrão.

Observou-se que a gestão ambiental é conduzida por um grupo composto por engenheiros especializados. A empresa desenvolve um Plano de Gestão Ambiental, cujo foco principal é minimizar a geração de R/S desde sua origem, promovendo a segregação adequada, controlando e reduzindo potenciais riscos ambientais, e garantindo o manejo e disposição corretos, em conformidade com as leis ambientais do país. Esse plano é atualizado anualmente ou caso ocorra mudanças operacionais.

O fluxo de gerenciamento de resíduos adotado pela indústria estudada segue uma sequência organizada: começa com a identificação, classificação e caracterização do resíduo, passando pelo controle de sua geração, o devido manuseio e armazenamento, o armazenamento temporário, transporte externo, disposição adequada e, finalmente, o registro no inventário de resíduos.

3.4.2. Empresa B

A Empresa B é uma das principais usinas sucroenergéticas no Brasil. Tendo iniciado suas atividades na década de 1940 no interior do Estado de Goiás, Brasil, tem aproximadamente 2,9 milhões de toneladas de cana processadas por safra. Durante o ano de 2017, visitas foram realizadas às instalações da empresa, contando com a participação do supervisor de produção da usina. Seus principais produtos são açúcar, etanol e energia elétrica.

A gestão dos resíduos na Empresa B se baseia na ABNT NBR 10.004 (2004). A classificação de resíduos, conforme essa norma, é estabelecida por meio da avaliação de sua periculosidade, dividindo-os em dois grupos: aqueles com potencial de riscos ambientais e aos seres humanos, e aqueles que não levam riscos relevantes. Os R/S de classe I são considerados de alto risco, pois contêm elementos que podem representar ameaças aos seres humanos ou ao ambiente, manifestando características como serem tóxicos ou inflamáveis. Por outro lado, os R/S de classe II são categorizados como de baixo risco, subdivididos em 2 subtipos: i) não inertes, que não se encaixam nessas características e podem ser biodegradáveis, combustíveis ou solúveis em água; ii) inertes, que não solubilizam seus componentes em concentrações superiores aos padrões de qualidade da água ao entrar em contato com água destilada.

3.4.3. Empresa C

A Empresa C estabelecida em 1982, com duas unidades de produção localizadas na região de Ribeirão Preto/SP, Brasil. Ela se destaca como uma processadora de cana no país, com uma capacidade de moagem de 3 milhões de toneladas de cana processada por safra. Seus principais produtos incluem açúcar, etanol e energia elétrica, e a empresa também comercializa subprodutos como levedura, óleo fúsel e etanol amílico puro. No início do ano de 2017, foram realizadas visitas às instalações da Empresa C, contando com a presença do supervisor de produção da empresa.

Em resposta às questões relacionadas à Gestão Ambiental, a empresa aborda o aspecto social da reciclagem, envolvendo formalmente catadores de materiais recicláveis em cooperativas organizadas. Nesse contexto, as indústrias são incentivadas a desenvolver e aprimorar suas tecnologias de produção para minimizar o impacto ambiental e os riscos à saúde humana (JABBOUR et al., 2014).

3.5 Coleta de dados

No estudo de caso é possível fazer uso de diversas fontes de informação, sejam elas documentos, registros e entrevistas, entre outros (YIN, 2010). Na coleta de dados para esta tese, foram empregadas como fontes secundárias de informação: i) relatórios que descrevem as empresas estudadas; ii) site e redes sociais das empresas; iii) relatórios de projetos dos processos produtivos das usinas sucroenergéticas, além de fluxogramas e balanços; iv) livros e artigos científicos de revistas de alto impacto acadêmico; v) balanços hídricos; vi) registro das tecnologias de processo desenvolvidas; vii) registro das tecnologias de produto desenvolvidas; viii) registro de melhorias e ampliações da planta industrial; ix) registro de compra e venda de equipamentos; x) relatórios de sustentabilidade; xi) relatórios de licença ambiental; xii) relatórios de projetos sociais; xiii) relatório de análise de investimentos e xiv) outros documentos pertinentes ao projeto estudado.

Para o desenvolvimento desta tese, foram criados roteiros de entrevistas em profundidade. Uma entrevista em profundidade se refere a uma interação individual entre um entrevistador e um entrevistado (Hair et al., 2005). O roteiro semiestruturado teve o propósito de captar as interpretações e significados fornecidos pelos entrevistados às questões relacionadas ao tema em análise (GODOI, 2010). O roteiro de entrevistas está nos apêndices A e B. O apêndice A refere-se ao roteiro de entrevistas utilizado em 2017 para aplicação inicial da ADA, e o apêndice B refere-se ao roteiro de entrevistas utilizado em 2023 para 2ª aplicação da ADA e consequente análise do desenvolvimento das inovações sustentáveis. A 2ª aplicação da ADA trata-se de uma estrutura de ADA aprimorada que pode contribuir para a melhoria contínua do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas, conforme descrito na seção 3.1.

Foram realizadas 1 visita na empresa B e 1 visita empresa C no ano de 2017 com duração de 4 horas pelo autor deste trabalho. Além disso, em 2023 foi realizada 1 nova visita na empresa C com 3 horas de duração. As visitas in loco realizadas em 2017 serviram para observar as etapas do processo produtivo de açúcar e etanol, e entender com maior profundidade a realidade das empresas do setor sucroenergético. A visita em 2023 ocorreu apenas na empresa C após a 2ª aplicação de ADA, pelo fato de a empresa C ter apresentado um resultado

negativo na ADA comparada à 1ª aplicação de ADA, conforme apresentado na seção de resultados. A presença dos entrevistados foi fundamental para explicação de cada etapa do processo industrial, permitindo ter clareza sobre todas as etapas. Além disso, com as visitas conseguiu-se ter uma riqueza maior de detalhes dos projetos de inovação sustentável desenvolvidos.

Não houve visita na empresa A devido sua localização inviabilizar a ida do pesquisador até a empresa. O país de origem da pesquisa é o Brasil e o país sede da empresa A é a Nigéria. No entanto, as entrevistas com a empresa A foram online os documentos apresentados foram suficientes para o desenvolvimento da pesquisa.

Durante as visitas realizadas, as quais abrangeram os processos industriais, foram coletados dados que possibilitaram a caracterização abrangente de todas as etapas produtivas. Isso permitiu a identificação detalhada da geração de R/S em cada uma das etapas de produção e a partir de então, identificar as reações em termos de desenvolvimento de tecnologia das empresas para inibir toxicidade desses R/S, ou seja, identificar as inovações sustentáveis após aplicação da ADA. Durante as visitas às empresas investigadas, obtemos informações detalhadas, incluindo a quantidade de cana processada ao longo da safra, os tipos de R/S gerados nas etapas industriais, as quantidades específicas desses R/S, bem como as estratégias adotadas pelas empresas para a destinação final dos resíduos e subprodutos.

Para assegurar a validade interna do estudo, consideramos essencial conduzir entrevistas com indivíduos distintos, porém relacionados às áreas de ADA e inovação dentro da mesma empresa. Em 2017 entrevistamos 3 colaboradores de 3 empresas chamados de Entrevistado A1, Entrevistado B1 e Entrevistado C1, conforme Quadro 6. Já em 2023, entrevistamos 5 colaboradores de 3 empresas, sendo: os mesmos 3 entrevistados em 2017 (Entrevistado A1, Entrevistado B1 e Entrevistado C1) mais o Entrevistado B2 e Entrevistado C2, conforme Quadro 6. Todos os colaboradores entrevistados apresentam envolvimento direto com a aplicação de ADA nas empresas estudadas. Os colaboradores foram entrevistados em 2017 com o uso do roteiro de entrevistas do apêndice A e novamente em 2023 com o uso do roteiro de entrevistas do apêndice B para realização da fase 1 do estudo, que é a aplicação da ADA. Os colaboradores de nível estratégico foram entrevistados em 2023

com o uso do roteiro de entrevistas do apêndice B, na fase 2 do estudo para identificar as inovações sustentáveis após aplicação da ADA. O quadro 6 indica a empresa e os entrevistados.

Quadro 6 – Perfil dos entrevistados

Empresa	Entrevistados	Ano da entrevista
Empresa A	Entrevistado A1 -Gerente de projetos e inovação – nível Estratégico	2017 e 2023
Empresa B	Entrevistado B1 – Supervisor de produção – nível Tático	2017 e 2023
	Entrevistado B2 – Engenheiro de Processos – nível Estratégico	2023
Empresa C	Entrevistado C1 – Supervisor de produção – nível Tático	2017 e 2023
	Entrevistado C2 – Engenheiro de Processos – nível Estratégico	2023

Fonte: Elaborado pelo autor.

O roteiro foi desenvolvido a partir de uma revisão da literatura e dividido em seções: i) descrição da empresa, em que foram confirmadas informações sobre a história da empresa; ii) perfil do respondente; iii) identificação da geração de resíduos e subprodutos e sua destinação final; iv) resultados de inovação sustentável por meio da aplicação de ADA; e v) contexto da aliança/parcerias, em que se investigou o histórico da parceria, seus resultados e a percepção do entrevistado em relação às dimensões de inovação sustentável. O roteiro, por ser flexível, permitiu que os entrevistados se expressassem de forma pessoal e seguindo uma lógica própria, além de conter perguntas amplas que contemplaram os pontos de atenção relevantes para a pesquisa.

Antes de proceder à coleta final de dados, foi executada uma etapa de validação do roteiro de entrevista. O roteiro para a entrevista semiestruturada foi construído em 2 etapas: em 2017 pelo estudante, foi revisado por um grupo de pesquisadores, especialistas em pesquisas científicas no campo da Administração, assim teve ciclos de revisões e alterações utilizado para aplicação da ADA, e em 2023 pelo estudante, depois revisado e discutido pela orientadora, e por fim, foi revisado por um grupo de pesquisadores, especialistas em pesquisas científicas no campo da Administração, assim teve ciclos de revisões e alterações utilizado para aplicação da ADA e por seguinte identificação das inovações sustentáveis após aplicação da ADA. Os roteiros estão presentes no Apêndice A e B. As entrevistas realizadas foram gravadas e transcritas em tempo real e a duração delas foi acima de 02 horas.

Para cada uma das empresas, foi elaborado um relatório que engloba tanto os dados primários quanto os dados secundários obtidos durante o estudo. A análise de dados secundários desempenha um papel significativo na obtenção de informações relevantes sobre os casos estudados, conforme mencionado por Yin (2010). As fontes de dados secundários utilizadas foram documentos disponíveis nos sites e redes sociais das empresas, materiais informativos, relatórios fornecidos pelas empresas, documentos de sustentabilidade e inovação, além de revistas e publicações internas e externas relacionadas às empresas. A adoção de múltiplas fontes de dados secundários contribui para a triangulação dos dados, ou seja, a verificação e confirmação das informações a partir de diferentes perspectivas e fontes.

3.6 Análise de conteúdo

Os dados coletados no estudo multicasos foram submetidos a uma análise utilizando a técnica de Análise de Conteúdo, a qual abrange uma série de procedimentos sistemáticos para compreender e descrever o conteúdo das mensagens (Bardin, 1977). Essa abordagem visa não apenas entender a mensagem imediata, mas também compreender a sua essência e significado subjacente (Bardin, 2011).

A análise dos dados foi conduzida de maneira descritiva e qualitativa, permitindo uma compreensão profunda dos processos dinâmicos em estudo e a captura da essência do objeto de pesquisa (Cooper; Schindler, 2011). É crucial enfatizar que, mesmo sendo esta uma tese que adota uma abordagem qualitativa com base no método de estudo de caso, é necessário considerar algumas limitações na interpretação e replicação dos resultados. Por exemplo, os resultados obtidos são direcionados ao contexto investigado, o que restringe sua aplicabilidade geral. Além disso, qualquer tentativa de extrapolar esses resultados para outras situações deve levar em conta as nuances tecnológicas, culturais e de gestão que podem variar em diferentes contextos.

3.7 Matriz de Amarração

A Tabela 2 apresenta a matriz de amarração dos objetivos da pesquisa com a metodologia e referencial teórico.

Tabela 2 – Matriz de amarração

Objetivos	Referencial
i) Analisar as etapas de produção da usina sucroenergética e identificar os R/S gerados provenientes do processo produtivo;	Seção 2.3
ii) Avaliar os indicadores disponíveis para medir o potencial de impacto negativo no ambiente e selecionar o método apropriado para calcular esses impactos; iii) Estabelecer uma estrutura lógica de ADA da metodologia proposta visando calcular um índice unificado de desempenho ambiental; iv) Aplicar a estrutura de ADA em usinas sucroenergéticas;	Seção 2.1, 2.2
v. Identificar quais são as tecnologias de processo / produto que as usinas têm desenvolvido para inovação sustentável após aplicação da ADA.	Seção 2.4, 2.5
vi. Identificar como foram desenvolvidas essas tecnologias de processo / produto para inovação sustentável após aplicação da ADA.	Seção 2.4, 2.5
vii. Identificar e caracterizar as parcerias no desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA.	Seção 2.6

Fonte: Elaborado pelo autor.

4. Apresentação dos resultados

Nesta seção apresentamos os resultados da presente tese, sendo: i) o cálculo dos potenciais impactos de toxicidade humana e ecotoxicidade para os R/S da usina sucroenergética, ii) aplicação da estrutura de ADA em indústria sucroenergética e iii) análise do desenvolvimento de inovação sustentável em empresas sucroenergéticas após a aplicação de ADA.

4.1. Etapa 1 - Cálculo dos potenciais para aplicação da ADA

Nesta fase do estudo, procedeu-se ao cálculo do potencial de impacto para as diversas categorias ambientais do método EDIP, a fim de avaliar cada um dos 17 resíduos gerados no processo produtivo da indústria sucroenergética. A metodologia desenvolvida permitiu determinar o peso relativo $V(a)$ para cada categoria, que foi aplicado nas três empresas do setor sucroenergético, permitindo assim a comparação entre elas.

O subproduto escolhido para ilustrar o cálculo dos potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade foi a vinhaça. O procedimento adotado para esse cálculo também foi aplicado para a avaliação de outros resíduos/subprodutos da indústria sucroenergética, referentes às safras de 2017 e 2022.

Para exemplificar o cálculo do potencial da vinhaça, considerou-se a produção de 30.371.000.000 de litros de etanol no Brasil durante a safra de 2017. Dado que, em média, são gerados aproximadamente 14 L/vinhaça por litro de etanol, chegamos a um volume total de vinhaça na safra de 2017 de 394.823.000.000 litros, ou seja, $3,94 \cdot 10^{11}$ litros.

Em seguida, foram obtidas as informações sobre as substâncias que compõem a vinhaça e suas respectivas quantidades conforme Tabela 3. Com base nesses dados, foi possível determinar o volume total de vinhaça durante a safra de 2022, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 3 – Substâncias que compõem a vinhaça

Substância	Quantidade da substância em 1 L de vinhaça (mg/L)
Cobre	0,72
Cromo	1,76
Mercúrio	0,0019
Molibdênio	0,008
Níquel	0,03
Zinco	1,66
Cadmio	0,66
Chumbo	0,23
Ferro	72,5
Fenol	34

Fonte: adaptado de Thomaz (2017).

A Tabela 4 mostra as substâncias que compõem a vinhaça no âmbito brasileiro. Esses valores foram obtidos pelo produto de cada substância indicada na Tabela 3 pelo volume total de vinhaça gerada durante a safra de 2017.

Tabela 4 – Substâncias que compõem a vinhaça no âmbito brasileiro

Substância	Total em gramas (g)
Cobre	$2,84 \cdot 10^8$
Cromo	$6,93 \cdot 10^8$
Mercúrio	$7,48 \cdot 10^5$
Molibdênio	$3,15 \cdot 10^6$
Níquel	$1,18 \cdot 10^7$
Zinco	$6,54 \cdot 10^8$
Cadmio	$2,60 \cdot 10^8$
Chumbo	$9,06 \cdot 10^7$
Ferro	$2,86 \cdot 10^{10}$
Fenol	$1,34 \cdot 10^{10}$

Fonte: adaptado de Thomaz (2017).

O passo subsequente consistiu na avaliação dos EF das substâncias, conforme delineado por Wenzel et al. (1997). Os detalhes correspondentes a quantidades (g), as localizações impactadas e os EF relativos à toxicidade humana e ecotoxicidade para os componentes presentes na vinhaça são expostos na Tabela 5. Nota-se que, embora a vinhaça emita no solo, seus impactos englobam os compartimentos do ar, água e solo, fenômeno atribuível às propriedades voláteis do mercúrio, que compõe a vinhaça e é responsável pelo aumento considerável do fator de equivalência da mesma.

O mercúrio, metal de cor prata que permanece em estado líquido à temperatura ambiente, destaca-se por ser insolúvel em água, volátil e capaz de se transformar em vapor quando submetido a aumento de temperatura. De natureza tóxica, corrosiva e densa, esse elemento industrial frequentemente está associado a derramamentos substanciais. Quando corpos d'água são contaminados por mercúrio, parte dele se evapora na atmosfera e retorna à terra com as precipitações. Outra fração é absorvida por plantas e animais aquáticos, acumulando-se até chegar aos seres humanos. Outro ponto é que atividades microbianas convertem o mercúrio metálico em uma forma orgânica altamente tóxica. Sua inalação, ingestão ou contato com pele, olhos e vias respiratórias são perigosos, podendo causar problemas psicossomáticos (Bueno et al., 2011; Oliveira et al., 2011; Moreira et al., 2010).

Com base nessas informações, é possível estabelecer de maneira conjunta o potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade da vinhaça, considerando os compartimentos do ar, água e solo, conforme exibido na Tabela 5. Os resultados presentes na Tabela 6 representam a consolidação dos dados da Tabela 5, onde é feita a soma da multiplicação entre a quantidade das substâncias e seu correspondente EF.

Tabela 5 - Quantidade, EF e potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade da vinhaça

Substância	Quantidade (g)	Área de emissão	EF			EP-etwa	EP-etwc	EP-etsc
			HTA	HTW	HTS			
Cobre	2,8E +08	Ar	0	0	0	0	0	0
	2,8E +08	Água	0	0	0	0	0	0
	2,8E +08	Solo	5 E -03	1.420.000	1.420.000	4 E -02	1.120.000	1.120000
Cromo	6,9E +08	Ar	0	0	0	0	0	0
	6,9E +08	Água	0	0	0	0	0	0
	6,9E +08	Solo	1,4	9,7 E +08	9,7 E +08	0,9 4 E	7, E +08	7,7E+08
Mercúrio	7,4E +05	Ar	6,7 E +06	5 E +12	5 E +12	+04 1 E	4 E +12	4E+12
	7,4E +05	Água	1,1 E +05	8,2 E +10	8,2 E +10	+05	6,2 E+10	6,2E+10
	7,4E +05	Solo	81	6,1 E +07	6,1 E +07	72	4,1 E +07	4,1E+07
Molibdênio	3,1E +06	Ar	0	0	0	0	0	0
	3,1E +06	Água	0	0	0	0	0	0
	3,1E +06	Solo	1,9	5.985.000	5.985.000	1,3	3.975.000	3.975000
Niquel	1,1E +07	Ar	0	0	0	0	0	0
	1,1E +07	Água	0	0	0	0	0	0
	1,1E +07	Solo	0,15	1.770.000	1770000	0,12	1.520.000	1.520000
Zinco	6,5E +08	Ar	0	0	0	0	0	0
	6,5E +08	Água	0	0	0	0	0	0
	6,5E +08	Solo	1,6 E -02	1 E +07	1E+07	1,6 E -02	1 E +05	1E+05
Cadmio	2,6E +08	Ar	0	0	0	0	0	0
	2,6E +08	Água	0	0	0	0	0	0
	2,6E +08	Solo	5,6	1,5 E +09	1,5E+09	4,5	1,1 E +9	1,1E+09
Chumbo	9,0E +07	Ar	0	0	0	0	0	0
	9,0E +07	Água	0	0	0	0	0	0
	9,0E +07	Solo	0,1	9.060.000	9.060.000	0,1	7.055.000	7.055000
Ferro	2,8E +10	Ar	0	0	0	0	0	0
	2,8E +10	Água	0	0	0	0	0	0
	2,8E +10	Solo	0,96	2,7 E +10	2,7 E +10	0,76	1,7 E+10	1,7E+10
Fenol	1,3E +10	Ar	0	0	0	0	0	0
	1,3E +10	Água	0	0	0	0	0	0
	1,3E +10	Solo	6,4 E -03	8,6 E +07	8,6 E +07	4,4 E -03	6,6 E +07	6,6E+07

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6 – Potencial consolidado de toxicidades da vinhaça

Resíduo/Subproduto	Potenciais de toxicidade humana			Potenciais de ecotoxicidade		
	EP-hta (m ³ ar)	EP-htw (m ³ água)	EP-hts (m ³ solo)	EP-etwa	EP-etwc	EP-etsc
Vinhaça	5,00E+12	8,23E+10	3,01E+10	4,00E+10	6,37E+9	2,31E+9

Fonte: elaborado pelo autor

Da mesma maneira, a metodologia foi aplicada para os restantes resíduos e subprodutos, resultando nos cálculos correspondentes. A Tabela 7 ilustra os potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade associados aos dezessete R/S da usina sucroenergética.

Tabela 7 –Toxicidade Humana e Ecotoxicidade para os R/S da usina sucroenergética

Resíduo/Subproduto	Potenciais de toxicidade humana (m ³ ar)			Potenciais de ecotoxicidade (m ³ ar)		
	EP-h _{ta}	EP-h _{tw}	EP-h _{ts}	EP-e _{twa}	EP-e _{twc}	EP-e _{tsc}
Vinhaça	5,00E+12	8,23E+10	3,01E+10	4,00E+10	6,37E+9	2,31E+9
Pilhas e baterias	0	0	8,53E+07	0	0	6,43E+06
Óleos lubrificantes da fábrica	0	0	7,37E+05	0	0	4,38E+05
Lâmpadas queimadas	1,40E+11	2,35E+09	1,81E+07	2,40E+09	2,15E+07	1,7E+06
Melaço	0	0	8,43E+09	0	0	6,35E+08
Óleo fúsel	0	0	3,90E+05	0	0	2,60E+04
Resíduos dos laboratórios	0	1,12E+07	0	1E+05	1,32E+05	0
Sucatas metálicas	0	0	1,19E+09	0	0	1,3E+08
Efluente da lavagem dornas	0	0	6,01E+09	0	0	5,21E+07
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0	0	8,76E+05	0	0	4,56E+05
Torta de filtro	0	0	2,06E+11	0	0	1,06E+10
Levedura	0	0	2,82E+08	0	0	1,72E+07
Cinzas da queima do bagaço	1,60E+16	2,75E+10	3,56E+10	1,50E+15	1,85E+9	2,75E+09
Gases provenientes da queima do bagaço	0	0	0	0	0	0
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	0	0	0	0	0
Efluente tratamento dos gases combustão	3,90E+12	2,02E+05	1,62E+07	2,20E+11	1,02E+05	1,92E+06
Flegmaça	0	0	2,43E+07	0	0	1,35E+06
Total	1,60E+16	1,12E+11	2,88E+11	1,50E+15	8,24E+09	1,65E+10

Fonte: elaborado pelo autor

Os potenciais de toxicidades são quantificados em relação ao volume (m³) de ar, água ou solo, sendo uma medida de base que equivale ao volume requerido dos compartimentos de ar, água ou solo para que se neutralize ou dilua a toxicidade da substância até um nível tão baixo que não resulte em efeitos prejudiciais para o ambiente e seres humanos (Wenzel et al., 1997).

Posteriormente, foi realizado o cálculo de normalização. Esse cálculo é feito dividindo os potenciais, conforme apresentados na Tabela 7, pelo valor mostrado no Quadro 7. Os construtos apresentam equivalência definida no EDIP 97, afim de se facilitar a etapa de ponderação. A Tabela 8 apresenta a normalização dos potenciais para os R/S da usina.

Quadro 7 - Índices de Normalização baseados no EDIP 97

Categoria de Impacto ambiental	Unidade	Normalização
Toxicidade humana no ar (hta)	m3 água/pessoa/ano	920.000
Toxicidade humana na água (htw)	m3 água/pessoa/ano	590.000
Toxicidade humana no solo (hts)	m3 água/pessoa/ano	31.000
Ecotoxicidade água aguda (etwa)	m3 água/pessoa/ano	23.300
Ecotoxicidade água crônica (etwc)	m3 água/pessoa/ano	282.000
Ecotoxicidade solo crônico (etsc)	m3 solo/pessoa/ano	771.000

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 8 - Normalização dos Potenciais para os R/S da usina.

R/S	Toxicidade humana			Ecotoxicidade		
	EP-hta (m ³ ar)	EP-etwc	EP-etsc	EP-etwa	EP-etwc	EP-etsc
Vinhaça	5,43E+06	1,39E+05	9,71E+05	1,72E+06	2,26E+04	3,00E+03
Pilhas e baterias	0	0	2,75E+03	0	0	8,34E+00
Óleos lubrificantes da fábrica	0	0	2,38E+01	0	0	5,68E-01
Lâmpadas queimadas	1,52E+05	3,98E+03	5,84E+02	1,03E+05	7,62E+01	2,20E+00
Melaço	0	0	2,72E+05	0	0	8,24E+02
Óleo fúsel	0	0	1,26E+01	0	0	3,37E-02
Resíduos dos laboratórios	0	1,90E+01	0	4,29E+00	4,68E-01	0
Sucatas metálicas	0	0	3,84E+04	0	0	1,69E+02
Efluente da lavagem dornas	0	0	1,94E+05	0	0	6,76E+01
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0	0	2,83E+01	0	0	5,91E-01
Torta de filtro	0	0	6,65E+06	0	0	1,37E+04
Levedura	0	0	9,10E+03	0	0	2,23E+01
Cinzas da queima do bagaço	1,74E+10	4,66E+04	1,15E+06	6,44E+10	6,56E+03	3,57E+03
Gases provenientes da queima do bagaço	0	0	0	0	0	0
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	0	0	0	0	0
Efluente tratamento dos gases combustão	4,24E+06	3,42E-01	5,23E+02	9,44E+06	3,62E-01	2,49E+00
Flegmaça	0	0	7,84E+02	0	0	1,75E+00
Total	1,74E+10	1,90E+05	9,28E+06	6,44E+10	2,92E+04	2,14E+04

Fonte: elaborada pelo autor

4.1.2 Análise hierárquica para cálculo do peso relativo dos R/S

O processo de ADA com base nos potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade das empresas analisadas envolveu a utilização do índice ladaus,

expresso na equação (1). Para realizar essa avaliação, foi necessário definir os valores das variáveis específicas para cada uma das empresas analisadas.

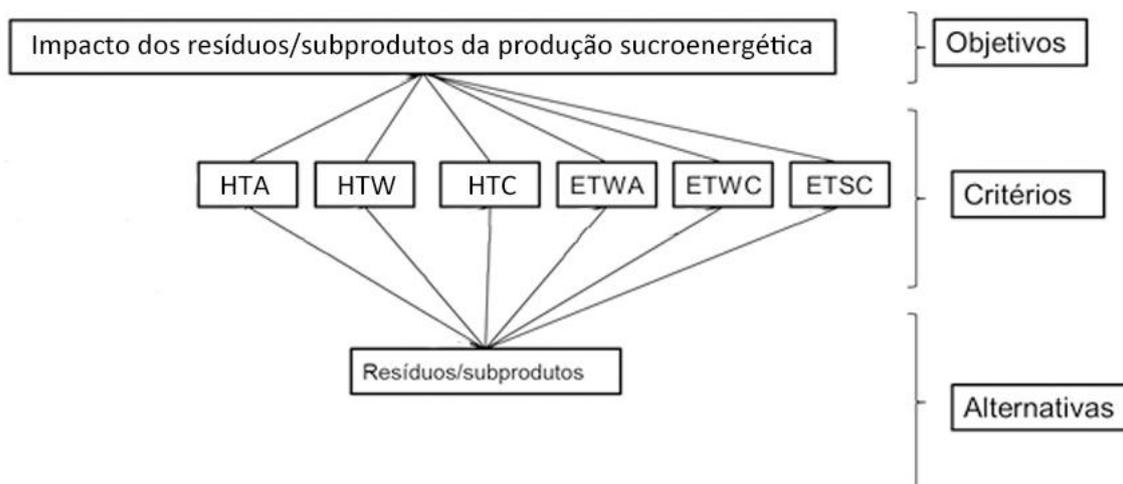
Para essa avaliação, consideramos "n" como o número de resíduos gerados no processo produtivo da indústria sucroenergética, totalizando 17 resíduos/subprodutos identificados durante o levantamento. O método IAHP (Análise Hierárquica de Processos Interativos) foi aplicado utilizando o software Mind Decider, permitindo calcular o peso relativo dos potenciais de ecotoxicidade e toxicidade humana para cada R/S, representado por $V(a)_i$.

Calcular $V(a)_i$ usando o IAHP ocorreu em 2 etapas distintas: i) Avaliar o desempenho das alternativas em relação aos critérios: Nesta etapa, os critérios foram hierarquizados com base na magnitude do impacto, conforme EDIP 97 (Stranddorf et al., 2005), para os construtos de potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade. ii) Avaliar os critérios em relação aos objetivos: As alternativas avaliadas para o impacto foram os 17 R/S. Os critérios avaliados foram usados para calcular os potenciais de impacto previamente definidos. A comparação das alternativas foi conduzida por meio de comparações pareadas dos potenciais previamente calculados.

A estrutura hierárquica, representada na Figura 5, foi desenvolvida para abranger os 3 principais meios de exposição que levam à toxicidade humana e ecotoxicidade: através do ar, água e solo. Esses 3 compartimentos foram estabelecidos como critérios a serem avaliados, enquanto os potenciais correspondentes de toxicidade humana e ecotoxicidade (EP-h_{ta}, EP-h_{tw}, etwa, etc.) foram considerados como alternativas para comparação em pares. Esses potenciais foram previamente calculados para cada um dos 17 R/S.

Os potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade para cada R/S estão registrados na Tabela 9. Esses valores foram as variáveis usadas no software Mind Decider para determinar o peso relativo $V(a)_i$ dos R/S. Essa ponderação serviu para combinar os resultados dos potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade calculados anteriormente, a fim de obter uma medida única do potencial de impacto ambiental. Esse procedimento permitiu uma interpretação e análise integradas dos dados (Westkämper; Alting; Arndt, 2000; Oliveira; Cristobal; Saizar, 2016).

Figura 5 - Estrutura de análise hierárquica para ponderação dos R/S



Fonte: Elaborado pelo autor

É relevante enfatizar que, ao calcular os potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade, partimos da premissa na qual cada um desses potenciais estava sujeito a exposição direta não controlada no ar, água e solo. Para ilustrar essa consideração, comparamos os pares vinhaça e melaço referente aos impactos no solo. A suposição subjacente foi que ambos os resíduos foram diretamente lançados no solo sem qualquer tratamento prévio. Nesse cenário, a análise indicou que a proporção entre vinhaça e melaço foi de 29,89:1. Isso implica que, devido à sua composição e características, a vinhaça possui um impacto quase trinta vezes maior quando destinada no solo, em comparação com o melaço. Esse processo de comparação em pares permite a avaliação e classificação dos resíduos e subprodutos com base em seus impactos potenciais nos diversos compartimentos ambientais.

Na Tabela 9, os valores de $V(a)_i$, obtidos por meio da ponderação no software Mind Decider, estão dispostos em ordem crescente para os 17 R/S. A análise dos resultados revela que os R/S com maiores $V(a)_i$ são a vinhaça (34,80%), seguida pela torta de filtro (30,92%) e cinzas provenientes da queima do bagaço (26,38%). Importa ressaltar que o efluente gasoso das dornas apresenta um $V(a)_i$ de zero. Isso se deve à sua composição majoritária de gás CO_2 , que, embora contribua para o efeito estufa, não manifesta toxicidade para seres humanos e o meio ambiente (Fitzpatrick e Dooley, 2017).

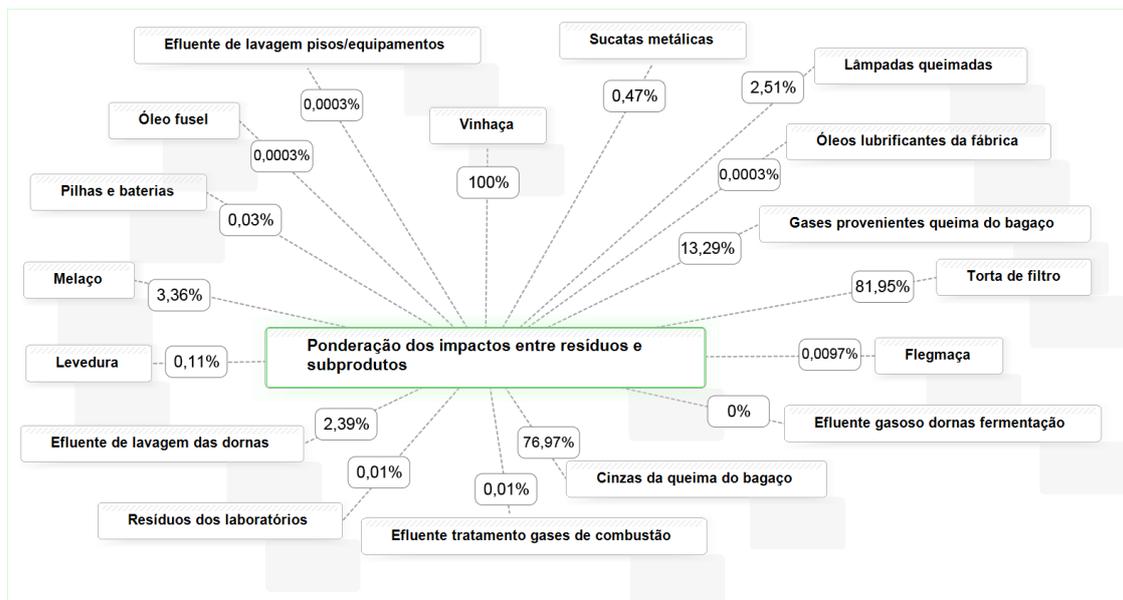
Tabela 9 - Peso relativo dos 17 R/S da usina sucroenergética

R/S	$V_{(aj)} (%)$
Efluente gasoso das dornas	0,00
Óleos Lubrificantes da fábrica	0,0001
Óleo Fúsel	0,0001
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	0,0001
Flegmaça	0,0042
Resíduos dos Laboratórios	0,0051
Efluente tratamento dos gases de combustão	0,0062
Pilhas e Baterias	0,015
Levedura	0,045
Sucatas Metálicas	0,18
Efluente lavagem das dornas	0,85
Lâmpadas queimadas	0,93
Melaço	1,22
Gases provenientes da queima do bagaço	4,64
Cinzas da queima do bagaço	26,38
Torta de filtro	30,92
Vinhaça	34,80

Fonte: elaborado pelo autor

Na Figura 6, é apresentado os resultados que mostra as razões [R(a)] associadas aos R/S. Essas relações derivam dos maiores resultados ponderados dos potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade. É evidente que a vinhaça exibe a maior Razão [R(a)] (100%), estabelecendo-se como o resíduo de maior impacto tanto na ecotoxicidade quanto na toxicidade humana.

Figura 6 - Ra(i) Razão dos dezessete R/S da usina

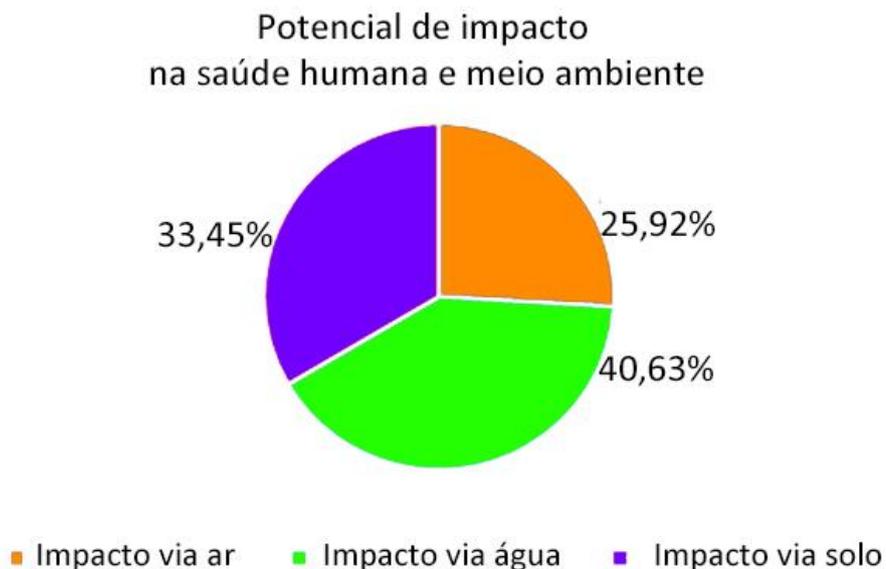


Fonte: extraído do software Minddecider

Com base nos dados relativos ao peso atribuído aos R/S, foi viável realizar uma avaliação agregada do potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade

para os meios de exposição, como ilustrado na Figura 7. Constatamos que através da exposição pela água existe o maior potencial de impacto, alcançando pouco mais de 40%.

Figura 7 - Potencial de impacto dos R/S nos compartimentos ar, solo e água



Fonte: elaborado pelo autor

4.1.3 Aplicação da estrutura metodológica em 2017

As etapas subsequentes englobaram uma série de cálculos para os R/S, abrangendo a obtenção da quantidade relativa (Q_i), derivada da quantidade absoluta (b_i) dos R/S, conforme delineado na Tabela 10, a determinação do alcance de impacto (A_i) e a disposição final dos R/S realizada pelas empresas sob análise.

A Tabela 11 apresenta os 17 R/S, bem como a destinação adotada pela empresa A, acompanhada de uma avaliação dessa destinação (k_i). Notavelmente, para os R/S da empresa A, foi designado o valor zero somente para os gases da queima do bagaço e o efluente gasoso das dornas que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Tabela 10 - Quantidade absoluta (bi) dos R/S

R/S	Empresa A	Empresa B	Empresa C
	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	180.277	67.222	130.000
Óleo fúsel	270	99	189
Óleos lubrificantes da fábrica	24	10	17,5
Efluente tratamento dos gases combustão	35.767	13.600	25.900
Resíduos dos laboratórios	2	1	1,5
Pilhas e baterias	8	6	7
Flegmaça	241.000	92.000	175.000
Sucatas metálicas	2	1,5	2
Lâmpadas queimadas	3	2	2,5
Efluente gasoso das dornas de fermentação	15.400	18.300	35.000
Melaço	130.000	60.000	94.000
Levedura	87.000	35.000	63.000
Efluente da lavagem dornas	80.500	35.000	64.200
Gases provenientes da queima do bagaço	741.000	281.111	536.000
Cinzas da queima do bagaço	94.000	36.000	67.000
Torta de filtro	150.000	50.000	94.000
Vinhaça	2.200.000	800.000	1.460.000
Total Resíduo/subproduto	3.955.253	1.488.353	2.744.320

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa A

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura	1
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	1
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	0
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Lavoura	1
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	1
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	1

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 12 oferece informações sobre a destinação adotada pela empresa B. Na avaliação (ki) foi atribuído o valor zero somente para os gases

provenientes da queima do bagaço, o efluente gasoso das dornas e o efluente de lavagem das dornas que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Tabela 12 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa B

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura	1
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	1
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	0
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	0
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	1
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	1

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 13 fornece os detalhes sobre a destinação adotada pela empresa C. Na avaliação (ki) foi atribuído o valor zero somente para os gases provenientes da queima do bagaço, o efluente gasoso das dornas, o efluente de lavagem das dornas e o efluente da lavagem dos pisos e equipamentos que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Com base nessas definições, foi viabilizado o cálculo do potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade (I_{adaus}) das empresas analisadas.

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa A está presente na Tabela 14, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{adaus} e o percentual de participação no I_{adaus} geral da empresa.

Tabela 13 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa C

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura	1
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	1
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	0
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	0
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	1
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Águas superficiais	0

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 14 – Índice de ADA ladaus para a empresa A

R/S	(V(a)i) (%)	(bi) (Ton/Ano)	(Qi) (%)	(Ai) (%)	(Ki)	ladaus (%)	Participação no ladaus (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	180.277	4,55791	0,069	1	0,00002	0,00002
Óleo fúsel	0,0001	270	0,00683	0,069	1	0,00000	0,0000001
Óleos lubrificantes	0,0001	24	0,00061	0,069	1	0,00000	0,0000001
Efluente tratamento dos gases combustão	0,0062	35.767	0,90429	0,034	1	0,00011	0,00012
Resíduos dos laboratórios	0,0051	2	0,00005	0,069	1	0,00000	0,0000001
Pilhas e baterias	0,015	8	0,00020	0,034	1	0,00000	0,0000005
Flegmaça	0,0042	241.000	6,09316	0,069	1	0,00094	0,00100
Sucatas metálicas	0,18	2	0,00005	0,034	1	0,00000	0,0000001
Lâmpadas queimadas	0,93	3	0,00008	0,034	1	0,00000	0,0000016
Efluente gasoso das dornas	0	15.400	0,38936	0,103	0	0,00000	0,00000
Melaço	1,22	130.000	3,28677	0,069	1	0,17739	0,18877
Levedura	0,045	87.000	2,19961	0,034	1	0,00200	0,00212
Efluente da lavagem dornas	0,85	80.500	2,03527	0,069	1	0,07846	0,08349
Gases da queima do bagaço	4,64	741.000	18,73458	0,103	0	0,00000	0,00000
Cinzas da queima do bagaço	26,38	94.000	2,37659	0,034	1	1,47	1,57
Torta de filtro	30,92	150.000	3,79242	0,034	1	2,50	2,66
Vinhaça	34,80	2.200.000	55,62223	0,069	1	89,73	95,48
TOTAL	100,00	3.955.253	100,00	1,000	ladaus =	93,98%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa B está presente na Tabela 15, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{adaus} e o percentual de participação no I_{adaus} geral da empresa.

Tabela 15 – Índice de ADA I_{adaus} para a empresa B

R/S	$V_{(a)i}$ (%)	b_i (Ton/Ano)	Q_i (%)	A_i (%)	k_i	I_{adaus} (%)	Participação no I_{adaus} (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	67.222	4,51654	0,069	1	0,00002	0,00002
Óleo fúsel	0,0001	99	0,00665	0,069	1	0,00000	0,0000003
Óleos lubrificantes da fábrica	0,0001	10	0,00067	0,069	1	0,00000	0,0000003
Efluente tratamento dos gases	0,0062	13.600	0,91376	0,034	1	0,00011	0,00012
combustão							
Resíduos dos laboratórios	0,0051	1	0,00007	0,069	1	0,00000	0,0000001
Pilhas e baterias	0,015	6	0,00040	0,034	1	0,00000	0,0000001
Flegmaça	0,0042	92.000	6,18133	0,069	1	0,00098	0,00105
Sucatas metálicas	0,18	1,5	0,00010	0,034	1	0,00000	0,0000004
Lâmpadas queimadas	0,93	2	0,00013	0,034	1	0,00000	0,0000029
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	18.300	0,38936	0,103	0	0,00000	0,00000
Melaço	1,22	60.000	4,0313	0,069	1	0,22471	0,23999
Levedura	0,045	35.000	2,35159	0,034	1	0,00220	0,002352
Efluente da lavagem dornas	0,85	35.000	2,35159	0,069	0	0,00000	0,00000
Gases provenientes da queima do bagaço	4,64	281.111	18,88739	0,103	0	0,00000	0,00000
Cinzas da queima do bagaço	26,38	36.000	2,41878	0,034	1	1,55	1,65
Torta de filtro	30,92	50.000	3,35942	0,034	1	2,29	2,44
Vinhaça	34,80	800.000	53,75071	0,069	1	89,55	95,65
TOTAL	100,00	1.488.353	100,00	1,000	$I_{adaus} =$	93,63%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa C está presente na Tabela 16, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{adaus} e o percentual de participação no I_{adaus} geral da empresa.

Tabela 16 – Índice de ADA ladaus para a empresa C

R/S	(V(a)i) (%)	(bi) (Ton/Ano)	(Qi) (%)	(Ai) (%)	(Ki)	ladaus (%)	Participação no ladaus (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	130.000	4,73706	0,069	0	0,00000	0,00000
Óleo fúsel	0,0001	189	0,00689	0,069	1	0,00000	0,00000035
Óleos lubrificantes da fábrica	0,0001	17,5	0,00064	0,069	1	0,00000	0,0000003
Efluente tratamento dos gases	0,0062	25.900	0,94377	0,034	1	0,000118	0,0001263
combustão							
Resíduos dos laboratórios	0,0051	1,5	0,00005	0,069	1	0,00000	0,00000012
Pilhas e baterias	0,015	7	0,00026	0,034	1	0,00000	0,00000064
Flegmaça	0,0042	175.000	6,37681	0,069	1	0,00102	0,001095
Sucatas metálicas	0,18	2	0,00007	0,034	1	0,00000	0,00000313
Lâmpadas queimadas	0,93	2,5	0,00009	0,034	1	0,00000	0,000002048
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	35.000	1,27536	0,103	0	0,00000	0,00000
Melaço	1,22	94.000	3,42526	0,069	1	0,19223	0,205877
Levedura	0,045	63.000	2,29565	0,034	1	0,00217	0,0023190
Efluente da lavagem dornas	0,85	64.200	2,33938	0,069	0	0,00000	0,0000
Gases provenientes da queima do bagaço	4,64	536.000	19,53125	0,103	0	0,00000	0,00000
Cinzas da queima do bagaço	26,38	67.000	2,44141	0,034	1	1,57	1,68
Torta de filtro	30,92	94.000	3,42526	0,034	1	2,35	2,52
Vinhaça	34,80	1.460.000	53,20080	0,069	1	89,24	95,58
TOTAL	100,00	2.744.320	100,00	1,000	ladaus =	93,38%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

4.1.4 Aplicação da estrutura metodológica em 2022

As etapas subsequentes englobaram uma série de cálculos para os R/S, abrangendo a obtenção da quantidade relativa (Qi), derivada da quantidade absoluta (bi) dos R/S, conforme delineado na Tabela 17, a determinação do alcance de impacto (Ai) e a disposição final dos R/S realizada pelas empresas sob análise.

Tabela 17 - Quantidade absoluta (bi) dos R/S

R/S	Empresa A	Empresa B	Empresa C
	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)	Quantidade absoluta (b _i) (Ton./Ano)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	234.360	87.389	169.000
Óleo fúsel	351	128,7	245,7
Óleos lubrificantes da fábrica	31,2	13	22,75
Efluente tratamento dos gases combustão	46.497	17.680	33.670
Resíduos dos laboratórios	2,6	1,3	1,95
Pilhas e baterias	10,4	7,8	9,1
Flegmaça	313.300	119.600	227.500
Sucatas metálicas	2,6	1,95	2,6
Lâmpadas queimadas	3,9	2,6	3,25
Efluente gasoso das dornas de fermentação	20.020	23.790	45.500
Melaço	169.000	78.000	122.200
Levedura	113.100	45.500	81.900
Efluente da lavagem dornas	104.650	45.500	83.460
Gases provenientes da queima do bagaço	963.300	365.444	696.800
Cinzas da queima do bagaço	122.200	46.800	87.100
Torta de filtro	195.000	65.000	122.200
Vinhaça	2.860.000	1.040.000	1.898.000
Total R/S	5.141.829	1.934.858	3.567.615

Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 18 detalha os 17 R/S, bem como a destinação adotada pela empresa A, acompanhada de uma avaliação dessa destinação (ki). Nesse contexto, foram atribuídos valores iguais a zero apenas para os gases resultantes da queima do bagaço, o efluente gasoso das dornas, lâmpadas queimadas e pilhas e baterias que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Tabela 18 - Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa A

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura	1
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa sem licença	0
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	0
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Lavoura	1
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa sem licença	0
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	1

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 19 detalha os 17 R/S, bem como a destinação adotada pela empresa B, acompanhada de uma avaliação dessa destinação (k_i). Nesse contexto, foram atribuídos valores iguais a zero somente para o efluente gasoso das dornas e o efluente de lavagem das dornas que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Tabela 19 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa B

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura	1
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	1
Gases provenientes da queima do bagaço	Filtragem dos gases	1
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	0
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	1
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	1

Fonte: elaborado pelo autor

A Tabela 20 fornece informações sobre os 17 R/S, bem como a destinação adotada pela empresa C, acompanhada de uma avaliação dessa destinação (k_i). Nesse contexto, foram atribuídos valores iguais a zero somente para a vinhaça e o efluente gasoso das dornas que tiveram suas destinações inadequadas do ponto de vista ambiental.

Com base nessas definições, foi viabilizado o cálculo do potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade (I_{adaus}) das empresas analisadas.

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa A está presente na Tabela 21, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{adaus} e o percentual de participação no I_{adaus} geral da empresa.

Tabela 20 – Destino e avaliação do destino dos R/S da empresa C

R/S	Destinação dos R/S	Ki
Vinhaça	Lavoura / Águas superficiais	0
Torta de filtro	Lavoura	1
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	1
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	1
Gases provenientes da queima do bagaço	Filtragem dos gases	1
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	0
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	1
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	1
Levedura	Comercialização	1
Melaço	Lavoura	1
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	1
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	1
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	1
Flegmaça	Lavoura	1
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	1
Óleo Fúsel	Comercialização	1
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Reuso	1

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 21 – Índice de ADA ladaus para a empresa A

R/S	(V(a)i) (%)	(bi) (Ton/Ano)	(Qi) (%)	(Ai) (%)	(Ki)	ladaus (%)	Participação no ladaus (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	234.360	4,55791	0,069	1	0,00002	0,00002
Óleo fúsel	0,0001	351	0,00683	0,069	1	0,00000	0,0000001
Óleos lubrificantes da fábrica	0,0001	31,2	0,00061	0,069	1	0,00000	0,0000001
Efluente tratamento dos gases combustão	0,0062	46.497	0,90429	0,034	1	0,00011	0,00012
Resíduos dos laboratórios	0,0051	2,6	0,00005	0,069	1	0,00000	0,0000001
Pilhas e baterias	0,015	10,4	0,00020	0,034	0	0,00000	0,0000000
Flegmaça	0,0042	313.300	6,09316	0,069	1	0,00094	0,0099984
Sucatas metálicas	0,18	2,6	0,00005	0,034	1	0,00000	0,0000001
Lâmpadas queimadas	0,93	3,9	0,00008	0,034	0	0,00000	0,00000
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	20.020	0,38936	0,103	0	0,00000	0,00000
Melaço	1,22	169.000	3,28677	0,069	1	0,17739	0,18876
Levedura	0,045	113.100	2,19961	0,034	1	0,00200	0,00212
Efluente da lavagem dornas	0,85	104.650	2,03527	0,069	1	0,07846	0,08349
Gases provenientes da queima do bagaço	4,64	963.300	18,73458	0,103	0	0,00000	0,00000
Cinzas da queima do bagaço	26,38	122.200	2,37659	0,034	1	1,47	1,57
Torta de filtro	30,92	195.000	3,79242	0,034	1	2,50	2,66
Vinhaça	34,80	2.860.000	55,62223	0,069	1	89,73	95,48
TOTAL	100,00	5.141.829	100,00	1,000	ladaus =	93,96%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa B está presente na Tabela 22, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{ladaus} e o percentual de participação no I_{ladaus} geral da empresa.

Tabela 22 – Índice de ADA ladaus para a empresa B

R/S	(V(a)i) (%)	(b _i) (Ton/Ano)	(Q _i) (%)	(A _i) (%)	(K _i)	ladaus (%)	Participação no ladaus (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	87.389	4,51654	0,069	1	0,00002	0,00002
Óleo fúsel	0,0001	128,7	0,00665	0,069	1	0,00000	0,0000003
Óleos lubrificantes da fábrica	0,0001	13	0,00067	0,069	1	0,00000	0,0000003
Efluente tratamento dos gases combustão	0,0062	17.680	0,91376	0,034	1	0,00011	0,00012
Resíduos dos laboratórios	0,0051	1,3	0,00007	0,069	1	0,00000	0,0000001
Pilhas e baterias	0,015	7,8	0,00040	0,034	1	0,00000	0,0000001
Flegmaça	0,0042	119.600	6,18133	0,069	1	0,00098	0,00105
Sucatas metálicas	0,18	1,95	0,00010	0,034	1	0,00000	0,0000004
Lâmpadas queimadas	0,93	2,6	0,00013	0,034	1	0,00000	0,0000029
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	23.790	0,38936	0,103	0	0,00000	0,00000
Melaço	1,22	78.000	4,0313	0,069	1	0,22471	0,23999
Levedura	0,045	45.500	2,35159	0,034	1	0,00220	0,002352
Efluente da lavagem dornas Gases provenientes da queima do bagaço	0,85	45.500	2,35159	0,069	0	0,00000	0,00000
Cinzas da queima do bagaço	4,64	365.444	18,88739	0,103	1	6,27	6,28
Torta de filtro	26,38	46.800	2,41878	0,034	1	1,55	1,55
Vinhaça	30,92	65.000	3,35942	0,034	1	2,29	2,29
	34,80	1.040.000	53,75071	0,069	1	89,55	89,64
TOTAL	100,00	1.934.858	100,00	1,000	ladaus =	99,91%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

A ferramenta de ADA desta tese para a empresa C está presente na Tabela 23, onde são apresentados os resultados de peso relativo $V_{(a)i}$, quantidade (b_i) e (Q_i), alcance (A_i), avaliação da destinação (k_i), índice exclusivo I_{ladaus} e o percentual de participação no I_{ladaus} geral da empresa.

Tabela 23 – Índice de ADA ladaus para a empresa C

R/S	(V(a)i) (%)	(bi) (Ton/Ano)	(Qi) (%)	(Ai) (%)	(Ki)	ladaus (%)	Participação no ladaus (%)
Efluente da lavagem pisos equipamentos	0,0001	169.000	4,73706	0,069	1	0,00002	0,0002095
Óleo fúsel	0,0001	245,7	0,00689	0,069	1	0,00000	0,00000305
Óleos lubrificantes da fábrica	0,0001	22,75	0,00064	0,069	1	0,00000	0,00000028
Efluente tratamento dos gases combustão	0,0062	33.670	0,94377	0,034	1	0,00012	0,00116303
Resíduos dos laboratórios	0,0051	1,95	0,00005	0,069	1	0,00000	0,00000104
Pilhas e baterias	0,015	9,1	0,00026	0,034	1	0,00000	0,00000564
Flegmaça	0,0042	227.500	6,37681	0,069	1	0,00102	0,00959059
Sucatas metálicas	0,18	2,6	0,00007	0,034	1	0,00000	0,0002740
Lâmpadas queimadas	0,93	3,25	0,00009	0,034	1	0,00000	0,00017932
Efluente gasoso das dornas de fermentação	0	45.500	1,27536	0,103	1	0,00000	0,0000000
Melaço	1,22	122.200	3,42526	0,069	1	0,19223	1,80
Levedura	0,045	81.900	2,29565	0,034	1	0,00217	0,020309
Efluente da lavagem dornas Gases provenientes da queima do bagaço	0,85	83.460	2,33938	0,069	0	0,00000	0,0000000
Cinzas da queima do bagaço	4,64	696.800	19,53125	0,103	1	6,53	61,29
Torta de filtro	26,38	87.100	2,44141	0,034	1	1,57	14,78
Vinhaça	30,92	122.200	3,42526	0,034	1	2,35	22,08
	34,80	1.898.000	53,20080	0,069	0	0	0
TOTAL	100,00	3.567.615	100,00	1,000	ladaus =	10,66%	100,00

Fonte: elaborado pelo autor

4.2. Etapa 2 – Desenvolvimento de inovação sustentável

A etapa 2 do estudo aborda o desenvolvimento de inovação sustentável após a aplicação da ADA. No processo de aplicação de ADA foram identificados 17 resíduos e/ou subprodutos: Vinhaça, Torta de filtro, Cinzas da queima do bagaço, Lâmpadas queimadas, Gases provenientes da queima do bagaço, Efluente gasoso das dornas, Efluente lavagem das dornas, Sucatas Metálicas, Levedura, Melaço, Pilhas e Baterias, Efluente tratamento dos gases de combustão, Resíduos dos Laboratórios, Flegmaça, Óleos Lubrificantes da fábrica, Óleo Fúsel, Efluente lavagem dos pisos e equipamentos.

No decorrer da seção, serão apresentados os projetos de melhorias e inovações sustentáveis das usinas em estudo para os R/S após a aplicação da ADA.

Para a empresa A o entrevistado A1 relatou para os resíduos/subprodutos a sua destinação final, conforme Tabela 24.

Tabela 24 – R/S e sua destinação final empresa A

R/S	Destinação da empresa 2017	Destinação da empresa 2022
Vinhaça	Lavoura	Lavoura
Torta de filtro	Lavoura	Lavoura
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	Lavoura
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	Empresa sem licença
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	Emissões no Ar
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	Emissões no Ar
Efluente lavagem das dornas	Lavoura	Lavoura
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Levedura	Comercialização	Comercialização
Melaço	Lavoura	Lavoura
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	Empresa sem licença
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	Lavoura
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Flegmaça	Lavoura	Lavoura
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Óleo Fúsel	Comercialização	Comercialização
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	Lavoura

Fonte: elaborado pelo autor

Para a empresa B o entrevistado B1 relatou para os resíduos/subprodutos a sua destinação final, conforme Tabela 25.

Para a empresa C o entrevistado C1 relatou para os resíduos/subprodutos a sua destinação final, conforme Tabela 26.

Tabela 25 – R/S e sua destinação final empresa B

R/S	Destinação da empresa 2017	Destinação da empresa 2022
Vinhaça	Lavoura	Lavoura
Torta de filtro	Lavoura	Lavoura
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	Lavoura
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	Filtragem dos gases
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	Emissões no Ar
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	Águas superficiais
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Levedura	Comercialização	Comercialização
Melaço	Lavoura	Lavoura
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	Lavoura
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Flegmaça	Lavoura	Lavoura
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Óleo Fúsel	Comercialização	Comercialização
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Lavoura	Lavoura

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 26 – R/S e sua destinação final empresa C

R/S	Destinação da empresa 2017	Destinação da empresa 2022
Vinhaça	Lavoura	Águas superficiais
Torta de filtro	Lavoura	Lavoura
Cinzas da queima do bagaço	Lavoura	Lavoura
Lâmpadas queimadas	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Gases provenientes da queima do bagaço	Emissões no Ar	Filtragem dos gases
Efluente gasoso das dornas	Emissões no Ar	Emissões no Ar
Efluente lavagem das dornas	Águas superficiais	Lavoura
Sucatas Metálicas	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Levedura	Comercialização	Comercialização
Melaço	Lavoura	Lavoura
Pilhas e Baterias	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Efluente tratamento dos gases de combustão	Lavoura	Lavoura
Resíduos dos Laboratórios	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Flegmaça	Lavoura	Lavoura
Óleos Lubrificantes da fábrica	Empresa licenciada	Empresa licenciada
Óleo Fúsel	Comercialização	Comercialização
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Águas superficiais	Lavoura

Fonte: elaborado pelo autor

Ter de forma clara a situação dos resíduos e subprodutos das empresas em 2017 e depois em 2022 nos permitiu entender a evolução das inovações sustentáveis e a motivação de sua aplicação nesse período. Os cenários apresentados destacam pontos de atenção e alvos de melhorias que as empresas podem abordar.

O entrevistado B1 relatou que apesar da destinação inadequada para alguns resíduos/subprodutos, existe um “compromisso com a gestão ambiental

que nos leva a buscar soluções inovadoras e reduzam o impacto ambiental”, e o entrevistado C1 reforçou que a empresa busca “ações que promovam a economia de recursos e contribuam para um futuro mais sustentável”.

Após fornecer os dados de resíduos/subprodutos para aplicação da ADA, o entrevistado A1 nos disse que a ADA “se tornou interessante para a empresa, sendo que forneceu informações que permitem dar prioridade a aspectos ambientais e com isso ir atrás de minimizar os impactos das operações produtivas”. Já para o entrevistado B1 “os indicadores da ferramenta (ADA) permitiram à empresa quantificar e a elaborar relatórios dos desempenhos ambientais”, e para o entrevistado C1 a aplicação da ADA “permitiu a classificação de dados sobre possíveis problemas ambientais, forçando a empresa se posicionar em relação à sua condição ambiental atual”.

Houve diferentes respostas, nas entrevistas realizadas em 2023, sobre a importância da aplicação da ADA como ferramenta de estímulo para inovações sustentáveis nas usinas. Cada entrevistado destacou a influência da ADA na identificação de áreas de melhoria, na mudança de mentalidade em relação à sustentabilidade e no desenvolvimento de soluções que não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também trazem benefícios econômicos.

Para o entrevistado A1:

“...foi importante para nossa usina. Ela nos permitiu ter uma visão clara dos impactos ambientais de nossas operações e identificar áreas de risco. Com base nesses resultados, temos uma direção para seguir”.

De acordo com o entrevistado B2:

“...tivemos mais compreensão dos riscos e desafios ambientais que enfrentávamos. Essa consciência nos levou a repensar alguns problemas e processos”.

Já para o entrevistado C2:

“Essa ferramenta (ADA) mostrou áreas em que estávamos muito longe das melhores práticas ambientais. As coisas que desenvolvemos, como uso de tecnologias mais limpas, permitiu

não apenas cumprir nossas obrigações ambientais, mas também gerar benefícios econômicos".

Foi consenso entre os entrevistados que ao implementar essas inovações sustentáveis em relação aos resíduos/subprodutos, buscou-se não apenas lidar de forma adequada com esses materiais, mas também maximizar seu potencial de valorização e minimizar o impacto ambiental associado a sua geração. Para o entrevistado A1, "a integração dos aspectos social, ambiental e econômico nas estratégias esteve presente afim de se alcançar a responsabilidade ambiental e a gerar valor sustentável para a empresa". Para o entrevistado B2, "ao adotar uma abordagem estratégica e consciente, buscamos promover os benefícios ambientais, sociais e econômicos em todas as nossas operações".

Quando questionados sobre as inovações sustentáveis que foram desenvolvidas, o entrevistado A1 informou que "como responsável da usina na área de inovações, reconhecemos a importância de adotar diferentes comportamentos estratégicos em relação aos resíduos pensando nos fatores ambientais e econômicos envolvidos." Essas inovações sustentáveis foram implementadas ou pela empresa ou em parcerias, visando a troca de conhecimentos e a busca conjunta por soluções mais eficientes e sustentáveis.

4.2.1 – Inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA

A seguir, apresentamos como as empresas lidaram com a situação dos resíduos / subprodutos e as inovações sustentáveis desenvolvidas/implantadas por cada empresa após aplicação da ADA.

A vinhaça, sendo um subproduto da produção de etanol e em todas as 3 empresas estudadas uma parte da vinhaça produzida é destinada para a lavoura e utilizada como fertilizante orgânico na agricultura, devido seu alto teor de nutrientes. De acordo com o entrevistado A1 "é tratada adequadamente em nossa usina, garantindo que os nutrientes sejam aproveitados como fertilizante orgânico nas plantações vizinhas". Para melhorar ainda mais essa prática, foi implementado um sistema de gestão para aprimorar os processos de tratamento e aplicação da vinhaça, garantindo uma distribuição equilibrada dos nutrientes no solo e reduzindo qualquer impacto ambiental potencial. Na empresa A foi

desenvolvido de um sistema inovador de monitoramento e gestão inteligente da vinhaça, permitindo otimizar sua aplicação na agricultura e minimizar desperdícios. Essa inovação foi desenvolvida pela própria empresa A sem a utilização de parcerias.

Na empresa B, a vinhaça é usada na recuperação e fertilização do solo. No entanto, de acordo com o entrevistado B2, “a vinhaça também passou a ser usada no processamento para produção do biogás, usado como fonte de energia renovável”. O setor sucroenergético tem enfrentado consideráveis flutuações nos preços do açúcar e do etanol, e os preços da energia elétrica têm sido influenciados pelas variações das condições climáticas. Nesse contexto, o entrevistado B2 expressou sua opinião de que “o biogás, um subproduto derivado da cana-de-açúcar, está ganhando destaque, apresentando uma viabilidade promissora”. Ele é produzido a partir de resíduos como a vinhaça e a torta de filtro. Essa inovação foi desenvolvida em colaboração com uma empresa do setor de Óleo e Gás, embora detalhes adicionais sobre essa parceria não tenham sido divulgados devido a cláusulas de confidencialidade no contrato.

O biogás pode ser comercializado como um substituto do gás natural, tanto para uso doméstico quanto industrial. O entrevistado B2 explica: “o que antes era considerado um resíduo com custos de descarte ou até mesmo reaproveitamento agora se torna um produto comercializável”. Em 2019, o Sistema Interligado Nacional (SIN) gerou 22 mil GWh de biogás, um aumento de 2% referente à 2018, de acordo com a UNICA. “Esse número tem um grande potencial para aumentar, poderíamos multiplicar esse número algumas vezes sem expandir a área de cultivo, o que atenderia quase 30% da demanda energética brasileira”, acrescentou o entrevistado B2.

O entrevistado C2 relatou que a vinhaça, no período da entrevista, estava sendo descartada de forma inadequada, representando um risco para o meio ambiente, especialmente para os corpos d’água próximos. Essa destinação inadequada se deve a mudanças na estrutura de produção do açúcar e etanol, o que impediu momentaneamente da vinhaça ser direcionada para a lavoura, que seria um tratamento adequado. No entanto, após concluída a implementação da inovação sustentável de processo, a vinhaça será utilizada como fertilizante orgânico em áreas agrícolas. Além disso, o entrevistado C2 nos disse que:

“Foram implementados parcerias com agricultores locais para utilizar a vinhaça como fertilizante orgânico, e implementamos um serviço de consultoria para auxiliar esses agricultores locais na utilização da vinhaça como fertilizante orgânico de forma eficiente e sustentável”.

A vinhaça e os serviços de consultoria mencionados acima, são fornecidos aos agricultores sem custo para os mesmos, fazendo parte de uma política interna da empresa C de apoio à comunidade local. Essa inovação de serviços foi comprada pela empresa C através da contratação dos serviços de consultoria.

Nas empresas estudadas, a torta de filtro já era corretamente direcionada para a compostagem, onde era transformada em adubo orgânico. Este fato se deve por ser um subproduto rico em fósforo, cálcio e vários nutrientes, o que o torna um fertilizante natural de boa qualidade, amplamente usado na plantação de cana para recuperar e a fertilizar o solo.

O entrevistado A1 relatou que recentemente passaram a utilizar a torta de filtro como alimento animal, sendo ingrediente para uma ração adequada e segura para os animais, através de uma inovação de processos onde foram desenvolvidos novos processos produtivos com a implantação de equipamentos acoplados à atual planta industrial. Essa inovação foi realizada pela empresa em parceria com uma empresa de engenharia de processos. Na empresa B, a torta de filtro costumava ser descartada em aterros sem aproveitamento. No entanto, segundo o entrevistado B2 “desenvolvemos uma melhoria para este produto ao criar um sistema de compostagem para a torta de filtro, que pôde ser utilizado na agricultura, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos”. Foi uma inovação sustentável desenvolvida pela própria empresa B.

Na empresa C, além da transformação da torta de filtro em adubo orgânico para uso na agricultura, o entrevistado C2 disse que buscaram melhorar esse processo, e assim “passamos a explorar oportunidades de parceria com agricultores locais para aumentar a utilização desse adubo em suas plantações, promovendo o desenvolvimento regional”.

As cinzas da queima do bagaço eram devidamente coletadas e destinadas adequadamente, contribuindo para evitar a poluição do solo e atmosfera. Nas empresas B e empresa C, as cinzas são destinadas para uso na

agricultura como corretivo de solo ou como fonte de nutrientes. Para aprimorar ainda mais essa prática, a empresa B implementou melhorias de processo ao adotar tecnologias avançadas de incineração, garantindo uma queima mais eficiente do bagaço e, conseqüentemente, reduzindo a quantidade de cinzas geradas.

Na empresa C, foi implantado em parceria com um grupo de estudos de uma universidade de engenharia química, um sistema de realização de estudos para identificar oportunidades de recuperação de outros materiais valiosos presentes nas cinzas, visando maximizar a sua utilização. Os resultados do estudo não foram mensurados devido o projeto ainda estar em andamento. Na empresa A, para destinação das cinzas, foram desenvolvidas inovação sustentável de produto, sendo usadas como matéria-prima par a produção de materiais de construção, como blocos e tijolos, promovendo a reciclagem de recursos. O entrevistado A1 afirmou que “a incorporação em materiais de construção, como tijolos ou blocos ecológicos amplia o portfólio de produtos da empresa e agrega valor à nossa marca”.

As lâmpadas queimadas são corretamente segregadas e encaminhadas para a reciclagem nas empresas estudadas. No entanto, as empresas B e C incluíram em sua gestão parcerias com empresas especializadas em reciclagem de lâmpadas, garantindo que todos os componentes das lâmpadas sejam devidamente separados e reciclados, minimizando o impacto ambiental e promovendo a reutilização de materiais preciosos. Outro ponto de destaque é a substituição por lâmpadas de LED que apresentam maior eficiência energética e durabilidade.

No entanto, na segunda aplicação de ADA na empresa A, as lâmpadas queimadas representavam um problema de descarte inadequado. As lâmpadas são potencialmente poluentes devido à presença de materiais tóxicos, como mercúrio. A empresa A implementou um sistema de gestão desses resíduos, no entanto a empresa estabelecida como parceira neste processo não passou na etapa de integração da empresa A, por não apresentar documentos exigidos que atestem regularidade fiscal. Dessa forma, as lâmpadas permanecem separadas em depósitos na empresa, evitando a contaminação do meio ambiente, até que a situação da empresa de reciclagem se regularize o descarte seja finalizado. A

destinação das lampadas foi considerada inadequada pela falta do processo definido para o descarte.

Os gases da queima do bagaço estão classificados como o 4º resíduo que mais impacta na aplicação da ADA. Os gases liberados durante a queima do bagaço da cana representam uma fonte significativa de emissões de gases que contribuem para o efeito estufa. Na primeira aplicação de ADA em 2017, as empresas estudadas lançavam essas emissões gasosas diretamente na atmosfera, não eram tratadas adequadamente. As empresas B e empresa C implantaram sistemas de controle de emissões para reduzir a poluição atmosférica. De acordo com o entrevistado B2, “investimos em tecnologias avançadas de lavagem de gases, garantindo que os gases emitidos atendam aos padrões ambientais exigidos.... mesmo que não traga retorno financeiro de imediato para a empresa”.

A empresa A, ainda libera as emissões gasosas diretamente na atmosfera, mas iniciaram projetos para implementar sistemas avançados de tratamento de gases, com a implementação de tecnologias para o controle de emissões, captura e armazenamento de carbono para reduzir os impactos ambientais e “assim reduzir nossa pegada de carbono” complementou o entrevistado A1.

Nas 3 empresas estudadas o efluente gasoso das dornas, liberado durante o processo de fermentação, apresentava emissões poluentes e contribuía para a poluição atmosférica. Para mitigar esse problema, a empresa B desenvolveu sistemas de controle de emissões, como filtros e precipitadores eletrostáticos, que removem substâncias nocivas antes de liberar o ar na atmosfera.

A empresa C faz uso de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) para reduzir as emissões de dióxido de carbono. Além do processo para incorporar tecnologias de recuperação de energia nos sistemas de tratamento, o entrevistado C2 relatou que “aproveitaremos o calor gerado durante o processo para geração de energia, para promover a autossuficiência energética da usina”. A empresa A está em etapa final da criação de políticas internas para garantir o monitoramento e controle adequado dos efluentes gasosos das dornas.

O efluente gerado pela lavagem das dornas contem resíduos orgânicos e produtos químicos, representando um risco para os rios e lençol freático. Este efluente gerado já era tratado empresa A garantindo a remoção de resíduos sólidos e compostos orgânicos antes do descarte. Por possuir uma unidade industrial nova, “seu layout já foi desenvolvido para reaproveitar o uso da água contida nele” (entrevistado A1), ou seja, não foi alvo de desenvolvimento de inovação sustentável na empresa A.

A empresa B não realiza o tratamento prévio deste efluente, no entanto implantou um sistema avançado de filtragem e recirculação de água, cuja tecnologia foi adquirida de uma empresa do setor metalúrgico, além de realizarem a instalação dos equipamentos. De acordo com o entrevistado B2, “a água utilizada na lavagem das dornas passará por um processo de purificação, permitindo seu reuso em outras etapas do processo produtivo, reduzindo o consumo de água e minimizando o desperdício”, além de reduzir a demanda de água fresca. De acordo com a empresa B, houve uma redução de 15% na captação de água entre 2017 a 2022 devido à implantação dos projetos que reduzem o consumo e/ou reutilizam a água.

A empresa C descartava o efluente diretamente em um rio local. No entanto, implementaram sistemas de tratamento de águas residuais para remover contaminantes antes do descarte, através de lagoas de decantação e estações de tratamento biológico, que removem poluentes e garantem que o efluente seja tratado antes de ser descartado. Além disso, desenvolveram internamente um plano de gestão integrada de águas residuais, que conforme o entrevistado C2 “faz parte de um programa que inclui a criação de metas e indicadores de desempenho para a redução do volume e da carga poluente do efluente”.

As sucatas metálicas provenientes de equipamentos obsoletos ou danificados, até a 1ª aplicação da ADA em 2017, eram destinadas para empresas terceirizadas, resultando em desperdício de recursos para as empresas estudadas. A empresa A efetivou a implementação de um sistema de rastreamento e gestão das sucatas metálicas, desde a sua origem até o destino final, garantindo a transparência e conformidade com regulamentações ambientais, além de permitir a comercialização das sucatas metálicas. O entrevistado A1 informou que os valores referentes à venda das sucatas

metálicas são repassados aos projetos sociais que a empresa tem, no entanto não soube informar os valores dessas vendas.

Na empresa B realizaram o estabelecimento de parcerias com empresas de reciclagem para garantir o destino adequado das sucatas metálicas, além da implementação de processos de remanufatura ou recondicionamento para prolongar a vida útil dos metais. “Agora, as sucatas metálicas são coletadas, separadas e encaminhadas para reciclagem, evitando problemas com essas sucatas paradas na indústria” afirmou o entrevistado B2. Na empresa C, adotaram o uso de tecnologias avançadas de reciclagem das sucatas metálicas para a produção de novos produtos em parceria com uma empresa do setor metalúrgico, a qual detém o *know-how* necessário para realizar esse processo. O entrevistado C2 afirmou que a parceria entre as empresas teve início em 2020, mas não tem informações mais detalhadas sobre esta parceria.

A levedura, um subproduto do processo de fermentação, tem um pequeno percentual que é comercializado para outras empresas do setor sucroenergético e o restante retorna para a produção do etanol, não sendo um alvo de inovação sustentável nas empresas B. A empresa C utiliza parte da levedura para a produção de etanol e direciona o restante para a produção de bioplásticos, utilizados nas embalagens do açúcar. Essa inovação foi comprada de uma empresa do setor sucroenergético (chamada de empresa X para fins didáticos), onde os equipamentos foram retirados da empresa X e instalados na empresa C. O conhecimento necessário para a execução dos serviços foi transferido através de treinamentos fornecidos pela empresa X.

Na empresa A a levedura é destinada para comercialização como ingrediente na produção de alimentos para animais e produtos vegetarianos e veganos. Para o entrevistado A1, “fomos em busca de encontrar aplicações alternativas para a levedura. Ela é utilizada como ingrediente na produção de ração animal de alta qualidade, mas queríamos mais alternativas”. Dessa forma, a levedura passou a ser usada no processamento para produção de bioplásticos e biocombustíveis. De acordo com o entrevistado A1, essas aplicações alternativas foram desenvolvidas em parceria com uma Instituição de Pesquisas na área de Biotecnologia localizada no Brasil. A parceria durou 6 meses e foi pautada em troca de informações tecnológicas na qual uma empresa tem alto nível de conhecimento e a outra empresa requer a tecnologia, sendo que a

empresa A cedeu informações referentes à pesquisas sobre a levedura feitas em laboratório próprio. Essas informações foram trocadas através de reuniões online entre os departamentos de tecnologia das empresas. Também houve a implementação de um sistema de recuperação de energia durante o processo de produção de levedura, tecnologia que foi desenvolvida pela empresa A.

O melaço, um resíduo viscoso da produção de açúcar, é utilizado principalmente para a fabricação de etanol nas empresas estudadas. No entanto, a empresa A inovou e passou a explorar o excedente na produção de bioplásticos (que são usados nas embalagens de produtos como o açúcar e saneantes) e biofertilizantes (que são vendidos para produtores rurais utilizarem na lavoura). Essas tecnologias foram desenvolvidas pela própria empresa. Essa abordagem valoriza o melaço, transformando-o em produtos de maior valor agregado e reduzindo seu impacto ambiental.

A empresa B passou a explorar o excedente com a utilização em indústrias de cosméticos e alimentos. “Desenvolvemos parcerias com empresas de setores como o de cosméticos e alimentício, criando produtos diferenciados e sustentáveis a partir do melaço, como cosméticos naturais e adoçantes saudáveis” afirmou o entrevistado B2. A parceria envolveu o fornecimento do melaço da empresa A para a empresa parceria que já desenvolvia os produtos e a empresa A fica com uma porcentagem das vendas que varia de 0,03% à 0,05%. De acordo com o entrevistado B2, o foco não foi o retorno financeiro, mas sim estar envolvido com empresas que fabricam produtos sustentáveis.

Na empresa C, este derivado que também é utilizado como adubo, passou a ter o excedente comercializado para indústrias dos setores cosméticos e alimentício utilizarem na produção de alimentos, bebidas e produtos fermentados, tendo o melaço como substituto de ingredientes menos sustentáveis.

As pilhas e baterias usadas nas empresas estudadas são corretamente segregadas e encaminhadas para reciclagem, que é feita por terceiros. No entanto, a empresa B passou a implementar um programa de logística reversa em parceria com empresas especializadas. “Agora, não apenas coletamos as pilhas e baterias descartadas, mas também incentivamos os colaboradores a devolvê-las em pontos de coleta específicos” afirmou o entrevistado B2. Essa abordagem garante a destinação adequada dos materiais tóxicos presentes nas

pilhas e baterias, evitando a contaminação ambiental e promovendo a recuperação de metais valiosos.

A empresa A passou a não ter uma destinação adequada na segunda aplicação da ADA. Este fato se deve pela empresa de coletas não estar aprovada na integração por falta de documentos exigidos para a formalização do contrato. No entanto, o entrevistado A1 afirmou que “estamos em fase final de estabelecer parceria com uma startup para pesquisa e desenvolvimento de baterias mais sustentáveis e de longa duração”.

O efluente tratamento dos gases de combustão, passa por um sistema de tratamento eficiente, removendo substâncias nocivas antes do descarte, nas 3 empresas estudadas. No entanto, a empresa B buscou aprimorar as técnicas de tratamento, visando reduzir ainda mais a presença de poluentes no efluente: “implementamos tecnologias avançadas de filtragem e catalisadores, garantindo a máxima eficiência na remoção de compostos indesejados e minimizando o riscos” afirmou o entrevistado B2. A empresa C passou a fazer uso de tecnologias de recuperação de energia dos gases de combustão. Além disso, foram implementadas medidas de monitoramento e controle para garantir a eficiência do tratamento dos gases de combustão. Em ambas situações apresentadas, as tecnologias foram desenvolvidas pelas próprias empresas, sendo que na empresa C foi necessário a contratação de serviços adicionais de uma empresa de engenharia elétrica.

Os resíduos gerados nos laboratórios da usina são adequadamente segregados e encaminhados para tratamento ou descarte seguro, de acordo com suas características. No entanto, a empresa A passou a implementar melhores práticas ambientais: “estabelecemos parcerias com instituições de pesquisa e empresas de reciclagem, explorando oportunidades de reutilização ou reciclagem dos resíduos laboratoriais, transformando-os em novos produtos ou matérias-primas” afirmou o entrevistado A1. O entrevistado A1 não tinha mais informações sobre a parceria e seus resultados, no entanto disse que foi um projeto iniciado e finalizado em 2021. Essa abordagem reduz o risco de poluição e promove a segurança dos funcionários e do meio ambiente, além de maximizar o aproveitamento dos recursos.

As empresas B e C passaram a adotar programas similares alguns meses após a 1ª aplicação de ADA, que são: implementação de programas de

gerenciamento de resíduos laboratoriais, separando substâncias perigosas e encaminhando-as para tratamento adequado, baseado em boas práticas, incluindo treinamentos, protocolos e monitoramento para garantir a minimização de resíduos e o cumprimento de normas ambientais.

A flegmaça, um resíduo do processo industrial, é corretamente direcionada para tratamento e disposição adequada nas empresas estudadas. Apesar disso, a empresa A buscou por tecnologias avançadas de tratamento da flegmaça: “utilizamos processos de separação físico-química e biológica, garantindo a remoção eficiente de poluentes e a minimização do impacto ambiental” afirmou o entrevistado A1. Estas tecnologias foram desenvolvidas pela empresa A com a participação pontual de um laboratório de pesquisas, após tentativa fracassada de parceria com uma startup. A empresa B melhorou os sistemas de filtragem e purificação para reduzir a emissão de poluentes e passou a adotar práticas de controle e monitoramento contínuos do tratamento da flegmaça, sendo que estas melhorias foram desenvolvidas pela própria empresa.

Os óleos lubrificantes da fábrica, usados nas empresas estudadas são corretamente coletados e encaminhados para reciclagem. No entanto, a empresa A passou a investir em tecnologias avançadas de regeneração de óleos lubrificantes. Essas tecnologias foram realizadas com a instalação de equipamentos (tecnologia que foi comprada de uma empresa do setor metalúrgico) que permitem a recuperação dos óleos usados, restaurando suas propriedades e possibilitando seu reuso na própria indústria. “Dessa forma, reduzimos a dependência de óleos lubrificantes virgens e minimizamos o risco associado à sua produção e descarte” afirmou o entrevistado A1. A empresa B mantém apenas o encaminhamento dos óleos para a reciclagem. A empresa C estabeleceu parceria com empresa especializada em reciclagem de óleos lubrificantes promovendo a economia de recursos, com a implementação de um programa oficial de coleta e reciclagem de óleos lubrificantes usados. O entrevistado C1 não soube detalhar como se desenvolveu essa parceria.

O óleo fúsel, um subproduto do processo de destilação, é utilizado e valorizado como combustível para outros processos nas empresas estudadas. No entanto, as empresas passaram a explorar novas oportunidades de uso do óleo fúsel. A empresa A passou a utilizar o óleo fúsel como fonte de energia renovável, com a implementação de sistemas de geração de biogás próprios a

partir do óleo fúsel, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Essa inovação foi adquirida de 2 empresas sendo: uma empresa de engenharia que elaborou o projeto de ampliação industrial da empresa A e uma metalurgica que construiu e instalou o sistema de geração de biogás. O entrevistado não soube informar a quantidade de biogás produzida.

A empresa B passou a comercializar o excedente do óleo fúsel para uma indústria química, que o utiliza na composição de bebidas com teor alcoólico, cosméticos, aromatizantes artificiais além de fixador de perfumes, pelo fato do óleo fúsel ser uma mistura de alcoóis superiores. A empresa C emprega o óleo fúsel também para a produção de biodiesel, através de uma tecnologia desenvolvida pela própria empresa.

O efluente gerado durante a lavagem dos pisos e equipamentos é tratado antes do descarte, garantindo a remoção de resíduos sólidos e compostos indesejados, exceto pela empresa C na primeira aplicação da ADA. Essa situação foi resolvida com a implantação de sistemas de tratamento de águas residuais para remover contaminantes antes do descarte e em seguida a reutilização da água tratada na limpeza de pisos e equipamentos, reduzindo a demanda de água fresca. Essa tecnologia foi desenvolvida pela empresa C.

Segundo o entrevistado C2:

“utilizamos tecnologias de filtragem e processos biológicos para remover os contaminantes, permitindo o reuso seguro da água em atividades não potáveis, como a própria lavagem dos pisos e equipamentos. Essa prática reduziu o consumo de água fresca devido ao reaproveitamento da água usada em circulação na indústria”.

Ficou evidente que para o desenvolvimento das inovações sustentáveis, houve diferentes comportamentos estratégicos em cada empresa e até mesmo para cada resíduo/subproduto. Em alguns casos foi demonstrado uma certa resistência, sendo que ignoravam fatores ambientais, sociais e econômicos. Também identificamos comportamentos reativos ou de antecipação a fatores ambientais, sociais e econômicos. Em alguns casos notamos que a empresa considerava esses fatores como contribuintes para o sucesso da empresa, ou

seja, se baseava em inovação sustentável para a tomada de decisão. Estas questões estão abordadas na seção de discussão dos resultados.

4.2.2 – Fatores de estímulo ao desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA

Após relatarmos o desenvolvimento das inovações sustentáveis, procuramos entender quais fatores estimularam o desenvolvimento dessas inovações nas empresas estudadas após aplicação da ADA.

4.2.2.1 – Motivação e objetivos para o desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA

Em um primeiro momento, os entrevistados expuseram diversas motivações que os estimularam a seguir com o desenvolvimento de projetos de inovação sustentável nas empresas.

O entrevistado A1 citou que “a preocupação com os impactos negativos das atividades produtivas, foi um fator motivador para a empresa buscar soluções mais sustentáveis”, demonstrando ter responsabilidade ambiental. Outro ponto de motivação para a empresa A foi buscar reduzir de custos e gerar maior eficiência nas operações, através da adoção de práticas sustentáveis associada à redução do consumo de recursos naturais como a água, à eficiência energética e à minimização de resíduos. “Essas medidas podem resultar em economias de custos significativas a longo prazo, o que nos motivou a investir em projetos sustentáveis” (entrevistado A1).

Além disso, o entrevistado A1 mencionou em relação à redução do consumo de recursos naturais, que houve uma redução na captação de água de 28 milhões de m³ na safra 2019/2020 para 23 milhões de m³ na safra 2020/2021 e para 21,5 milhões de m³ na safra 2021/2022. No entanto, não pôde afirmar que essa redução foi exclusivamente ligada aos projetos de inovação sustentável estimulados após aplicação da ADA, pois houve projetos de reuso da água que foram iniciados em 2016 e finalizados em 2019.

O entrevistado B2 relatou que a empresa busca por vantagem competitiva: “a busca por uma vantagem no mercado levou a empresa a adotar práticas sustentáveis e desenvolver projetos inovadores, a fim de atender a

procura dos consumidores por produtos mais sustentáveis”. Dessa forma, a empresa B passou a explorar a produção excedente do melaço em parcerias com indústrias de cosméticos e alimentos criando produtos diferenciados e sustentáveis a partir do melaço, como cosméticos naturais e adoçantes saudáveis.

A empresa B também busca melhorias na imagem corporativa: “A implementação de projetos de inovação para área ambiental pode melhorar nossa imagem, deixando nossa empresa mais atraente para investidores, parceiros comerciais e clientes” (entrevistado B2). Os projetos de inovação sustentável desenvolvidos passaram a integrar os relatórios de sustentabilidade da empresa B, com a finalidade de expor as atividades focadas nos aspectos ambiental, social e econômico, “numa tentativa clara de melhorar nossa imagem” (entrevistado B2).

A empresa C demonstrou que a pressão regulatória foi um fator motivador para desenvolver inovação sustentável: “...regulamentações ambientais mais rigorosas incentivaram a empresa a desenvolver projetos de inovação sustentável como forma de cumprir as exigências legais e evitar penalidades” (entrevistado C2). Em exemplo disso foi o efluente de lavagem dos pisos e equipamentos que era descartado inadequadamente e passou a ser alvo de uma inovação sustentável.

Outro ponto é que a empresa C está atenta à mudança nos valores e expectativas dos consumidores que “...estão cada vez mais conscientes dos problemas ambientais e valorizam empresas que adotam práticas sustentáveis” (entrevistado C2). Este posicionamento é refletido por exemplo na utilização de bioplásticos nas embalagens do açúcar produzido pela empresa C.

Essas motivações combinadas refletem um aumento na conscientização sobre a relevância da sustentabilidade e os benefícios associados à adoção de práticas mais sustentáveis. O desejo de reduzir o impacto ambiental, cumprir regulamentações, atrair clientes e obter vantagens são motivos-chave que impulsionaram o desenvolvimento de projetos de inovação sustentável nas empresas estudadas.

Em um segundo momento, a motivação para desenvolver inovação sustentável após aplicação da ADA passou a embasar os objetivos das empresas em relação à sustentabilidade e ao seu impacto no meio ambiente e

na sociedade. Uma vez motivadas a buscarem inovações sustentáveis, as empresas puderam definir objetivos específicos para impulsionar essas inovações sustentáveis e terem um direcionamento do caminho a seguir.

Para as empresas estudadas, os objetivos que ajudaram a impulsionar o desenvolvimento de inovação sustentável visam integrar práticas sustentáveis em todas as áreas da empresa, e assim trazer benefícios ambientais, sociais e econômicos. Apresentamos no Quadro 8, de modo agregado, os principais objetivos apresentados pelas empresas A, B, e C que nortearam o desenvolvimento das inovações sustentáveis.

Quadro 8 – Objetivos de desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA

Objetivos	Descrição dos objetivos de desenvolvimento de inovação sustentável
Redução do consumo de recursos naturais	Estabelecer metas para reduzir o consumo de água, energia e matérias-primas nos processos produtivos
Minimização dos resíduos e emissões	Desenvolver e implementar estratégias inovadoras para reduzir a geração de resíduos e as emissões poluentes em todas as etapas da cadeia produtiva
Desenvolvimento de produtos sustentáveis	Investir em pesquisa e desenvolvimento de produtos que atendam às demandas dos clientes, ao mesmo tempo em que promovam a sustentabilidade
Engajamento de stakeholders	Estabelecer parcerias estratégicas com fornecedores, clientes, comunidades locais e outras partes interessadas para compartilhar conhecimentos, recursos e melhores práticas, promovendo a inovação sustentável em toda a nossa cadeia de valor
Cultura de inovação sustentável	Promover uma cultura organizacional que valorize e incentive a inovação sustentável, fornecendo treinamentos e programas de conscientização aos colaboradores e comunidade local
Neutralidade de carbono	Estabelecer metas para alcançar a neutralidade de carbono nas operações, adotando medidas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa
Parcerias estratégicas para a inovação	Estabelecer parcerias estratégicas com instituições de pesquisa, universidades, startups e outras empresas do setor para impulsionar a inovação sustentável, compartilhar conhecimentos, recursos e tecnologias, visando acelerar o desenvolvimento de soluções sustentáveis

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.2.2 – Procedimentos internos para o desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA

Por fim, os entrevistados citaram alguns procedimentos internos como fatores que estimularam e deram suporte para o desenvolvimento de inovação sustentável. Estes procedimentos internos são práticas inovadoras que foram criadas ou aperfeiçoadas após a 1ª aplicação da ADA para darem suporte e apoio à tomada de decisão no desenvolvimento das inovações sustentáveis.

O Quadro 9 foi elaborado através da análise de documentos internos, materiais informativos e relatórios, somados às entrevistas, e apresenta os procedimentos internos das empresas estudadas, criados ou aperfeiçoados para estimular o desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA,.

A autoavaliação das empresas já era realizada pelas empresas estudadas. No entanto, passou a ser realizada com a finalidade de promover melhoria contínua e identificar áreas de oportunidade para a inovação sustentável envolvendo os resíduos e subprodutos gerados na etapa produtiva. Por meio desse processo, as empresas buscaram analisar criticamente suas atividades produtivas, o impacto negativo dos resíduos e subprodutos, a vulnerabilidade da empresa em relação à possibilidade desses impactos negativos acontecerem.

Quadro 9 – Procedimentos internos das empresas estudadas após aplicação da ADA

Procedimentos internos	Criados após ADA	Aperfeiçoados após ADA	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Autoavaliação da empresa		✓	✓	✓	✓
Sistemas de gestão		✓	✓	✓	✓
Estratégia de marketing	✓		✓		✓
Programa de melhorias da eficiência das operações internas	✓		✓		
Melhoria da imagem da empresa		✓	✓	✓	✓
Melhoria na comunicação interna		✓	✓	✓	✓
Melhoria no relacionamento com cliente		✓	✓		✓
Controle de qualidade ambiental		✓	✓	✓	✓
Treinamentos / qualificação	✓			✓	✓
Auditoria interna / Externa	✓			✓	
Manuais e políticas internas	✓		✓	✓	✓
Controle de documentos	✓		✓	✓	✓
Controle de registros	✓		✓	✓	✓
Planos de emergência	✓		✓	✓	✓
Indicadores de desempenho		✓	✓	✓	
Ações preventivas / Corretivas	✓			✓	✓

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os sistemas de gestão existentes foram aperfeiçoados como uma medida adotada para padronizar e otimizar os processos internos das empresas. Esses sistemas permitem uma maior eficiência operacional, organização e controle das

atividades, garantindo que as práticas de inovação sustentável sejam devidamente implementadas e monitoradas em toda a organização.

A estratégia de marketing foi desenvolvida após a aplicação da ADA visando promover a inovação sustentável das empresas, bem como seus produtos e serviços ecologicamente responsáveis. Por meio dessa estratégia, as empresas buscam destacar nos relatórios de sustentabilidade os benefícios ambientais e sociais de suas soluções, conscientizando o mercado sobre a importância da sustentabilidade e conquistando clientes que valorizam práticas responsáveis. A empresa B não apresentou uma estratégia de marketing durante o estudo.

O programa de melhorias da eficiência das operações internas foi implementado pela empresa A, após aplicação da ADA, com o objetivo de identificar e implementar medidas que promovam a eficiência operacional e redução de custos em todos os processos da empresa. Por meio desse programa, foram realizadas análises detalhadas e monitoramento em tempo real das operações industriais, buscando identificar oportunidades de inovação que resultem em maior eficiência energética, redução de resíduos e otimização dos recursos utilizados.

A melhoria da imagem da empresa frente aos stakeholders foi aperfeiçoada após aplicação da ADA, através da divulgação da implantação de práticas de inovação sustentável nos relatórios de sustentabilidade e através de campanhas promocionais. Ao adotar medidas e comunicar de forma transparente os esforços em prol da sustentabilidade, as empresas buscaram demonstrar seu compromisso com a responsabilidade ambiental e social, fortalecendo sua reputação e construindo relacionamentos mais sólidos com clientes, parceiros e comunidades.

A melhoria na comunicação interna aperfeiçoada após aplicação da ADA, foi estabelecida para garantir que todos os colaboradores estejam alinhados com as práticas sustentabilidade das empresas. A comunicação clara permitiu o compartilhamento de conhecimento, engajamento dos funcionários e a adoção de práticas sustentáveis em diversas áreas das empresas, fortalecendo as bases para uma cultura de inovação sustentável.

Melhorar o relacionamento com os clientes, foi um procedimento aperfeiçoado após aplicação da ADA, pelas empresas A e empresa C. Este

procedimento foi criado para fornecer soluções que atendam às demandas por produtos e serviços mais sustentáveis. Ao compreender as necessidades dos clientes e oferecer soluções inovadoras e sustentáveis, as empresas buscaram construir relações duradouras e criar valor agregado para seus clientes.

O controle de qualidade ambiental foi aperfeiçoado após aplicação da ADA e estabelecido para garantir que os produtos e serviços das empresas atendam aos padrões de qualidade e confiabilidade requeridos pela legislação. Também foi utilizado para apoiar as inovações sustentáveis que atendem às pressões regulamentais que as empresas sofrem. Além disso, o controle de qualidade ambiental permitiu mensurar e controlar o impacto das emissões dos resíduos e subprodutos.

Os programas de treinamento e qualificação realizados pelas empresas B e C foram criados após aplicação da ADA com o objetivo de capacitar os colaboradores das empresas, proporcionando o conhecimento e as habilidades necessárias para promover a inovação sustentável em suas respectivas áreas de atuação. Esses programas também visam conscientizar os funcionários sobre a importância da sustentabilidade, capacitando-os a implementar práticas e processos mais eficientes e sustentáveis em suas atividades diárias. A empresa A não apresentou programas de treinamento e qualificação referentes à área de inovação sustentável.

A auditoria interna e externa foi criada após aplicação da ADA pela empresa B e estabelecida para avaliar e monitorar o desempenho da empresa relacionado com as práticas de inovação sustentável. Essas auditorias permitiram identificar áreas de melhoria, verificar a conformidade com regulamentações e padrões, e garantir a eficácia das medidas implementadas. Além disso, as auditorias promovem clareza na prestação de contas da empresa em relação à sua performance ambiental e social.

A criação de manuais e políticas internas foi feita após aplicação da ADA com o objetivo de fornecer diretrizes claras e orientações para os colaboradores relacionado com as práticas de inovação sustentável das empresas. Esses documentos estabelecem os princípios, procedimentos e responsabilidades relacionados à sustentabilidade, garantindo que todos os colaboradores estejam alinhados com os objetivos e compromissos da organização em relação à inovação sustentável.

O controle de registros e documentos foi criado após aplicação da ADA com o objetivo de para garantir a organização, segurança e rastreabilidade das informações relacionadas à inovação sustentável da empresa, além de garantir a adequada documentação e armazenamento de informações incluindo registros de atividades, resultados, metas e ações implementadas em relação às práticas sustentáveis.

Os planos de emergência foram criados após aplicação da ADA como uma medida de precaução para lidar com situações adversas e minimizar os impactos negativos originados das atividades produtivas. Esses planos foram desenvolvidos com base na identificação de possíveis riscos ambientais e vulnerabilidade das empresas, visando garantir uma resposta eficiente e eficaz em casos de acidentes ou outras emergências.

A definição e monitoramento de indicadores de desempenho foram aperfeiçoados pelas empresas A e B após aplicação da ADA para avaliar o progresso da empresa em relação à inovação sustentável. Esses indicadores permitiram medir e acompanhar o desempenho ambiental, social e econômico, fornecendo dados quantitativos como quantidade de resíduos e subprodutos gerados, emissões gasosas tratadas e não tratadas previamente, uso de recursos hídricos, investimentos diretos em inovação sustentável, entre outros após terem práticas sustentáveis implementadas. Com base nesses indicadores, as empresas puderam estabelecer metas, identificar áreas de melhoria e tomar medidas corretivas ou preventivas para impulsionar a inovação sustentável.

A adoção de ações preventivas e corretivas é uma abordagem proativa, criada pelas empresas B e C após aplicação da ADA, para identificar e resolver problemas relacionados à inovação sustentável. As ações preventivas e corretivas funcionam como uma ampliação dos planos de emergência. A empresa A apresenta uma planta industrial moderna e com monitoramento de falhas e erros em toda a etapa produtiva, por isso não apresentou a adoção dessas ações. Já a empresa B e C, possuem uma planta industrial que requer maiores cuidados por não terem esse sistema de monitoramento em toda a indústria. Dessa forma, as ações preventivas visam evitar a ocorrência de problemas e falhas nos equipamentos e na produção do etanol e açúcar, enquanto as ações corretivas são tomadas quando problemas surgem, visando corrigir as causas raiz, minimizar impactos e evitar recorrências.

4.2.3 – Parcerias para o desenvolvimento de inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA

Nas empresas estudadas, evidenciamos que houve a formação de distintas parcerias para o desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA. Dessa forma, pedimos aos entrevistados que escolhessem ao menos uma parceria que eles consideram mais exitosa e uma que eles consideram fracassada.

4.2.3.1 – Parceria bem sucedida na empresa A

O entrevistado A1 relatou uma parceria bem sucedida realizada pela empresa A com uma renomada instituição de pesquisa da área de biotecnologia, que conta com uma equipe multidisciplinar altamente qualificada, localizada no Brasil. “Sua expertise e recursos tecnológicos significativos fortaleceram a parceria e possibilitaram o desenvolvimento de soluções inovadoras” afirmou o entrevistado A1. Ainda conforme o entrevistado A1, “a formação da aliança ocorreu devido à busca por produtos inovadores e sustentáveis. Ambas as partes reconheceram a importância de colaborar e unir esforços para impulsionar a inovação sustentável que desejávamos”.

Segundo o entrevistado A1, o objetivo principal da aliança era direcionar a levedura para ser usada no processamento para produção de bioplásticos e biocombustíveis. A parceria resultou em inovações sustentáveis de natureza incremental, com avanços significativos nos processos e produtos existentes. Apesar dos avanços apresentados, não houve registro de patentes para proteger as tecnologias desenvolvidas e garantir a propriedade intelectual.

Houve o lançamento de novos produtos como embalagens feitas a partir de bioplásticos e biocombustíveis usados internamente na indústria além de melhorias no processo de produção. De acordo com a empresa A, através da implementação das inovações e consequente utilização de bioplásticos e biocombustíveis, estima-se que houve uma redução nos custos operacionais de aproximadamente R\$ 300.000,00/ano e um aumento nas receitas da usina de aproximadamente R\$ 3.500.000,00/ano. O investimento financeiro requerido

para o desenvolvimento das inovações sustentáveis nessa parceria, segundo informado pelo entrevistado A1 foi “substancial”, porém não soube informar o valor com precisão.

Um ponto interessante destacado pelo entrevistado A1 sobre o uso do bioplástico, utilizado nas embalagens de produtos como o açúcar, é que “foram realizadas pesquisas de satisfação dos clientes para avaliar a aceitação e o impacto das inovações, garantindo a excelência do serviço”. Além disso, o entrevistado A1 afirmou que “a colaboração com o parceiro foi ampla, houve a criação de novos produtos como embalagens sustentáveis que eram inovadores não apenas para a usina, mas também para o setor” se referindo ao uso do bioplástico.

A parceria estabelecida com a instituição de pesquisa se deu por meio de uma aliança contratual formalizada, com termos e condições específicos definidos em contrato. Embora não tenham tido uma parceria anteriormente, havia conhecimento mútuo sobre o trabalho e a reputação de ambos. A parceria teve início em janeiro/2020 e tem se mantido ativa desde então.

Para garantir a troca efetiva de conhecimento, foram adotadas diversas ações. Os parceiros utilizaram uma plataforma online para compartilhamento de informações e documentos (ferramentas do google), disponibilizada pela empresa A. Além disso, foram realizadas reuniões regulares para promover o diálogo e a colaboração entre os parceiros. Além disso, houve também um intercâmbio de pesquisadores para estreitar os laços e permitir uma imersão mais profunda nos projetos em andamento.

A coordenação das atividades era realizada por meio de uma equipe dedicada dentro da empresa A, composta por colaboradores de ambas as empresas, com um responsável pelo projeto designado pela empresa A para garantir a coordenação e o alinhamento entre os parceiros. Essa pessoa fica diretamente envolvida nas atividades e é responsável por acompanhar o progresso, garantindo que os objetivos sejam alcançados dentro dos prazos estabelecidos.

Para alcançar resultados de inovação sustentável, de acordo com a empresa A, a característica mais decisiva encontrada para a parceria ter sido bem-sucedida é o compromisso com a visão e os objetivos compartilhados.

Ao estabelecer parcerias, é comum enfrentar dificuldades ao longo do caminho. A empresa A teve desafios para lidar com a instituição de pesquisa, houve certa dificuldade em harmonizar os processos internos e a burocracia de ambas as organizações, o que resultou em atrasos em alguns projetos. Essas dificuldades foram superadas por meio de comunicação aberta e frequente, adaptação de processos e compromisso mútuo em encontrar soluções para impulsionar a inovação sustentável.

4.2.3.2 – Parceria fracassada na empresa A

Outra parceria firmada pela empresa A foi com uma pequena startup com recursos financeiros limitados e pouca experiência no setor sucroenergético. “A falta de expertise e capacidade de investimento acabou sendo um obstáculo para o desenvolvimento de inovações sustentáveis significativas” concluiu o entrevistado A1. A formação da aliança foi motivada principalmente para direcionar a flegmaça para processos de separação físico-química e biológica, garantindo a remoção eficiente de poluentes e a minimização do impacto ambiental. Ainda segundo o entrevistado A1

“A parceria foi vista como uma maneira de cumprir requisitos legais e diminuir possíveis danos ambientais. O objetivo da aliança não foi alcançado, muito pela falta de dedicação por parte do parceiro, que estava mais interessado em obter benefícios financeiros imediatos.”

Embora não tivessem experiências profissionais anteriores em comum, a empresa A foi atraída pela proposta inovadora da startup. A parceria se manteve de fevereiro/2021 à dezembro/2021. A parceria com a startup foi baseada em um acordo de cooperação, levando em consideração os objetivos e necessidades do projeto que seria desenvolvido.

Para o entrevistado A1, a parceria não alcançou resultados significativos em termos de inovação sustentável. O objetivo da parceria que era garantir a remoção eficiente de poluentes e a minimização do impacto ambiental da flegmaça não foi alcançado. Não houve lançamento de novos produtos ou serviços. De acordo com a empresa A, para esta parceria, o investimento em

P&D foi insuficiente (aproximadamente R\$ 400.000,00), limitando a capacidade de desenvolver soluções inovadoras.

A parceria fracassada refletiu a falta de comprometimento e recursos financeiros, resultando em poucos avanços e benefícios para a usina. “Aprendemos na prática a importância de selecionar parceiros adequados e estabelecer uma colaboração que seja boa para impulsionar a inovação” concluiu o entrevistado A1.

4.2.3.3 – Parceria bem sucedida na empresa B

A empresa B efetivou uma parceria bem-sucedida com uma universidade. A universidade é uma instituição renomada, com um corpo docente altamente qualificado e recursos significativos para pesquisa e desenvolvimento. “Sua reputação e experiência no campo foram fatores determinantes para a escolha dessa parceria” afirmou o entrevistado B2.

O objetivo da parceria era combinar o conhecimento acadêmico e a experiência prática da usina para desenvolver tecnologias avançadas e soluções sustentáveis para a vinhaça. Sendo assim, a formação da aliança com a universidade ocorreu para desenvolver inovação sustentável de processo e produto para a vinhaça, passando a utilizá-la no processamento do biogás.

O contato entre a empresa B e a universidade foi estabelecido por meio de um programa de parcerias promovido pela instituição de ensino. Embora não tenham tido uma parceria anteriormente, a empresa B tinha conhecimento sobre a reputação e excelência acadêmica da universidade, principalmente nas áreas que necessitava investir em inovação sustentável. A parceria teve início em abril/2019 e tem se fortalecido ao longo do tempo.

O tipo de parceria estabelecido com a universidade é baseado em acordos de colaboração e troca de informações. A coordenação das atividades é realizada em conjunto entre as empresas, sendo que cada empresa designa um responsável pelo acompanhamento dos projetos.

Para garantir a efetiva troca de conhecimento, diversas ações foram tomadas. Ambas as parcerias realizam o compartilhamento de informações, documentos e resultados de pesquisas. Além disso, são realizadas reuniões periódicas para alinhamento de diretrizes e acompanhamento dos projetos.

A parceria resultou em inovações incrementais de produto e processo para a vinhaça, não tendo gerado registro de patentes até o momento para proteger as tecnologias desenvolvidas em conjunto. Houve lançamento de novo produto como o biogás, sendo que antes era um resíduo descartado, passando a ser um produto de uso interno e comercializado em menor escala. De acordo com o entrevistado B2, houve um pequeno aumento na receita da empresa e um “investimento significativo” em P&D e na implantação dos equipamentos necessários para a produção do biogás. No entanto, estes valores não foram mencionados.

4.2.3.4 – Parceria fracassada na empresa B

O entrevistado B2 relatou uma parceria fracassada com uma empresa do mesmo setor (indústria sucroenergética). A empresa parceira era uma grande corporação com recursos consideráveis, mas apresentava uma cultura organizacional resistente à mudança e falta de comprometimento com práticas sustentáveis. “A falta de alinhamento de valores e objetivos tornou difícil alcançar resultados significativos”, completou o entrevistado B2.

A formação da aliança com outra empresa do mesmo setor ocorreu como uma tentativa de compartilhar conhecimento sobre os gases da queima do bagaço e assim impulsionar uma inovação sustentável para este resíduo. Acreditava-se que a colaboração entre as empresas poderia trazer benefícios mútuos e acelerar o desenvolvimento de solução sustentável necessária para a empresa B, que era implantar um processo de lavagem dos gases para reter as impurezas.

Segundo o entrevistado B2, “o objetivo da parceria era explorar e identificar oportunidades de melhorias e também, buscar reduzir o impacto ambiental dos gases poluentes da queima.” A parceria com essa empresa se deu por contrato, uma vez que “caso resultasse em sucesso a parceria, as inovações seriam patenteadas em conjunto” (entrevistado B2).

Como a parceria não alcançou resultados significativos em termos de inovação sustentável: i) não houve lançamento de novos produtos ou serviços relevantes decorrentes da parceria, ii) os custos operacionais não foram reduzidos, iii) não houve um aumento notável nas receitas decorrente da

parceria, iv) a eficiência operacional não apresentou melhorias significativas e, v) não houve investimento em P&D.

4.2.3.5 – Parceria bem sucedida na empresa C

A empresa C efetivou uma parceria bem sucedida com uma Startup. A formação da aliança com a startup ocorreu devido ao reconhecimento da importância da inovação e da agilidade no desenvolvimento de soluções sustentáveis. “A startup apresentava ideias promissoras e uma abordagem inovadora para enfrentar desafios ambientais, o que despertou interesse da nossa empresa”, disse o entrevistado C2. A startup era uma empresa emergente, de tamanho menor, mas com uma equipe altamente qualificada e foco na sustentabilidade. Sua agilidade e capacidade de adaptação foram fatores que atraíram a indústria para a parceria.

O objetivo da aliança era para preparar o melão para ser comercializado para indústrias do setor de cosméticos e alimentos. Ambas as partes compartilhavam a visão de impulsionar a transformação do setor por meio da tecnologia e soluções sustentáveis. A parceria resultou em inovações sustentáveis incrementais, sendo gerados produtos como cosméticos naturais e adoçantes saudáveis. Além disso, houve melhorias nos processos produtivos que envolvem a geração do melão. Apesar da parceria ser bem-sucedida, houve pouco investimento em P&D de acordo com o entrevistado C2 (que não soube informar o valor em P&D) e não foram registradas patentes.

O contato entre a empresa C e a startup foi estabelecido por meio de um evento de networking voltado para o setor de inovação sustentável. Não havia uma parceria anteriormente e os parceiros não possuíam experiências de trabalho em comum. A empresa C conhecia a reputação da startup por meio de sua participação em programas de aceleração e competições de startups. A parceria teve início em julho/2021 e foi finalizada em outubro/2022.

Para garantir a troca efetiva de conhecimento, a empresa C e a startup adotaram uma abordagem de colaboração intensiva. Realizam reuniões periódicas para alinhamento de estratégias e compartilhamento de informações. Além disso, utilizam uma plataforma online disponibilizada pela startup para o

compartilhamento de documentos e resultados de pesquisas. A empresa C também ofereceu suporte à startup por meio de acompanhamento técnico.

O tipo de parceria estabelecida com a startup foi baseado em contrato de exclusividade e a coordenação das atividades foi feita por um responsável da empresa C, que atuou como ponto focal para o relacionamento com a startup. O grau de participação dos responsáveis na parceria foi alto, com reuniões frequentes, acompanhamento dos resultados e tomada de decisões estratégicas em conjunto.

Para a empresa C, as características da startup, como a capacidade de inovação e a disposição para colaborar de forma aberta e transparente foram aspectos decisivos para o alcance de resultados de inovação sustentável.

4.2.3.6 – Parceria fracassada na empresa C

A empresa C efetuou uma parceria fracassada com uma indústria de Tecnologia em Química. A indústria de tecnologia em química é uma empresa estabelecida e de grande porte, com ampla expertise em pesquisa e desenvolvimento. No entanto, problemas na comunicação entre as empresas tornaram difícil alcançar os objetivos da parceria.

A formação da aliança com a indústria de tecnologia e química ocorreu com a intenção de aproveitar a experiência e os recursos da empresa parceira para tratar e desenvolver soluções sustentáveis para os resíduos gerados nos laboratórios. Acreditava-se que a parceria poderia trazer benefícios mútuos, combinando conhecimentos técnicos e recursos financeiros.

De acordo com o entrevistado C2,

“a parceria foi desfeita semanas depois do acordo oficial. A indústria parceira trocou o responsável por liderar os projetos de inovação e este queria alterar todo o escopo de trabalho que estava definido. Além disso, barrou o investido de recursos financeiros, o que inviabilizou qualquer possibilidade de trabalharmos juntos.”

A parceria com a indústria de tecnologia em química foi estabelecida por meio de um contato inicial entre as empresas através de um colaborador da

empresa C (gerente de projetos). A parceria chegou a ser formalizada, mas semanas depois foi feito o distrato do contrato estabelecido entre as empresas por descumprimento do contrato. Na visão da empresa C os problemas de comunicação inviabilizaram alcançar os objetivos da parceria: “primeiro assina o contrato e depois muda tudo, isso não nos pareceu profissional e assim encerramos a parceria logo no começo” afirmou o entrevistado C2.

5. Discussão dos resultados

Nessa seção apresentamos as discussões sobre os resultados apresentados na seção anterior e as contribuições deste estudo.

5.1. Fase 1 - aplicação da ADA em 2 etapas

No caso da empresa A, no que diz respeito à safra de 2017 conforme apresentado na Tabela 14, observa-se que a vinhaça possui o maior $V(a)_i = 34,80\%$ (percentual que se mantém para as empresas B e C) e a quantidade relativa (Q_i) representa cerca de 55,62%. Além disso, a vinhaça contribui com uma participação equivalente a 95,48% para o ladaus final da empresa A. No contexto da safra de 2022, a vinhaça mantém a participação relativa no ladaus da empresa A.

No que diz respeito à empresa B e à safra de 2017, conforme evidenciado na Tabela 15, a vinhaça apresenta (Q_i) com aproximadamente 53,75%. Além disso, a contribuição relativa da vinhaça para o ladaus final da empresa B é notável, representando 95,65%. No entanto, para a safra de 2022, a participação relativa da vinhaça no ladaus final da empresa B diminui para 89,64%. Isso ocorre porque a empresa A implementou um tratamento adequado para o resíduo "Gases da queima do bagaço", que tinha uma participação relativa de 0% em 2017 e aumentou para 6,28% em 2022. Esse tratamento contribuiu para reduzir o impacto do índice causado por esse resíduo específico.

No contexto da empresa C e referente à safra de 2017 a vinhaça contribui com uma participação relativa substancial, atingindo 95,58% do ladaus. Entretanto, para a safra de 2022, a participação relativa da vinhaça no ladaus final da empresa C cai para 0%. Esse declínio é responsável por uma diminuição acentuada na avaliação da empresa C no índice ladaus, passando de 93,38% em 2017 para 10,66% em 2022.

Esse declínio significativo na avaliação do índice ladaus pode ser explicado pelo fato de que, durante o período de avaliação da empresa C, a vinhaça estava sendo destinada de maneira inadequada, sendo lançada em águas superficiais. Essa destinação inadequada ocorreu devido a mudanças na estrutura de produção de açúcar e etanol, o que temporariamente impediu o uso

da vinhaça como fertilizante na lavoura, que seria um tratamento ambientalmente adequado. Como resultado, essa destinação inadequada da vinhaça teve um impacto negativo significativo no índice ladaus da empresa C.

É evidente que a vinhaça assume uma posição proeminente, exibindo o maior potencial de toxicidade e contribuindo significativamente para o índice ladaus nas três empresas analisadas. Essa predominância se fundamenta na produção em grande escala da vinhaça e por seu elevado potencial de toxicidade, em parte devido à presença de substâncias como o mercúrio (Hg) que pode afetar a saúde humana e metais que afetam o meio ambiente (Braga et al., 2005).

Entretanto, é importante ressaltar que, após o devido tratamento e preparação, o envio da vinhaça para a lavoura é visto como uma prática adequada. Isso se deve ao fato de a vinhaça conter potássio (K) em sua composição, um nutriente fundamental para ser usado como adubo no cultivo da cana (Gurgel et al., 2015). Embora a vinhaça inicialmente apresente riscos significativos de contaminação, a destinação correta pode mitigar esses impactos ambientais. De acordo com a literatura científica, essa ênfase na vinhaça como o subproduto de maior potencial contaminante e impacto nas empresas estudadas é consistente com as análises que destacam a vinhaça como uma das principais preocupações associadas à produção sucroenergética (Rebelato et al., 2016; Gurgel, 2015; Elia Neto e Nakahodo, 1995; Nogueira; Garcia, 2013).

Observa-se que a torta de filtro é o 2º resíduo com maior $V(a)_i$ nas três empresas analisadas sendo 30,92%. Analisando a empresa A para as safras 2017 e 2022, nota-se que a quantidade relativa (Q_i) de torta de filtro é cerca de 3,79%, contribuindo com 2,66% para a formação do índice ladaus total. Essa participação permanece inalterada nas duas safras. Para a empresa B, na safra 2017, a variável (Q_i) da torta de filtro é cerca de 3,35%, contribuindo com 2,44% da formação do ladaus total. Já na safra 2022, (Q_i) se mantém em cerca de 3,35% dos resíduos e subprodutos, contribuindo com 2,29% para a formação do ladaus total, apresentando pouca variação. No caso da empresa C, na safra 2017, a torta de filtro apresenta (Q_i) com cerca de 3,42%, contribuindo com 2,52% para a formação do ladaus total. Por outro lado, na safra 2022, a quantidade relativa (Q_i) permanece a mesma, mas sua contribuição para o

ladaus total aumenta significativamente para 22,08%, devido à redução da participação da vinhaça. Assim, fica evidente que a torta de filtro possui um impacto substancial nas avaliações de desempenho ambiental das empresas, contribuindo consideravelmente para o índice ladaus total, mesmo que sua participação relativa seja relativamente estável ao longo das safras analisadas.

A torta de filtro é um resíduo que compreende uma variedade de metais em sua composição, e conforme destacado por Martinelli et al. (2014), podem resultar em bioacumulação em animais e plantas, com destaque para o níquel e o cádmio. O cádmio, em particular, demonstra ser tóxico para os seres humanos (Fernandes e Mainier; 2014). Apesar disso, a torta de filtro também é fonte de matéria orgânica. Por meio de processamento adequado e enriquecimento com nutrientes, a torta de filtro pode ser transformada em um composto que se torna viável para uso no plantio de cana-de-açúcar. Essa prática substitui parcialmente a necessidade de fertilizantes minerais. Dessa forma, após ser preparada de maneira adequada, a utilização da torta de filtro na adubação dos solos se torna uma destinação ambientalmente correta, promovendo assim práticas mais sustentáveis na indústria sucroenergética (Gurgel et al., 2015).

As cinzas de queima do bagaço, um terceiro resíduo de considerável peso relativo ($V(a)_i = 26,38\%$), são compartilhadas pelas três empresas estudadas. Ao analisar os dados referentes a quantidade relativa (Q_i) durante as safras de 2017 e 2022, a empresa A apresentou ($Q_i = 2,37\%$), sendo essa contribuição resultante em uma participação de 1,57% na formação do índice ladaus total, mantendo-se constante ao longo dos anos. Na empresa B, em 2017, a quantidade (Q_i) foi cerca de 2,41%, refletindo uma participação de 1,65% no ladaus total. Já para 2022, (Q_i) se manteve em 2,41%, resultando em uma participação de 1,55% no ladaus total, com pouca variação. Na empresa C, em 2017 e 2022, (Q_i) correspondeu a cerca de 2,44%, resultando em uma participação de 1,68% no ladaus total em 2017 e mas, em 2022, sua participação no ladaus total aumenta significativamente para 14,78%, em virtude da redução na participação relativa da vinhaça.

As cinzas originadas da queima do bagaço incorporam elementos químicos, como cromo, mercúrio, chumbo, cádmio e cobre, que possuem o potencial de impactar processos biológicos. Substâncias como o mercúrio e o chumbo podem afetar a saúde dos seres humanos, conforme enfatizado por

Järup e Akesson (2009) e Jaric et al. (2011). Entretanto, submetidas a um procedimento adequado, essas cinzas são direcionadas ao solo agrícola, onde são empregadas como fertilizantes na plantação de cana-de-açúcar, contribuindo para o suprimento nutricional das plantas. Dessa maneira, a disposição final das cinzas resultantes da queima do bagaço nas empresas analisadas é considerada apropriada e vantajosa, desde que aplicada de forma controlada e consciente, fomentando uma produção mais sustentável no setor sucroenergético (Rein, 2017).

Os gases provenientes da queima do bagaço apresentam o 4º maior $V(a)_i = 4,64\%$, comum nas três empresas estudadas, refere-se. Ao analisar os dados para a empresa A, nos períodos de 2017 e 2022, é possível observar que a quantidade (Q_i) é cerca de 18,73%. No entanto, a participação na formação do índice ladaus total é de 0%, o que indica que não houve correção na destinação inadequada desse resíduo, mantendo a situação ambientalmente inadequada. Na empresa B, em 2017, a quantidade foi cerca de 18,88%, resultando em uma participação de 0% no ladaus total. Para 2022, a quantidade permanece a mesma, mas sua participação no ladaus total aumenta para 6,28%, mostrando uma variação positiva. Na empresa C, em 2017, a quantidade (Q_i) corresponde a cerca de 19,53%, resultando em uma participação de 0% no ladaus total. Para 2022, a quantidade (Q_i) permanece a mesma, mas sua participação no ladaus total aumenta significativamente para 61,29%, o que indica um aumento substancial, principalmente devido à redução na participação relativa da vinhaça.

Os gases provenientes da queima do bagaço são compostos por CO, CO₂ e NO_x. O NO_x pode prejudicar o sistema respiratório, sendo assim potencialmente prejudicial aos seres humanos, conforme destacado por Masum et al. (2013). O gás CO₂, por sua vez, causa o efeito estufa, como discutido por Fitzpatrick e Dooley (2017). No entanto, as empresas avaliadas liberavam esses gases sem realizar tratamento prévio ao ambiente. Essa liberação inadequada foi avaliada com $k_i = 0$, indicando que o resíduo gases provenientes da queima do bagaço não contribuiu para a formação do índice ladaus das empresas em estudo. Entretanto, na safra de 2022, as empresas B e C implementaram tratamentos prévios para os gases, o que tornou sua destinação adequada, e, portanto, atribuíram $k_i = 1$. Esse resultado reflete uma iniciativa positiva em

relação ao tratamento de resíduos antes da emissão atmosférica, contribuindo para a redução do impacto ambiental e da toxicidade (Masum et al., 2013).

Dessa forma, a vinhaça, a torta de filtro, as cinzas da queima do bagaço e os gases provenientes da queima do bagaço somados resultam em aproximadamente 96,74% do V(ai) que compõem o potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade.

É relevante observar que a empresa A apresentou, tanto em 2017 quanto em 2022, 2 resíduos com disposições ambientalmente inadequadas: efluente gasoso das dornas de fermentação e gases provenientes da queima do bagaço. Essa atribuição ocorreu devido à prática da empresa de emitir esses resíduos diretamente na atmosfera. Embora tal prática seja legalmente aceita, considera-se ambientalmente inadequada. Em 2022, a empresa A também passou a destinar inadequadamente os resíduos lâmpadas queimadas e pilhas e baterias, devido ao processo de contratação de uma empresa licenciada para realizar o recolhimento desses materiais.

A empresa B apresentou em 2017 apenas 3 resíduos com disposições inadequadas: os efluentes gasoso e de lavagem das dornas e os gases da queima do bagaço. No entanto, em 2022, a empresa B adotou um processo de filtragem para a destinação adequada dos gases provenientes da queima do bagaço, indicando uma melhoria na gestão dos resíduos.

A empresa C, por sua vez, apresentou em 2017 4 resíduos com disposições inadequadas: efluentes gasoso e de lavagem das dornas de fermentação, gases da queima do bagaço e efluente de lavagem dos pisos e equipamentos. Em 2022, houve uma mudança positiva, uma vez que a empresa C passou a destinar adequadamente os gases da queima do bagaço por meio de um processo de filtragem. Além disso, os efluentes de lavagem das dornas e efluente de lavagem dos pisos e equipamentos foram reutilizados no processo industrial, demonstrando um esforço em direção à redução do impacto ambiental desses resíduos. A vinhaça, embora seja o resíduo com maior peso relativo e impacto, apresentou uma destinação ambientalmente inadequada em determinados momentos, devido a mudanças na estrutura de produção do açúcar e do etanol. Isso impediu temporariamente que a vinhaça fosse direcionada para a lavoura, que seria uma destinação mais adequada, e resultou em seu direcionamento para águas superficiais, o que é considerado

inadequado. Essa situação impactou negativamente a avaliação da empresa C no índice Iadaus.

A análise dos resultados constantes nas Tabelas 14, 15, 16, 21, 22 e 23 permite checar que a maioria dos demais R/S gerados possuem baixa participação no V(a)_i e, conseqüentemente, uma baixa contribuição para a formação do índice Iadaus.

No entanto, é importante destacar alguns resíduos com menor V(a)_i como o melaço, a levedura, os efluentes de lavagem das dornas e as lâmpadas queimadas. Embora esses resíduos possuam uma participação relativamente baixa no índice Iadaus, eles podem representar potenciais poluidores se forem dispostos inadequadamente. Devido ao teor de mercúrio (Hg) presente em alguns desses resíduos, que pode causar impactos adversos, apresentam potencial de risco aos seres humanos e ambiente (Lenzi, 2009; Durão Junior, 2008).

Com base nos resultados obtidos, o cálculo do Índice Iadaus, baseado na toxicidade humana e ecotoxicidade, foi realizado para as empresas estudadas em 2017, fornecendo os seguintes valores:

- ✓ Empresa A: Iadaus de 93,98% (93,98% dos R/S gerados possuem descarte ambiental correto).
- ✓ Empresa B: Iadaus de 93,63% (93,63% dos R/S gerados possuem descarte ambiental correto).
- ✓ Empresa C: Iadaus de 93,38% (93,38% dos R/S gerados possuem descarte ambiental correto).

Em 2022, os valores do Índice Iadaus foram os seguintes:

- ✓ Empresa A: Iadaus de 93,96% (leve variação negativa em relação a 2017).
- ✓ Empresa B: Iadaus de 99,91% (significativa variação positiva em relação a 2017).
- ✓ Empresa C: Iadaus de 10,66% (grande variação negativa em relação a 2017, devido à queda na destinação adequada da vinhaça).

Apesar das diferenças nos resíduos com descartes inadequados entre as empresas estudadas, observa-se que em 2017 havia uma certa proximidade nos

valores do Índice Iadaus. Isso ocorre devido à disposição correta para a vinhaça, que é o resíduo de maior impacto na formação desse índice. Já em 2022, a queda no índice da empresa C se deve principalmente à destinação inadequada da vinhaça, que teve um impacto significativo na avaliação ambiental.

5.2. Fase 2 – o impacto da ADA na inovação sustentável dos casos

Os investimentos em inovações sustentáveis nas empresas estudadas foram motivados por diferentes fatores: pela estratégia de diminuição dos custos de produção, pela redução do impacto ambiental, pelo impacto positivo no desenvolvimento econômico da empresa, para cumprir as exigências legais, entre outros (Kemp et al, 2000, Lee, Hooley , 2005, Yoon, Tello, 2009). Em busca de inovação para terem processos menos impactantes ao meio ambiente, as empresas estudadas passaram a adotar processos de produção mais limpa em todas as etapas do sistema produtivo.

A produção mais limpa é uma abordagem que se baseia na aplicação contínua de uma estratégia integrada, envolvendo aspectos econômicos, ambientais e tecnológicos, nos processos e produtos de uma empresa. O objetivo é aumentar a eficiência na utilização de matérias-primas, água e energia, por meio da redução ou eliminação da geração de resíduos, minimização de impactos ambientais e a promoção da reciclagem de materiais, sempre visando a melhoria da sustentabilidade (Jabbour et al, 2015).

No contexto da indústria sucroenergética, a produção mais limpa é particularmente relevante. Durante o processamento industrial das usinas, várias etapas ao longo da cadeia produtiva, se não forem gerenciadas de maneira adequada, podem resultar em impactos ambientais indesejados, especialmente relacionados ao solo, água e atmosfera. Isso ocorre devido à grande quantidade de subprodutos e resíduos gerados durante a produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar.

Dessa forma, o Quadro 10 apresenta os resíduos/subprodutos que foram identificados como alvos de inovação sustentável nas empresas estudadas.

Quadro 10 – Alvos de inovação sustentável após aplicação da ADA nas empresas selecionadas

Alvos de inovação sustentável	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Vinhaça	✓	✓	✓
Torta de filtro	✓	✓	✓
Cinzas da queima do bagaço	✓	✓	✓
Lâmpadas queimadas	✓	✓	✓
Gases provenientes da queima do bagaço	✓	✓	✓
Efluente gasoso das dornas	✓	✓	✓
Efluente lavagem das dornas		✓	✓
Sucatas Metálicas	✓	✓	✓
Levedura	✓		
Melaço	✓	✓	✓
Pilhas e Baterias	✓	✓	
Efluente tratamento dos gases de combustão		✓	✓
Resíduos dos Laboratórios	✓	✓	✓
Flegmaça	✓	✓	
Óleos Lubrificantes da fábrica	✓		✓
Óleo Fúsel	✓	✓	✓
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos			✓

Fonte: Elaborado pelo autor.

A busca por práticas empresariais mais sustentáveis é uma das prioridades em um mundo cada vez mais consciente dos impactos ambientais e sociais de suas ações. No contexto empresarial, é crucial reconhecer que dos resíduos/subprodutos identificados como alvos de inovação sustentável alguns apresentam benefícios e outros deles podem acarretar riscos e impactos negativos ao ambiente.

As inovações sustentáveis desenvolvidas após a aplicação da ADA, estão apresentadas no Quadro 9, de forma agregada para as 3 empresas objeto de estudo. O Quadro 9 apresenta o resíduo/subproduto, o tipo de inovação sustentável realizada e a descrição da inovação sustentável que foi desenvolvida após a aplicação da ADA.

As empresas estudadas alcançaram resultados significativos em diferentes tipos de inovação sustentável: processo, produto, serviços, organizacional e gestão, o que é esperado quando uma organização se propõe a inovar (Boons, 2013, Carrillo, Hermosilla et al 2009, OECD, 2005, Yoon e Tello, 2009).

Quadro 11 – Inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA

RESÍDUO SUBPRODUTO	TIPO DE INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL	DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL
Vinhaça	Processo Serviços Organizacional Gestão	Utilização como fertilizante orgânico na agricultura, devido ao seu teor de nutrientes. (Empresa A, B, C) Implementação de parcerias com agricultores locais para utilizar a vinhaça como fertilizante orgânico. (Empresa C) Implementação de um serviço de consultoria para auxiliar agricultores locais na utilização da vinhaça como fertilizante orgânico de forma eficiente e sustentável. (Empresa C) Processamento para produção de biogás, que pode ser usado como fonte de energia renovável. (Empresa B) Desenvolvimento de um sistema de monitoramento da vinhaça, permitindo otimizar sua aplicação na agricultura e minimizar desperdícios. (Empresa A)
Torta de filtro	Produto Processo Gestão	Utilização como alimento animal, ração adequada e segura para os animais. (Empresa A) Transformação em adubo orgânico ou compostagem para uso na agricultura. (Empresa B) Estabelecimento de parcerias com empresas de compostagem para a gestão adequada da torta de filtro e a produção de adubo orgânico de qualidade. (Empresa C)
Cinzas da queima do bagaço	Produto Processo	Incorporação em materiais de construção, como tijolos ou blocos ecológicos. (Empresa A) Uso na agricultura como corretivo de solo ou como fonte de nutrientes. (Empresa A) Queima das cinzas (Empresa B) Recuperação de materiais valiosos. (Empresa C)
Lâmpadas queimadas	Processo Organizacional	Reciclagem das lâmpadas, separando os materiais e tratando-os adequadamente. (Empresa B, C) Substituição por lâmpadas de LED de maior eficiência energética e durabilidade. (Empresa B, C)
Gases provenientes da queima do bagaço	Processo Equipamentos	Processo de lavagem para retenção de partículas. (Empresa B) Implementação de tecnologias de controle de emissões, captura e armazenamento de carbono para reduzir os impactos ambientais. (Empresa B, C)
Efluente gasoso das fornos	Processo Organizacional	Instalação de sistemas de tratamento para reduzir a emissão de gases poluentes. (Empresa B) Utilização de tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) para reduzir as emissões de dióxido de carbono. (Empresa C) Criação de políticas internas para garantir o monitoramento e controle adequado dos efluentes gasosos. (Empresa A)
Efluente lavagem das fornos	Processo Organizacional Serviços Gestão	Implementação de sistemas de tratamento de águas residuais para remover contaminantes antes do descarte. (Empresa B) Reutilização da água tratada em outras etapas do processo, reduzindo a demanda de água fresca. (Empresa B) Desenvolvimento de um plano de gestão integrada de águas residuais, incluindo a criação de metas e indicadores de desempenho para a redução do volume e da carga poluente do efluente. (Empresa C)
Sucatas Metálicas	Processo Gestão Organizacional	Reciclagem das sucatas metálicas para a produção de novos produtos em parcerias. (Empresa C) Implementação de processos de remanufatura ou recondicionamento para prolongar a vida útil dos metais. (Empresa B) Estabelecimento de parcerias com empresas de reciclagem para garantir o destino adequado das sucatas metálicas (Empresa B) Implementação de um sistema de rastreamento e gestão das sucatas metálicas, desde a sua origem até o destino final, garantindo a transparência e conformidade com regulamentações ambientais. (Empresa A)
Levedura	Produto Processo	Utilização como ingrediente na produção de alimentos para animais e produtos vegetarianos e veganos. (Empresa A) Processamento para produção de bioplásticos ou biocombustíveis. (Empresa A) Implementação de um sistema de recuperação de energia durante o processo de produção de levedura. (Empresa A)
Melaço	Produto Processo	Utilização na produção de alimentos, bebidas ou produtos fermentados, utilizando o melaço como substituto de ingredientes menos sustentáveis. (Empresa B, C) Processamento para produção de biofertilizantes e bioplásticos. (Empresa A)
Pilhas e Baterias	Organizacional Processo	Implementação de programas de coleta e reciclagem de pilhas e baterias. (Empresa B) Parcerias para pesquisa e desenvolvimento de baterias mais sustentáveis e de longa duração. (Empresa C)

Efluente tratamento dos gases de combustão	Organizacional Processo	Implementação de sistemas de tratamento de efluentes gasosos para reduzir as emissões de poluentes atmosféricos. (Empresa B) Uso de tecnologias de recuperação de energia dos gases de combustão. Implementação de medidas de monitoramento e controle para garantir a eficiência do tratamento dos gases de combustão. (Empresa C)
Resíduos dos Laboratórios	Organizacional Processo Gestão	Implementação de programas de gerenciamento de resíduos laboratoriais, separando substâncias perigosas e encaminhando-as para tratamento adequado. (Empresa B, C) Uso de tecnologias de reciclagem ou reutilização de materiais de laboratório. (Empresa A) Implementação de um sistema de gestão de resíduos laboratoriais baseado em boas práticas, incluindo treinamentos, protocolos e monitoramento para garantir a minimização de resíduos e o cumprimento de normas ambientais. (Empresa B, C)
Flegmaça	Organizacional e Processo	Implementação de sistemas de filtragem e purificação para reduzir a emissão de partículas finas e poluentes atmosféricos. (Empresa A) Implementação de práticas de controle e monitoramento contínuos das emissões da flegmaça. (Empresa B)
Óleos Lubrificantes da fábrica	Organizacional e Produto	Implementação de programas de coleta e reciclagem de óleos lubrificantes usados. (Empresa C) Uso de óleos lubrificantes biodegradáveis e de base vegetal. (Empresa A)
Óleo Fúsel	Produto e Processo	Utilização na produção de biodiesel. (Empresa C) Processamento para produção de produtos químicos de valor agregado. (Empresa B) Sistema de geração de Biogás. (Empresa A)
Efluente lavagem dos pisos e equipamentos	Organizacional e Processo	Implementação de sistemas de tratamento de águas residuais para remover contaminantes antes do descarte. (Empresa C) Reutilização da água tratada na limpeza de pisos e equipamentos, reduzindo a demanda de água fresca. (Empresa C)

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação à inovação de processo, foram implementadas diversas melhorias nas operações, otimizando fluxos de trabalho, reduzindo o consumo de recursos naturais e minimizando resíduos. Houve a criação de novos processos, processos foram aprimorados envolvendo a utilização de técnicas, equipamentos que trouxeram benefícios às empresas (OECD, 2018; Adams, 2016; Bigliardi, 2022). Os gases provenientes da queima do bagaço foram direcionados a um processo de lavagem para retenção de partículas na empresa B e foram implementadas tecnologias de controle de emissões, captura e armazenamento de carbono para reduzir os impactos ambientais nas empresas B e C gerando uma redução de 35.000 tCO₂ na empresa B e 48.000 tCO₂ na empresa C por ano. Já para o efluente lavagem das dornas, houve a implementação de sistemas de tratamento de águas residuais para remover contaminantes antes do descarte e a reutilização da água tratada em outras etapas do processo, reduzindo a demanda de água fresca empresa B o que gerou uma redução de 3 milhões de m³ na captação de água na safra 2021/2022.

No âmbito da inovação organizacional, foram implementadas mudanças estruturais e culturais para promover a inovação sustentável em diversos níveis da organização (Vasconelos, 2001; OECD, 2018). Na empresa B, foram estabelecidas equipes e comitês dedicados à inovação sustentável, incentivando

a participação ativa de colaboradores de nível estratégico no desenvolvimento de soluções inovadoras. Além disso, “promovemos treinamentos e programas de capacitação para disseminar conhecimentos sobre práticas sustentáveis e engajar nossos funcionários nessa importante jornada” completou o entrevistado B2. Na empresa A houve a implementação de um sistema de rastreamento e gestão das sucatas metálicas, desde a sua origem até o destino final, garantindo a transparência e conformidade com regulamentações ambientais.

A inovação de serviços desenvolvida pela empresa C se deu com a implementação de um serviço de consultoria para auxiliar agricultores locais na utilização da vinhaça como fertilizante orgânico de forma eficiente e sustentável, ou seja, houve a criação de um novo serviço para atender a um stakeholder (OECD, 2018, Kotler, 2012).

No que diz respeito à inovação de gestão, observamos mudanças que corroboram com o aprimoramento do desempenho organizacional (Hamel, Breen, 2007; Bocken, 2014; Ritala, 2018). Na empresa A, houve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento da vinhaça, permitindo otimizar sua aplicação na agricultura e minimizar desperdícios. Na empresa C houve o desenvolvimento de um plano de gestão integrada de águas residuais, incluindo a criação de metas e indicadores de desempenho para a redução do volume e da carga poluente do efluente de lavagem das dornas. Nas empresas B e C houve a implementação de um sistema de gestão de resíduos laboratoriais baseado em boas práticas, incluindo treinamentos, protocolos e monitoramento para garantir a minimização de resíduos e o cumprimento de normas ambientais.

No campo da inovação de produto, houve a introdução de novos produtos e melhorias de produtos existentes (OECD, 2018; Adams, 2016). Na empresa B, houve o processamento da vinhaça para produção de biogás, que pode ser usado como fonte de energia renovável. Na empresa A, as cinzas da queima do bagaço foram usadas na incorporação em materiais de construção, como tijolos ou blocos ecológicos. Já a Levedura teve sua utilização como ingrediente na produção de alimentos para animais e produtos vegetarianos e veganos além de ser direcionada para produção de bioplásticos e biocombustíveis. Nas empresas B e C o melaço foi direcionado para indústrias do setor alimentício e de cosméticos, através de parcerias, para a produção de alimentos, bebidas ou produtos fermentados, que utilizam o melaço como substituto de ingredientes menos

sustentáveis. Além disso, também foram gerados cosméticos naturais e adoçantes saudáveis.

Para promover a inovação sustentável, as empresas estabeleceram diversas parcerias com universidades, startups, concorrentes e centros de pesquisa. Essas colaborações foram importantes para trazer novas ideias, conhecimentos e tecnologias externas. No entanto, as empresas também se destacaram por desenvolverem muitas inovações internamente, aproveitando seus recursos e expertise para impulsionar a criação e implementação de soluções inovadoras. A combinação entre a colaboração externa e a capacidade interna de inovar permitiu que as empresas alcançassem resultados significativos em diferentes áreas. A análise das parcerias para o desenvolvimento de inovação sustentável está apresentada na subseção 5.2.5.

5.2.1. – avaliação dos fatores de estímulo ao desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA

Os entrevistados apresentaram diversos motivos que levaram as empresas estudadas a buscarem por soluções inovadoras. Foram citados pelos entrevistados: i) a preocupação com os impactos negativos das atividades produtivas, ii) buscar uma redução de custos e maior eficiência operacional, iii) busca por vantagem competitiva, iv) melhorar a imagem e reputação corporativa v) a pressão regulatória e vi) mudança nos valores e expectativas dos consumidores (Ginsburg; Bloom, 2004; Lee, Hooley, 2005; Yoon; Tello, 2009; Kemp; Smith; Becher, 2000).

Essas motivações combinadas refletem um aumento na conscientização sobre a relevância da sustentabilidade e os benefícios associados à adoção de práticas mais sustentáveis. O desejo de reduzir o impacto ambiental, cumprir regulamentações, atrair clientes e obter vantagens são motivos-chave que impulsionaram o desenvolvimento de projetos de inovação sustentável nas empresas estudadas.

Outros fatores que estimularam e deram suporte para o desenvolvimento de inovação sustentável foram os procedimentos internos citados pelos entrevistados. Estes procedimentos internos são práticas inovadoras que foram

criadas ou aperfeiçoadas após a 1ª aplicação da ADA para dar suporte e apoio à tomada de decisão no desenvolvimento das inovações sustentáveis.

A autoavaliação das empresas trouxe clareza para analisarem criticamente suas atividades produtivas, o impacto negativo dos resíduos e subprodutos, a vulnerabilidade da empresa em relação à possibilidade desses impactos negativos acontecerem.

A estratégia de marketing que foi desenvolvida após a aplicação da ADA visa trazer mais visibilidade às ações sustentáveis das empresas. A empresa B que não apresentou uma estratégia de marketing durante o estudo afirmou que demonstra suas atividades sustentáveis através do site institucional, com relatórios e informativos disponibilizados anualmente desde 2019, mas reconhecem que necessitam melhorar o marketing para alcançar novos mercados (OECD, 2018).

O programa de melhorias da eficiência das operações internas foi implementado pela empresa A após aplicação da ADA, traz análises detalhadas e monitoramento em tempo real das operações industriais, e segundo o entrevistado A1 a otimização dos recursos utilizados trouxe ganhos na eficiência operacional de 5% na safra 2021/2022.

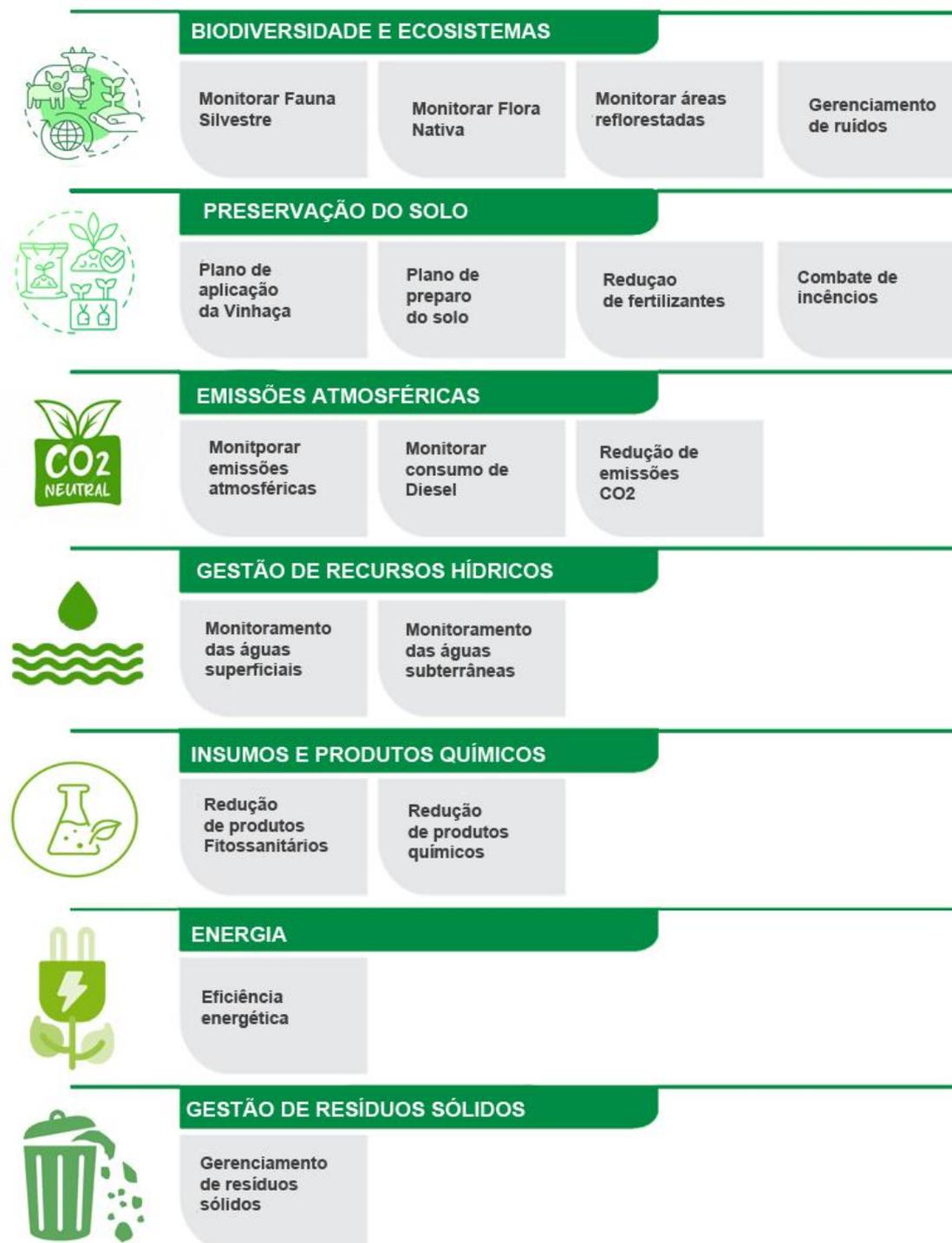
O controle de qualidade ambiental foi aperfeiçoado após aplicação da ADA e foi utilizado para apoiar as inovações sustentáveis que atendem às pressões regulamentais que as empresas sofrem. Além disso, o controle de qualidade ambiental permitiu mensurar e controlar o impacto das emissões dos resíduos e subprodutos. A empresa B deu um passo além e implantou uma auditoria interna e externa estabelecida para avaliar e monitorar o desempenho da empresa em relação às práticas de inovação sustentável. As auditorias promovem clareza na prestação de contas da empresa em relação à sua performance ambiental e social, fato este que poderia ser mais bem explorado pelo marketing da empresa B.

Outro ponto relevante é que a empresa B adota uma abordagem de gestão da qualidade ambiental total. Isso significa que busca melhorias contínuas em todas as etapas da produção, visando reduzir nosso impacto ambiental. Além disso, possui a Certificação ISO 14001: “com muito orgulho, informo que nossa usina possui a Certificação ISO 14001. Essa certificação reconhece nosso compromisso com a gestão ambiental e com a conformidade

com os padrões internacionais”, afirmou o entrevistado B2. A Figura 11 apresenta os programas de gestão ambiental da empresa B, desenvolvidos em alinhamento com a Certificação ISO 14001.

A empresa A não realiza auditorias ambientais regularmente como parte de suas práticas de gestão. No entanto, “a auditoria ambiental é vista como uma ferramenta importante e que será adotada em breve pela empresa”, afirmou o entrevistado A1. A empresa C está em etapa final de implantação de auditoria ambiental para avaliar o desempenho ambiental, identificar áreas de melhoria e garantir a conformidade com os regulamentos ambientais e assim conseguir a Certificação ISO 14001.

Figura 8 - Programas de gestão ambiental empresa B



Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.2 – avaliação do impacto da implantação da ADA na inovação sustentável

O Quadro 12 apresenta de modo agregado para as 3 empresas, os resíduos e subprodutos, os tipos de inovação sustentável alcançados após aplicação da ADA e se a inovação foi estimulada pela ADA, parcialmente estimulada ou não foi estimulada pela ADA de acordo com os entrevistados.

Quadro 12 - Tipos de inovação sustentável e estímulo da ADA

Resíduo / subprodutos	Processo	Produto	Serviços	Organizacional	Gestão	Estimulada pela ADA	Parcialmente estimulada	Não foi estimulada
Vinhaça	✓		✓	✓	✓	✓		
Torta de filtro	✓	✓			✓	✓		
Cinzas da queima do bagaço	✓	✓				✓		
Lâmpadas queimadas	✓			✓				✓
Gases da queima do bagaço	✓					✓		
Efluente gasoso das dornas	✓			✓			✓	
Efluente lavagem das dornas	✓		✓	✓	✓	✓		
Sucatas Metálicas	✓			✓	✓			✓
Levedura	✓	✓					✓	
Melaço	✓	✓					✓	
Pilhas e Baterias	✓			✓				✓
Efluente tratamento dos gases combustão	✓			✓				✓
Resíduos de Laboratórios	✓			✓	✓	✓		
Flegmaça	✓			✓		✓		
Óleos Lubrificantes da fábrica		✓		✓			✓	
Óleo Fúsel	✓	✓					✓	
Efluente lavagem dos pisos	✓			✓				✓

Fonte: elaborado pelo autor

A análise do Quadro 12 é fundamental para compreender a relação entre a ADA e os avanços em inovação sustentável. A presença de resultados significativos em diferentes tipos de inovação sustentável (processo, produto, serviços, organizacional e gestão) é um indicador positivo e alinhado com as expectativas ao se propor a inovar. A literatura citada (Boons et al 2013; OECD, 2018; Yoon e Tello, 2009) ressalta que empresas engajadas em processos de

inovação voltados para a sustentabilidade tendem a abordar múltiplas dimensões do negócio, buscando reduzir impactos ambientais e melhorar a eficiência operacional.

A presença de inovações sustentáveis alcançadas após a aplicação da ADA demonstra a relevância e efetividade dessa abordagem. A ADA é uma ferramenta que se mostrou valiosa para medir a performance ambiental das empresas, identificando áreas de melhoria e oportunidades para aprimorar a sustentabilidade dos processos e produtos. Os resultados do quadro indicam que a aplicação da ADA tem sido uma fonte importante de estímulo para as inovações sustentáveis nas empresas estudadas.

A análise do quadro mostra que algumas inovações foram completamente estimuladas pela ADA, enquanto outras foram parcialmente estimuladas ou não estimuladas pela avaliação ambiental. Essa variação indica diferentes níveis de integração da sustentabilidade na cultura e práticas das empresas. Embora boa parte das inovações tenha sido estimulada pela ADA, a presença de inovações parcialmente ou não estimuladas sugere que sempre há espaço para aprimorar a relação entre avaliação ambiental e inovação sustentável. Ao identificar as razões por trás dessas lacunas, as empresas podem aprender com suas experiências e implementar estratégias mais eficazes para avançar em sua jornada rumo à sustentabilidade.

Na empresa A houve o reconhecimento da importância de adotar práticas mais responsáveis do ponto de vista ambiental e atender aos requisitos legais e regulatórios. “A ADA nos ajudou a identificar lacunas e áreas de melhoria em nosso desempenho ambiental, incentivando-nos a buscar soluções inovadoras e sustentáveis” afirmou o entrevistado A1. Para o entrevistado B2, foi nítida a importância de alinhar as práticas operacionais com as regulamentações ambientais e os desafios globais de sustentabilidade: “isso nos incentivou a adotar uma abordagem mais proativa em relação à gestão ambiental, priorizando a inovação sustentável como um pilar estratégico de nossos negócios”. O entrevistado C2 reconheceu a importância de integrar práticas ambientalmente responsáveis nas operações e de cumprir as regulamentações ambientais. No entanto, nos relatou que “embora tenhamos feito esforços significativos, ainda não alcançamos plenamente os objetivos estabelecidos. A transição para uma mentalidade de inovação é um processo para aprimorar ao longo do tempo”.

Foi consenso entre os entrevistados que a aplicação da ADA destacou os impactos prejudiciais ao meio ambiente atribuídos aos resíduos e às etapas do sistema produtivo. Para o entrevistado A1,

“Essa conscientização nos levou a buscar melhorias e desenvolver soluções para enfrentar esses desafios ambientais. Investimos em pesquisa em busca de soluções mais eficientes e limpas para a produção. Conseguimos melhorar o uso de recursos e reduzir alguns desperdícios.”

Já o entrevistado B2 destacou que para desenvolver a inovação sustentável, “estabelecemos parcerias com especialistas externos, como universidades e instituições de pesquisa, para buscar conhecimentos que nos faltam”. Na empresa C foram implementadas medidas para otimizar a eficiência energética, para redução do consumo de recursos naturais e reduzir os impactos ambientais das operações. “Investimos em pesquisa e desenvolvimento pensando não apenas no retorno financeiro, mas em melhorar as questões ambientais também” afirmou o entrevistado C2.

As empresas buscaram alavancar a inovação sustentável após aplicação da ADA por meio de uma série de iniciativas estratégicas: i) promover a conscientização e a educação sobre questões ambientais entre os colaboradores, investindo em treinamentos e capacitações; ii) estabelecer metas ambiciosas de sustentabilidade e monitorar regularmente o desempenho em relação a essas metas; iii) incentivar a colaboração com parceiros externos, como universidades e institutos de pesquisa, para impulsionar a inovação sustentável por meio de parcerias estratégicas e, iv) integrar práticas e políticas de sustentabilidade em todos os níveis da organização.

Para os entrevistados, a aplicação da ADA foi um importante ponto de partida para o desenvolvimento da inovação sustentável nas empresas. Para o entrevistado A1, “ter conhecimento de nosso desempenho ambiental, saber pontos de melhoria e as áreas com maior risco, nos ajudou a direcionar nossos esforços de inovação para os aspectos mais críticos e urgentes”.

Já a perspectiva do entrevistado B2 foi de que, “a avaliação (ADA) nos ajudou a estabelecer prioridades claras, ver onde há maior risco e atender as regulamentações ambientais para nosso setor”. Para o entrevistado C2, “a ferramenta (ADA) nos forneceu um ponto de partida para compreender a

importância de considerar fatores ambientais em nossa empresa com mais atenção”.

5.2.3 – Benefícios nos aspectos ambiental, social e econômico do desenvolvimento de inovações sustentáveis após aplicação da ADA

O desenvolvimento de inovações sustentáveis trouxe uma série de benefícios nos aspectos ambiental, social e econômico. O Quadro 13 sintetiza os principais benefícios evidenciados nas empresas estudadas.

Além dos benefícios apresentados no Quadro 13, na empresa A houve a redução na captação de água de 29 milhões de m³ na safra 2019/2020 para 23 milhões de m³ na safra 2020;2021. Na empresa B houve a redução de 15% na captação de água referente ao período de 2017 a 2022. Na empresa C houve 74% de reciclagem/reuso da água referente ao período de 2019 a 2022. Nas demonstrações contábeis evidenciamos um aumento em P&D referente ao período 2021 a 2022 de: empresa A aumento de 5%, empresa B aumento de 3,5% e empresa C aumento de 6,2%.

Esses benefícios evidenciam a importância e o valor da inovação sustentável, pois ela não apenas contribui para a proteção do meio ambiente, mas também traz vantagens sociais e econômicas significativas. As empresas estudadas passaram por uma transformação significativa ao adotar uma abordagem de inovação sustentável em seu negócio. Reconhecendo a importância de considerar os fatores ambientais, sociais e econômicos em suas operações, buscaram constantemente melhorias em várias áreas-chave.

Quadro 13 – Benefícios ambientais, sociais e econômicos evidenciados pela pesquisa nas empresas desse estudo

Benefícios Ambientais, Sociais e Econômicos	
Benefícios Ambientais	
Benefício	Descrição
Redução do impacto ambiental	As inovações sustentáveis contribuíram para a redução do consumo de recursos naturais, minimização de resíduos e emissões, preservação da biodiversidade e mitigação das mudanças climáticas.
Conservação dos ecossistemas	A implementação de práticas sustentáveis ajudou a preservar ecossistemas naturais, como a redução da poluição de solos, água e ar, bem como a proteção de habitats naturais locais.
Benefícios Sociais	
Saúde e Segurança	As inovações sustentáveis resultaram em ambientes mais seguros e saudáveis para os trabalhadores e comunidades locais, reduzindo a exposição à substâncias tóxicas e melhorando a qualidade do ar, água e solo.
Capacitação	Houve a implementação de treinamentos, capacitação e conscientização referente às questões ambientais.
Envolvimento Comunitário	A implementação de práticas sustentáveis envolveu a participação da comunidade local, promovendo a conscientização, a educação ambiental e o engajamento em ações sustentáveis.
Benefícios Econômicos	
Eficiência de recursos	As inovações sustentáveis, muitas vezes, estão associadas a práticas mais eficientes de usos de recursos, o que resultou em redução de custos operacionais e maior eficiência na produção.
Acesso a novos mercados	Produtos e serviços com foco na sustentabilidade abriram oportunidades em novos mercados. Os consumidores valorizam práticas responsáveis.
Resiliência empresarial	A adoção de práticas sustentáveis aumentou a resiliência das empresas a riscos ambientais e regulatórios, além de melhorar sua reputação e imagem junto aos <i>stakeholders</i> .

Fonte: elaborado pelo autor.

5.2.4 – Avaliação do comportamento das empresas para desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA

A jornada em direção à inovação sustentável tem sido desafiadora para as empresas. Apesar de demonstrarem algumas dificuldades, permanecem empenhadas em continuar buscando melhorias e identificando novas oportunidades para inovar de forma sustentável: “acreditamos que, por meio das melhorias na indústria, podemos criar um impacto positivo e duradouro, não apenas em nosso negócio, mas também no meio ambiente” afirmou o entrevistado C2.

Após aplicação da ADA, as empresas apresentaram diferentes comportamentos para o desenvolvimento de inovação sustentável. Inicialmente, notamos um comportamento resistente, em que ignoravam os fatores ambientais em suas operações apresentados na ADA. Isso os limitava e impedia de perceber as oportunidades de melhoria que poderiam resultar em benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a empresa. A interação com parceiros também era muito baixa, o que dificultava o acesso a conhecimentos externos e recursos valiosos que poderiam impulsionar nossas iniciativas sustentáveis. (Cillo et al, 2019; Johanna Klewitz, Erik G. Hansen, 2014)

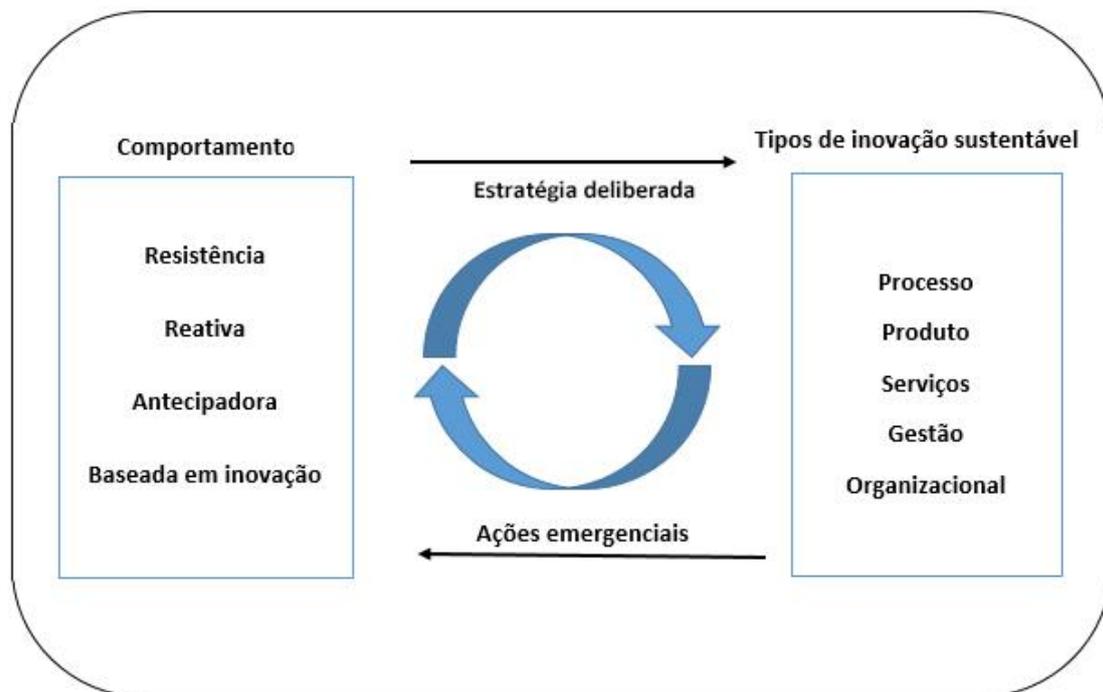
Conforme progrediam, passavam a adotar um comportamento reativo ou tinham uma abordagem antecipadora, ou seja, faziam uma ação (reativa) ou outra (antecipadora). Quando começavam a reconhecer que os fatores ambientais e sociais causavam custos significativos para a empresa, essa conscientização os levavam a tomar ações para mitigar esses impactos negativos e reduzir os custos associados. À medida que avançavam, consideravam ativamente os fatores sociais e ambientais para a redução de custos e a promoção da sustentabilidade. Embora a interação com parceiros ainda fosse baixa, começaram a reconhecer a importância de envolvê-los em algumas iniciativas. Essa abordagem permitiu que identificassem oportunidades de melhoria e inovação sustentável em seus processos e produtos (Cillo et al, 2019; Johanna Klewitz, Erik G. Hansen, 2014). Estes comportamentos reativos ou antecipadores são muito presentes nas empresas B e C.

Posteriormente, passaram a adotar um comportamento baseado em inovação sustentável, reconhecendo que os fatores ambientais e sociais contribuem diretamente para o sucesso da empresa. Essa abordagem resultou em um conjunto significativo de inovações sustentáveis, incluindo o lançamento de novos produtos e serviços, redução de custos operacionais e melhorias na eficiência de nossos processos (Cillo et al, 2019; Johanna Klewitz, Erik G. Hansen, 2014). Este comportamento é mais presente na empresa A, apesar de que também apresenta comportamento reativo/antecipador.

A Figura 12 sintetiza os diferentes comportamentos das empresas em busca de inovação sustentável. A figura mostra que as empresas apresentam comportamento de: resistência, reatividade, antecipadora ou baseada em inovação. Mediante esses comportamentos as empresas podem apresentar uma

estratégia deliberada em busca da inovação sustentável, ou seja, desenvolvem de forma antecipada uma estratégia direcionada a se realizar um determinado tipo de inovação sustentável. Outro ponto é que a inovação sustentável pode surgir de ações emergenciais mediante um comportamento de resistência, reativo ou antecipador por parte das empresas. Isso quer dizer que a empresa desenvolve inovação como uma ação emergencial para cumprir algum objetivo, por exemplo: i) comportamento reativo, a empresa reagiu para melhorar algum ponto negativo como regularizar alguma questão ambiental; ii) antecipadora, a empresa identificou algum ponto de risco e se antecipou desenvolvendo a inovação. A abordagem baseada em inovação sustentável pode levar ao desenvolvimento de inovação sustentável através de uma estratégia deliberada, em busca de alcançar resultados positivos e benefícios significativos em termos ambientais, sociais e econômicos (Klewitz, Hansen, 2014; Cillo et al, 2019; Hansen, 2009).

Figura 9 - Comportamentos para desenvolvimento de inovação sustentável



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.5 - Avaliação das parcerias para o desenvolvimento de inovações sustentáveis desenvolvidas após aplicação da ADA

A presente seção aborda a avaliação dos resultados das parcerias realizadas pelas 3 empresas do setor sucroenergético, focando especialmente a relação entre a aplicação da ADA e os desdobramentos das colaborações para a inovação sustentável.

Um ponto interessante a destacar é sobre a experiência das empresas estudadas em relação às parcerias. Poderíamos ter dados para analisar a experiência dos parceiros através do cálculo do número médio de alianças que os parceiros já haviam formado antes da aliança atual (Hoang e Rothaermel, 2005). Curiosamente, as empresas A, B e C não relataram muitas parcerias anteriores aos casos relatados, e os parceiros citados no estudo (seja para as parcerias bem-sucedidas ou fracassadas) eram, em todos os casos, a primeira parceria realizada entre eles. Isso indica uma dinâmica interessante de empresas que estão explorando territórios desconhecidos, optando por explorar novas formas de colaboração. Embora a falta de experiência prévia possa ser vista como um desafio, também destaca a disposição das empresas em se aventurar em parcerias inexploradas, o que pode estar ligado a uma abordagem fresca e livre de pressupostos preexistentes (Hagedoorn et al. 2000; Wang & Rajagopalan, 2015; Martínez-Nova & Narula, 2018).

Os resultados indicam que as parcerias bem-sucedidas demonstraram a sinergia efetiva entre usinas sucroenergéticas e os parceiros estratégicos, resultando em inovações sustentáveis de produto e de processo. O Quadro 14 apresenta as características das parcerias bem-sucedidas destacando as seguintes dimensões de análise verificadas durante o estudo: número de parceiros, tipos de parceiros, tamanho do parceiro, objetivo da parceria, origem do parceiro, forma legal, horizonte temporal, função na cadeia de valor, registro de patentes e motivação da parceria após aplicação da ADA. Já o Quadro 15 apresenta as características das parcerias que fracassaram, destacando as mesmas dimensões de análise do Quadro 14. Todas as parcerias apresentadas nesse estudo tiveram apenas 2 envolvidos: uma empresa do setor sucroenergético e um parceiro estratégico. Tal fato não deve ser visto como um problema, pois aumentar o número de parceiros de P&D na aliança introduz complexidades adicionais para gerenciar com eficácia o dilema de aprendizado Inter organizacional (Contractor e Reuer, 2014).

Nas parcerias bem-sucedidas, a empresa A se uniu a um Instituto de Pesquisas de Biotecnologia, e o objetivo principal da aliança era direcionar a levedura para ser usada no processamento para produção de bioplásticos e biocombustíveis. A empresa B se uniu a uma Universidade e o objetivo da formação da aliança com a universidade era para desenvolver inovação sustentável de processo e produto para a vinhaça, passando a utilizá-la no processamento do biogás. A empresa C se uniu a uma Startup e o objetivo da aliança era para preparar o melaço para ser comercializado para indústrias do setor de cosméticos e alimentos. A parceria resultou em inovações sustentáveis incrementais, sendo gerados produtos como cosméticos naturais e adoçantes saudáveis, além de melhorias nos processos produtivos do melaço.

Quadro 14 - Características das parcerias bem-sucedidas

Dimensão	Características dos parceiros – Cases de sucesso		
	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Número de parceiros	2	2	2
Tipos de parceiros	Instituto de pesquisas de Biotecnologia	Universidade	Startup
Tamanho do parceiro	Porte menor – Pequeno porte	Porte menor – Médio porte	Porte menor – Pequeno porte
Objetivo da parceria	Levedura (novos produtos)	Vinhaça (novos produtos)	Melaço (novos produtos, processo)
Origem do parceiro	Internacional	Regional	Nacional
Forma legal	Contrato	Acordo de colaboração	Contrato de exclusividade
Horizonte temporal	Duradouro	Duradouro	Temporário
Função na cadeia de valor	P&D	P&D	P&D
Relação tecnológica	Não houve registro de patentes	Não houve registro de patentes	Não houve registro de patentes
Parceria motivada após aplicação ADA?	Não	Parcialmente	Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Nas parcerias fracassadas, a empresa A se uniu a uma Startup, e o objetivo principal da aliança era direcionar a flegmaça para processos de separação físico-química e biológica, garantindo a remoção eficiente de poluentes e a minimização do impacto ambiental. A empresa B se uniu a uma empresa do mesmo setor (Usina sucroenergética) e o objetivo da formação da

aliança era compartilhar conhecimento sobre os gases da queima do bagaço e desenvolver inovações de processo para minimizar riscos ambientais provenientes deste resíduo. A empresa C se uniu a uma Indústria de Tecnologia em Química e o objetivo da aliança era aproveitar a experiência e os recursos da empresa parceira para tratar e desenvolver soluções sustentáveis para os resíduos gerados nos laboratórios.

Quadro 15 - Características das parcerias fracassadas

Dimensão	Características dos parceiros – Cases fracassados		
	Empresa A	Empresa B	Empresa C
Número de parceiros	2	2	2
Tipos de parceiros	Startup	Usina	Indústria tecnologia em química
Tamanho do parceiro	Pequeno Porte	Mesmo tamanho – Grande porte	Mesmo tamanho – Grande porte
Objetivo da parceria	Flegmaça (risco ambiental)	Gases queima do bagaço (risco ambiental)	Resíduos de laboratório (novos produtos)
Origem do parceiro	Regional	Regional	Nacional
Forma legal	Contrato	Contrato	Contrato
Horizonte temporal	Temporário	Temporário	Temporário
Função na cadeia de valor	P&D	Processo	P&D
Relação tecnológica	Não houve registro de patentes	Não houve registro de patentes	Não houve registro de patentes
Parceria motivada após aplicação ADA?	Não	Parcialmente	Não

Fonte: elaborado pelo autor.

Com a necessidade de acesso a recursos externos, as parcerias envolveram startup, concorrentes, universidades e institutos (Kedia e Mooty, 2013; Quintana García e Benavides Velasco, 2007). Os objetivos das parcerias para inovação sustentável se concentraram em gerar novos produtos, processos e para minimizar os riscos ambientais (OECD, 2018; Adams, 2016; Bigliardi, 2022; Ritala, 2018).

O tamanho relativo das empresas parceiras também se destacou na avaliação das parcerias. As empresas A, B e C são consideradas empresas de grande porte apresentando um total de 4.500 mil funcionários, 3.800 mil funcionários e 4.100 funcionários, respectivamente, ao final de 2022 (Lahiri e

Narayanan, 2013). As empresas envolvidas nas parcerias bem-sucedidas (Instituto de pesquisas de Biotecnologia, Universidade e Startup) são de porte menor de acordo com o CNPJ e com afirmação dos entrevistados. Em relação às empresas envolvidos nas parcerias fracassadas, a Startup é de porte menor e a Usina parceira e e Indústria de tecnologia em química são de grande porte de acordo com o CNPJ e com afirmação dos entrevistados. Apesar disso, os entrevistados não souberam informar a quantidade de colaboradores das empresas parceiras. As empresas A, B e C, parceiros maiores, possuem uma diversidade de recursos, que podem ser tanto tangíveis quanto intangíveis, e foram alvos de empresas menores para compartilhar com os parceiros por meio da aliança (Lavie, 2007; Lahiri e Narayanan, 2013; Guertler e Sick, 2021).

A empresa A, localizada na Nigéria, se envolveu com um parceiro de origem internacional (Instituto de pesquisas de Biotecnologia) e com um parceiro de origem regional (Startup). Apesar da grande distância geográfica entre a empresa A e o Instituto de pesquisas de Biotecnologia, a parceria foi bem-sucedida e o país de origem das empresas não interferiu no modo de governança escolhido para suas operações de P&D, bem como em suas decisões (Awate et al., 2015; Narula e Sadowski, 2002). A empresa B se envolveu com parceiros de origem regional (Universidade) e com um parceiro de origem regional (Usina). A empresa C se envolveu com parceiros de origem nacional (Startup) e com um parceiro de origem regional (Indústria de tecnologia em química). Apesar de caracterizar as origens dos parceiros, os entrevistados não souberam informar o quanto foi decisivo para firmar as parcerias a localidade do parceiro e, além disso, não souberam expressar se a localidade dos parceiros ajudou ou não o desenvolvimento da parceria. O que ficou evidente é outros fatores tiveram mais relevância para firmar as parcerias do que a origem do parceiro, como por exemplo aproveitar as capacidades tecnológicas, independentemente de onde esteja situado, acessar recursos complementares para explorar recursos próprios ou compartilhar custos de P&D (Martínez-Noya; Narula, 2018; Henisz, 2000; Hagedoorn et al. 2000; Reuer e Lahiri, 2014; Santangelo et al., 2016).

Todas as parcerias apresentadas no estudo foram orientadas para P&D, exceto a parceria entre a empresa B e a outra Usina, que foram orientadas para desenvolver inovação de processo. Essa parceria foi a única que envolveu colaboração com concorrentes, onde o dilema de aprendizado atinge seu nível

máximo, intensificando a complexidade da situação. Apesar da parceria entre as concorrentes ter fracassado, explorar o surgimento de alianças com concorrentes dentro das indústrias e acompanhar a evolução dessas redes ao longo do tempo traz uma perspectiva extremamente enriquecedora para a literatura de alianças (Contractor e Reuer, 2014).

Todas as parcerias firmadas pelas empresas A, B e C foram formalizadas através de contratos. A elevada taxa de insucesso nas parcerias destaca a importância de se ter bons contratos. No entanto, criar contratos com cláusulas de proteção pode ser dispendioso, difícil e complicado de implementar de forma adequada além disso, essas cláusulas podem não oferecer proteção total às empresas contra problemas como a cópia ou o roubo de ideias. As empresas estudadas não permitiram o acesso a todo o conteúdo dos contratos de parcerias, o que seria interessante para as pesquisas futuras descobrirem quais cláusulas contratuais realmente ajudaram os parceiros a se defender desses problemas e, ao mesmo tempo, alcançar seus objetivos inovadores (Martínez-Noya; Narula, 2018; Diestre e Rajagopalan, 2012; Dushnitsky e Shaver, 2009).

As parcerias da empresa A com o Instituto de pesquisas de Biotecnologia e a Universidade apresentam horizonte temporal duradouro, permanecendo ativas até o momento, o que demonstra alto grau de confiança entre as empresas (Daronnat et al., 2021; Bürger e Roijakkers, 2021). As demais parcerias apresentadas foram temporárias conforme estipulado nos contratos. Apenas na parceria entre a empresa C e a Indústria de tecnologia em química houve rompimento do contrato devido um comportamento negativo do parceiro (Martínez-Noya; Narula, 2018).

Outro critério empregado para avaliação das parcerias para inovação sustentável foi a relação tecnológica entre os parceiros. Esse aspecto foi examinado através da quantidade de patentes registradas por cada empresa envolvida nas alianças de P&D (Diestre e Rajagopalan, 2012). Surpreendentemente, não houve registro de patentes em nenhuma das parcerias, tanto bem-sucedidas quanto fracassadas. Apesar disso, é importante ressaltar que a ausência de patentes não necessariamente indica a ausência de inovações sustentáveis. As empresas adotaram abordagens mais colaborativas que não se refletiram em patentes. O cenário sugere que, mesmo sem evidências tangíveis de patentes, as parcerias foram capazes de gerar

inovações sustentáveis, o que pode ser visto como uma prova do potencial de capacidade e diferenciação das empresas envolvidas.

A aplicação da ADA trouxe uma dimensão adicional ao processo de tomada de decisão para inovação sustentável das empresas estudadas. Ao identificar 17 resíduos e subprodutos da usina sucroenergética, juntamente com seu potencial de impacto ambiental negativo e a adequação de suas destinações, a ADA proveu informações valiosas para embasar as escolhas estratégicas. No entanto, é digno de nota que, apesar do acesso a dados detalhados, as parcerias não necessariamente direcionaram seus esforços para os problemas de maior magnitude ambiental.

As empresas A, B e C, enquanto participantes do estudo de caso, revelaram uma abordagem variada em relação à influência da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) em suas estratégias para formação de parceria. As empresas adotaram diferentes graus de resposta à presença da ADA como catalisadora para a inovação sustentável.

As empresas A e C optaram por trilhar o caminho da inovação sustentável sem que a ADA fosse o fator central estimulante para suas parcerias. Essas empresas buscaram parcerias em torno de objetivos específicos de inovação sustentável, sem necessariamente estar diretamente vinculadas aos problemas identificados pela ferramenta de avaliação. Na aplicação de ADA, a levedura é o 9º subproduto e o melaço é o 5º com maior impacto ambiental negativo e foram alvos de inovação sustentável das empresas A e C respectivamente. A abordagem adotada por essas empresas foi de desenvolver novos produtos a partir desses subprodutos. Isso sugere que, embora a ADA ofereça uma estrutura valiosa para a compreensão dos desafios ambientais, outros fatores, como oportunidades de mercado e capacidades internas, também desempenharam um papel relevante em suas estratégias de inovação (Martínez-Noya; Narula, 2018).

Por outro lado, a empresa B apresentou uma perspectiva intermediária. A vinhaça, alvo de inovação sustentável na empresa B, é o resíduo com maior impacto ambiental negativo apresentado na ferramenta de ADA. Apesar disso, embora a empresa B não tenha declarado que a ADA tenha sido o fator decisivo para buscar parcerias, a empresa reconheceu que a avaliação foi observada durante o processo de tomada de decisão. Isso sugere que, embora a ADA não

tenha sido o gatilho primário, ela foi levada em consideração como um componente adicional na análise estratégica. Essa abordagem destaca que, para algumas empresas, a ADA pode não ser o único fator, mas ainda assim, exerce uma influência tangível ao moldar a perspectiva de inovação e sustentabilidade.

Essa discrepância levanta uma questão intrigante: a busca por inovação sustentável através das parcerias nas empresas A, B e C foi influenciada por múltiplos fatores, incluindo oportunidades de mercado, desenvolvimento de novos produtos e processos. A falta de alinhamento entre as inovações buscadas e os problemas identificados pela ADA sugere que, embora a ferramenta possa prover orientação valiosa, as empresas também podem ser influenciadas por outros critérios ao definir suas prioridades (Martínez-Noya; Narula, 2018; Henisz, 2000; Hagedoorn et al. 2000; Reuer e Lahiri, 2014; Santangelo et al., 2016).

Ressaltamos que o estudo de caso abordado não permite extrapolar conclusões definitivas sobre a eficácia geral da ADA na promoção de parcerias para inovação sustentável. As observações aqui descritas são específicas a um conjunto de parcerias particulares, e a interação complexa entre a ferramenta de avaliação e a estratégia de inovação requer análises mais abrangentes e aprofundadas. É fundamental observar que, apesar das conclusões extraídas, a limitação do número de parcerias estudadas exige cautela na generalização dos resultados para um cenário mais amplo.

Portanto, mesmo que as parcerias estudadas tenham se direcionado para objetivos que não correspondiam exatamente aos problemas identificados pela ADA, a ferramenta continua sendo uma valiosa aliada no arsenal de tomada de decisões. Conforme as empresas adquirirem mais experiência em sua integração e considerarem sua aplicação em um contexto mais amplo, é possível que a ADA evolua para uma influência mais marcante na orientação das parcerias rumo a soluções sustentáveis e, em última instância, contribua para uma transformação significativa no setor sucroenergético em prol do meio ambiente e da sociedade.

5.3. Síntese das contribuições do estudo

O Índice de ADA (Iadaus) foi elaborado com o propósito de quantificar, em termos percentuais, as corretas destinações de R/S das usinas sucroenergéticas. Ao longo das etapas de desenvolvimento desse índice, foi possível identificar os R/S com destinações inadequadas em 2017 e monitorar o progresso das empresas até 2022. Um destaque importante é a avaliação negativa da empresa C, cujo índice caiu drasticamente de 93,38% para apenas 10,66%, devido exclusivamente à destinação inadequada da vinhaça. Isso fornece aos gestores uma clara indicação de áreas de risco e oportunidade para buscar alternativas.

Os resultados apresentados nesta tese trazem uma visão diferenciada para a avaliação ambiental nas usinas sucroenergéticas. Aplicar o índice Iadaus nas empresas do setor evidencia sua eficácia como uma ferramenta adequada para avaliar o desempenho ambiental. Ele representa um modelo de métrica que pode efetivamente medir o impacto ambiental de uma empresa, permitindo que os gestores tomem medidas corretivas nas etapas industriais responsáveis pela geração de R/S para melhorar seu desempenho do ponto de vista ambiental.

A aplicação da ferramenta de ADA nas usinas sucroenergéticas trouxe maior consciência para a gestão de problemas ambientais, incluindo a previsão, ordenação e alocação eficiente de recursos. Isso envolve atribuir responsabilidades e avaliar as atividades de maneira contínua. A metodologia utilizada na pesquisa pode ser adaptada para outras usinas sucroenergéticas, permitindo a comparação das práticas de desempenho ambiental entre elas.

Este estudo possibilitou ainda uma avaliação de como a implantação da ADA impacta na estratégia das empresas para buscar soluções inovadoras para promover a sustentabilidade. Evidenciou-se que as empresas estudadas buscaram alavancar a inovação sustentável após aplicação da ADA por meio de uma série de iniciativas estratégicas como: i) promover a conscientização e a educação sobre questões ambientais entre os colaboradores, investindo em treinamentos e capacitações; ii) estabelecer metas ambiciosas de sustentabilidade e monitorar regularmente o desempenho em relação a essas metas; iii) incentivar a colaboração com parceiros externos, como universidades e institutos de pesquisa, para impulsionar a inovação sustentável por meio de

parcerias estratégicas e, iv) integrar práticas e políticas de sustentabilidade em todos os níveis da organização.

As inovações sustentáveis foram moldadas por diferentes comportamentos estratégicos e níveis de interação com parceiros. Ao evoluir de uma abordagem resistente, reativa e antecipadora para uma abordagem que reconhece que os fatores ambientais e sociais contribuem diretamente para o sucesso da empresa, as empresas foram capazes de impulsionar resultados mais positivos e alcançar benefícios significativos em termos ambientais, sociais e econômicos.

Além disso, destaca-se a importância de alianças para o desenvolvimento de inovação sustentável, seja com instituições de pesquisa, startups ou outras empresas do setor. O estudo sobre parcerias revelou a importância de estabelecer relações colaborativas e estratégicas para impulsionar a inovação sustentável. Identificou-se que a escolha do parceiro adequado, com similaridades técnicas e culturais, é um fator crítico para o sucesso das parcerias. Ficou evidente que as parcerias bem-sucedidas são aquelas baseadas em alinhamento estratégico, troca efetiva de conhecimento e comunicação clara entre os envolvidos. Por outro lado, os desafios enfrentados ao ter um parceiro incluem a falta de alinhamento estratégico, divergências culturais e dificuldades na coordenação das atividades.

Por fim, ficou nítido que a aplicação da ADA estimulou a inovação sustentável ao fornecer uma visão clara sobre os aspectos ambientais das empresas, identificando áreas de melhoria e oportunidades de inovação. Isso permitiu que as empresas tomassem medidas proativas para reduzir seu impacto ambiental e buscar soluções mais sustentáveis. A ADA promoveu a integração dos aspectos ambientais na gestão estratégica das empresas, incentivando a tomada de decisões alinhadas com os objetivos de sustentabilidade. Isso impulsionou a inovação sustentável ao garantir que as considerações ambientais fossem incorporadas em todas as fases do processo de tomada de decisão, desde o planejamento até a implementação. No entanto, a ADA não foi considerada como o fator decisório para as empresas buscarem parcerias para desenvolver inovação sustentável.

6. Considerações finais

A tese teve como objetivo analisar como a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimulou o desenvolvimento de inovação sustentável em empresas do setor sucroenergético. Para alcançar esse objetivo, foi criado um Índice de Avaliação de Desempenho Ambiental em Usinas Sucroenergéticas - *I_{adaus}* - que representa, em termos percentuais, a adequação das destinações de R/S gerados nas etapas produtivas da usina sucroenergética. Esse índice foi aplicado por meio de estudo de casos múltiplos ao longo dos anos de 2017 e 2022.

O índice *I_{adaus}* baseia-se na premissa de que à medida que as empresas aumentam seus esforços em gestão ambiental, a avaliação de eficiência na situação ambiental das destinações dadas aos R/S gerados pode melhorar, promovendo o desenvolvimento e/ou aprimoramento de tecnologias nesse processo.

O índice *I_{adaus}* foi desenvolvido combinando as variáveis de peso relativo dos potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade, a quantidade de cada resíduo/subproduto gerados nas empresas estudadas referente à safra de 2017 e 2022, a amplitude territorial que cada R/S pode alcançar, e a destinação para os R/S feita pelas empresas.

A ponderação da toxicidade humana e ecotoxicidade dos R/S da usina sucroenergética demonstrou ser uma questão complexa, em virtude das notáveis diferenças em sua composição, tanto em termos físicos quanto químicos. Essas variações resultam em efeitos nocivos distintos à saúde humana e ao meio ambiente em casos de contato com esses resíduos, seja através dos compartimentos de ar, água ou solo.

Realizando uma análise mais detalhada do V(a)i dos R/S analisados, observa-se o seguinte panorama: vinhaça (34,80%), torta de filtro (30,92%), cinzas da queima do bagaço (26,38%), gases da queima do bagaço (4,64%). Notavelmente, 4 dentre os 17 R/S analisados representaram um total impressionante de 96,74% dos pesos relativos de toxicidade na usina sucroenergética.

Ao observar as avaliações do Índice *I_{adaus}* para as empresas, os resultados se mostraram da seguinte maneira:

- ✓ Empresa A apresentou um ladaus de 93,98% em 2017, indicando que 93,98% dos R/S gerados por ela possuíam destino ambientalmente adequado no contexto de potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade. Em 2022, esse índice teve uma leve variação negativa para 93,96%.
- ✓ Empresa B registrou um ladaus de 93,63% em 2017, significando que 93,63% dos R/S produzidos estavam com destino ambientalmente adequado em relação ao potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade. Em 2022, essa empresa mostrou uma notável melhoria, alcançando um ladaus de 99,91%.
- ✓ Empresa C obteve um ladaus de 93,38% em 2017, indicando que 93,38% dos R/S tinham destino ambientalmente adequado em relação ao potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade. Contudo, em 2022, a empresa sofreu uma significativa queda, atingindo um ladaus de 10,66%.

Essa análise dos índices ladaus revela diferentes trajetórias das empresas no que diz respeito ao desempenho ambiental, ressaltando a importância de estratégias eficazes de gerenciamento de resíduos e práticas sustentáveis na indústria sucroenergética.

Este estudo oferece diversas contribuições valiosas. Inicialmente, ele aborda detalhadamente as principais características das etapas produtivas das usinas sucroenergéticas e avalia os potenciais de toxicidade humana e ecotoxicidade associados aos R/S gerados nesse contexto. A criação do Índice de ADA em Usinas Sucroenergéticas (ladaus) representa um marco significativo, fornecendo uma métrica específica para avaliar o desempenho ambiental de usinas sucroenergéticas. O índice não só permite avaliações pontuais, mas também possibilita o acompanhamento contínuo do desempenho ao longo do tempo. Ademais, o ladaus viabiliza a comparação das práticas de destinação de R/S entre diferentes empresas do mesmo setor.

A identificação dos R/S que têm impacto negativo na produção de etanol e açúcar desempenha um papel crucial. A identificação desses elementos problemáticos estimula a busca por soluções que otimizem tanto o desempenho econômico quanto o ambiental. Lidar com a gestão desses R/S representa um desafio substancial, dada a grande quantidade gerada. A otimização nessa área não apenas é fundamental para a saúde dos negócios, mas também para o bem-

estar da sociedade em geral, uma vez que o progresso em um ambiente degradado é insustentável.

Outro ponto de destaque na pesquisa é que as empresas estudadas buscaram alavancar a inovação sustentável por meio de uma série de iniciativas estratégicas como: i) promover a conscientização e a educação sobre questões ambientais entre os colaboradores, investindo em treinamentos e capacitações; ii) estabelecer metas ambiciosas de sustentabilidade e monitorar regularmente o desempenho em relação a essas metas; iii) incentivar a colaboração com parceiros externos, como universidades e institutos de pesquisa, para impulsionar a inovação sustentável por meio de parcerias estratégicas e, iv) integrar práticas e políticas de sustentabilidade em todos os níveis da organização.

As inovações sustentáveis foram moldadas por diferentes comportamentos estratégicos e níveis de interação com parceiros. Ao evoluir de uma abordagem resistente, reativa e antecipadora para uma abordagem que reconhece que os fatores ambientais e sociais contribuem diretamente para o sucesso da empresa e orientada para a inovação sustentável, as empresas foram capazes de impulsionar resultados mais positivos e alcançar benefícios significativos em termos ambientais, sociais e econômicos.

Além disso, destaca-se a importância de parcerias para o desenvolvimento de inovação sustentável, seja com instituições de pesquisa, startups ou outras empresas do setor. O estudo sobre parcerias revelou a importância de estabelecer relações colaborativas e estratégicas para impulsionar a inovação sustentável. Identificou-se que a escolha do parceiro adequado, com similaridades técnicas e culturais, é um fator crítico para o sucesso das parcerias.

Ficou evidente que as parcerias bem-sucedidas são aquelas baseadas em alinhamento estratégico, troca efetiva de conhecimento e comunicação clara entre os envolvidos. Por outro lado, os desafios enfrentados ao ter um parceiro incluem a falta de alinhamento estratégico, divergências culturais e dificuldades na coordenação das atividades.

6.1 Limitações e sugestões de pesquisas futuras

Este estudo, como qualquer pesquisa, possui suas limitações que, por sua vez, apontam para oportunidades de futuras investigações. Uma notável limitação é a escassez de métodos de ADA originados no Brasil. Isso resulta na falta de procedimentos próprios para o contexto regional, o que ressalta a necessidade de pesquisas que possam preencher essa lacuna e permitir o desenvolvimento de abordagens mais adequadas para a realidade brasileira e sul-americana. Essa brecha representa uma oportunidade para que especialistas locais possam contribuir para projetos globais que tratam da avaliação do desempenho ambiental.

O indicador *Iadaus*, apesar de sua originalidade e relevância para a indústria sucroenergética, tem uma limitação intrínseca: sua aplicabilidade restrita a esse setor. No entanto, essa limitação também abre a porta para investigações futuras que possam adaptar e desenvolver indicadores similares para outras indústrias. A criação de indicadores específicos para diferentes setores industriais contribuiria significativamente para a avaliação ambiental abrangente.

Uma área que merece atenção contínua é a padronização de modelos para ADA. Dada a falta de consenso na literatura e a carência de estudos nesse campo, há uma oportunidade para a definição de modelos mais robustos e padronizados. Além disso, a expansão do escopo da avaliação do desempenho ambiental para incluir não apenas as etapas de produção, mas também as fases preliminares (como plantio, colheita e transporte) e as etapas finais (como distribuição e venda de produtos) seria um passo valioso para uma compreensão mais completa dos impactos ambientais e possíveis melhorias.

Além disso, destaca-se como as principais lacunas e oportunidades futuras de pesquisa:

- ✓ Definir as melhores práticas de implementação e monitoramento da inovação sustentável em diferentes setores e contextos organizacionais.
- ✓ São necessários estudos mais aprofundados sobre os mecanismos de cooperação e colaboração em parcerias para a inovação sustentável, incluindo a identificação de barreiras e estratégias de superação.

- ✓ A avaliação dos resultados de inovação sustentável e o impacto das parcerias no desempenho ambiental, social e econômico das empresas são temas que requerem mais investigação.
- ✓ A análise dos diferentes tipos de parcerias, como alianças com instituições de pesquisa, startups, empresas concorrentes, entre outros, pode fornecer insights adicionais sobre os benefícios e desafios específicos de cada tipo de parceria.
- ✓ Necessidade de uma abordagem micro fundacional para a inovação sustentável (por exemplo, envolvimento dos funcionários).
- ✓ Melhor definição de estratégias de busca e recombinação de conhecimento para a inovação sustentável.
- ✓ Identificar os stakeholders que devem ser envolvidos (principalmente) na gestão dos processos de inovação sustentável.

Essas lacunas e oportunidades de pesquisa apontam para a complexidade e amplitude do campo da inovação sustentável, indicando áreas nas quais pesquisas futuras podem contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e a promoção de práticas mais sustentáveis nas organizações.

Esta tese reforça dentro da literatura de KBV/RBV que existe uma falência de mercado no sentido de que o impacto ambiental negativo pode ser uma externalidade negativa, que só ocorre por assimetria de informação, ou seja, o fato da usina não ter conhecimento do processo produtivo e seus impactos que geram externalidades negativas.

Além disso, a tese contribui para o processo de decisão em níveis organizacionais distintos da usina (a alta gestão, nível estratégico, nível tático) e essa integração nos diversos níveis foi fundamental para a aplicação da ADA. Outro ponto relevante é que este trabalho trata-se de um estudo de multi casos temporal, sendo quase um experimento, em que as usinas que não tinham informação alguma sobre o impacto ambiental gerado através de suas atividades produtivas, passaram a ter após a aplicação da ADA nelas. Aplicou-se a ADA em 2017 e em 2022 e depois observou-se o que ocorreu nesse período para que as inovações sustentáveis fossem colocadas em prática.

Por fim, ficou nítido que a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimulou a inovação sustentável ao fornecer uma visão clara sobre os aspectos ambientais das empresas, identificando áreas de melhoria e

oportunidades de inovação. Isso permitiu que as empresas tomassem medidas proativas para reduzir seu impacto ambiental e buscar soluções mais sustentáveis. A ADA promoveu a integração dos aspectos ambientais na gestão estratégica das empresas, incentivando a tomada de decisões alinhadas com os objetivos de sustentabilidade. Isso impulsionou a inovação sustentável ao garantir que as considerações ambientais fossem incorporadas em todas as fases do processo de tomada de decisão, desde o planejamento até a implementação. No entanto, a ADA não foi considerada como o fator decisório para as empresas buscarem parcerias para desenvolver inovação sustentável

Dessa forma, temos como principais insights da pesquisa que contribuem com a literatura:

- ✓ A ADA estimulou a inovação sustentável ao fornecer uma visão clara sobre os aspectos ambientais das empresas (JABBOUR et al, 2014; ABNT, 2015; JASCH, 2000).
- ✓ A ADA promoveu a integração dos aspectos ambientais na gestão estratégica das empresas estudadas corroborando com os autores Pascale, 2021; Shin et al. 2018, Kneipp et al., 2019 e Varadarajan 2017.
- ✓ A inovação sustentável se mostrou ser importante para as empresas estudadas melhorarem seu desempenho ambiental, social e econômico (Baran, 2021; Varadarajan, 2017; Kneipp et al., 2019; Petrini & Eisele, 2019; Martínez-Noya; Narula, 2018).
- ✓ Fatores gerenciais, organizacionais e de planejamento afetaram os processos de inovação sustentável (Adams et al., 2016; Bocken et al., 2014; Hansen et al., 2009; Klewitz & Hansen, 2014; Kneipp et al., 2019).
- ✓ Inovações sustentáveis frequentemente resultam de esforços colaborativos conforme apresentado pelos autores Kauppila, 2010; Laursen, 2017 Lavie, Miller, 2008; Laursen e Salter, 2006.
- ✓ A formação de parcerias estratégicas pode impulsionar a inovação sustentável, permitindo o compartilhamento de conhecimento, a colaboração e a busca por soluções conjuntas (Gulati, 1998; Diestre e Rajagopalan, 2012; Frankort, 2016; Laursen, 2017; Laursen e Salter, 2006; Guertler e Sick, 2021).

- ✓ A escolha do parceiro adequado, com similaridades técnicas e culturais, é um fator crítico para o sucesso das parcerias corroborando com os autores Li et al., 2008; Geissdoerfer, Vladimirova e Evans 2018; Li e Piezunka, 2020; Laursen, 2017; Laursen e Salter, 2006.
- ✓ A comunicação clara e aberta, o alinhamento estratégico e a definição de metas compartilhadas são elementos-chave para o êxito das parcerias (Daronnat et al., 2021; Martínez-Noya; Narula, 2018; Bürger e Roijakkers, 2021).
- ✓ A ADA não foi considerada como o fator decisório para as empresas buscarem parcerias para desenvolver inovação sustentável, mas pode ser levada em consideração como um componente adicional na análise estratégica das empresas,

Referências

ABNT NBR ISO 14031:2004. **Gestão ambiental – avaliação de desempenho ambiental** – diretrizes. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), p. 38, 2004.

ABNT. ABNT NBR ISO 14.001: **Sistemas de Gestão Ambiental-Especificação e Diretrizes para Uso**. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 41. 2015.

ABNT. ABNT NBR ISO 14031 - **Gestão ambiental – avaliação de desempenho ambiental** – diretrizes. Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Rio de Janeiro, p. 38. 2015.

Adams, R., Jeanrenaud, S., Bessant, J., Denyer, D., & Overy, P. Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review. **International Journal of Management Reviews**, 18(2), 180-205, 2016.

Afeltra, G., Alerasoul, S.A. and Strozzi, F., "The evolution of sustainable innovation: from the past to the future", **European Journal of Innovation Management**, Vol. 26 No. 2, pp. 386-421. <https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2021-0113>, 2023.

ALBUQUERQUE, F. M. **Processo de Fabricação do açúcar**. Third ed. Recife: Editora Universitária da Universidade Federal de Pernambuco, 2011.

Alcácer, J. Location choices across the value chain: how activity and capability influence collocation. **Manag. Sci.** 52 (10), 1457---1471, 2006.

ALMEIDA, T. S. M.; SELLITTO, M. A. **Avaliação do desempenho ambiental de uma instituição pública de ensino técnico e superior**. Produção, jul/set 2013. p. 625-636.

AMIT, E.; SCHOEMAKER, P. J. H. Strategic assets and organizational rent. **Strategic Management Journal**, n.14, p. 33-46, 1993.

Amui, L. B. L., Jabbour, C. J. C., Jabbour, A. B. L. de S., & Kannan, D. Sustainability as a dynamic organizational capability: a systematic review and a future agenda toward a sustainable transition. **Journal of Cleaner Production**, 142, 308–322. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.103>, 2017.

Anand, B.N. and Khanna, T. “Do firms learn to create value? The case of alliances”, **Strategic Management Journal**, Vol. 21No. 3, pp. 295-315, 2000.

Andersen, Maj Munch. "An introduction to eco-innovation and its measurement." **Innovation: Management, Policy & Practice** 10.3 (2008): 261-280.

ANDRIETTA, M.; ANDRIETTA SR; STUPIELLO, E. **Bioethanol what has Brazil learned about yeasts inhabiting the ethanol production processes from sugar cane?** p. 67–84, 2011.

Angelina De Pascale, Roberta Arbolino, Katarzyna Szopik-Depczyńska, Michele Limosani, Giuseppe Ioppolo, A systematic review for measuring circular economy: The 61 indicators, **Journal of Cleaner Production**, Volume 281, 2021, 124942, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124942>.

Angelo, C. F., Jabbour, C. J. C., & Galina, S. V. Ecoinovação: Proposta de um framework para análise de seus principais drivers e barreiras. **Revista de Administração Mackenzie**, 13(6), 64-92. 2012.

ARUNDEL, A.; KEMP, R. **Measuring eco-innovation. UNU-MERIT Working Paper Series**,. Disponível em: <<http://www.merit.unu.edu/publications/wppdf/2009/wp2009-017.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2022. 2009.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2009a). NBR ISO 14040: **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Estrutura**. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. (2009b). NBR ISO 14044: **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações**. Rio de Janeiro.

Augier, M., & Teece, D. J. (2009). Dynamic Capabilities and the Role of Managers in Business Strategy and Economic Performance. **Organization Science**, 20(2), 410–421. <https://doi.org/10.1287/orsc.1090.0424>

Awate, S., Larsen, M., Mudambi, R. Accessing vs sourcing knowledge: a comparative study of R&D internationalization between emerging and advanced economy firms. **J. Int. Bus. Stud.** 46, 63---86, 2015.

Baran, A.). Sustainable innovations—selected aspects. **Ekonomia i Środowisko**(1), 40-51. 2021.

Barbosa, M., Castañada-Ayarza, J. A., & Ferreira, D. H. L. Sustainable Strategic Management (GES): Sustainability in small business. **Journal of Cleaner Production**, 258, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120880>, 2020.

Bardin, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70. 1977

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. 3. ed. Lisboa: Edições, 2011.

BARNEY, J. Looking inside for competitive advantage. **Academy of Management Executive**, v. 9, n. 4, p. 49-61, 1995.

Belderbos, R., Carree, M. and Lokshin, B. (2004), “Cooperative R&D and firm performance”, **Research Policy**, Vol. 33No. 10, pp. 1477-1492.

Belgraver, H. and Verwaal, E., "Organizational capital, production factor resources, and relative firm size in strategic equity alliances", **Small Business Economics**, Vol. 50 No. 4, pp. 1-25. 2017.

Bezerra, M. C. da C., Gohr, C. F., & Morioka, S. naomi. Organizational capabilities towards corporate sustainability benefits : A systematic literature review and an integrative framework proposal. **Journal of Cleaner Production**, 247(20). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119114>, 2020.

Bigliardi, B.; Filippelli, S. Sustainability and Open Innovation: Main Themes and Research Trajectories. **Sustainability** 2022, 14, 6763. <https://doi.org/10.3390/su14116763>

Björkman, Ingmar, Günter K. Stahl, and Eero Vaara. Cultural Differences and Capability Transfer in Cross-Border Acquisitions: The Mediating Roles of Capability Complementarity, Absorptive Capacity, and Social Integration. **Journal of International Business Studies** 38: 658–72. 2007.

Bocken, N. M., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. **Journal of cleaner production**, 65, 42-56.

Boons, F., & Lüdeke-Freund, F. (2013). Business models for sustainable innovation: State-of-the-art and steps towards a research agenda. **Journal of Cleaner Production**, 45, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.07.007>.

Bos-Brouwers, H. E. (2010). Corporate sustainability and innovation in SMEs: Evidence of themes and activities in practice. **Business Strategy and the Environment**, 19(7), 417-435.

BOSCHMA, R. A. Proximity and innovation: A critical assessment. **Regional Studies**, v. 39, n. 1, p. 61–74, 2005.

Bouncken, R. B., & Fredrich, V. Strategic alliances as a means to foster innovation: A literature review. **Journal of Business Research**, 70, 95-108. 2017.

BOUNCKEN, R. B.; PESCH, R.; KRAUS, S. SME innovativeness in buyer–seller alliances: effects of entry timing strategies and inter-organizational learning. **Review of Managerial Science**, v. 9, n. 2, p. 361–384, 2015.

Bouncken, R.B. and Fredrich, V. (2016), “Business model innovation in alliances: successful configurations”, **Journal of Business Research**, Vol. 69No. 9, pp. 3584-3590.

Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J.G.L., Mierzwa, J.C., Barros, M.T.L., Spencer, M., Porto, M., Nucci, N., Juliano, N. and Eiger, S. (2005), **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**, Pearson Prentice Hall, São Paulo.

BROEKEL, T.; BOSCHMA, R. Knowledge networks in the Dutch aviation industry: The proximity paradox. **Journal of Economic Geography**, v. 12, n. 2, p. 409–433, 2012.

BUENO, P C; RODRIGUES, J C; LEMOS, A F, Exposição humana a mercúrio: subsídios para o fortalecimento das ações de vigilância em saúde. **Caderno Saúde Coletiva**, 2011.

Bürger, Rafaela Escobar, and Nadine Roijackers. 2021. Developing Trust Between Partners in Collaborative R&D Projects. In *Managing Collaborative R&D Projects*. Edited by Gabriela Fernandes, Lawrence Dooley, David O’Sullivan and Asbjørn Rolstadås. Contributions to Management Science. Cham: **Springer International Publishing**, pp. 271–84.

Buzzao, G., & Rizzi, F. (2020). On the conceptualization and measurement of dynamic capabilities for sustainability: Building theory through a systematic literature review. **Bus Strat Env**. 1–41. <https://doi.org/10.1002/bse.2614>.

Cai, Y., Lu, Y., Stegman, A., & Newth, D. (2017). Simulating emissions intensity targets with energy economic models: algorithm and application. **Annals of Operations Research**, 255(1-2), 141-155.

CAMPOS, Lucila Maria de Souza. SGADA – **Sistema de gestão e avaliação de desempenho ambiental: uma proposta de implementação**. Tese, PPGE/UFSC, Florianópolis, 2001.

CAMPOS, L. M. S.; MELO, D. A. Indicadores de desempenho dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA): uma pesquisa teórica. **Revista Produção**, v. 18, n. 3, p. 540-555, 2008.

Caner, T. and Tyler, B.B., "The effects of knowledge depth and scope on the relationship between R&D alliances and new product development", **Journal of Product Innovation Management**, Vol. 32No. 5, pp. 808-824, 2015

Carrillo-Hermosilla, Javier, et al. "Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands." **Journal of Cleaner Production** 17.14 (2009): 1295-1298.

CENTRO DE TECNOLOGIA COPERSUCAR CTC. **Biomass power generation: sugarcane bagasse and trash**. 2005 Disponível em: <<http://www.ctcanavieira.com.br/site/images/downloads/biomassa.pdf>>, Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

Cezarino, L. O., Alves, M. R., Caldana, A. C. F., & Liboni, L. B. (2019). *Dynamic Capabilities for Sustainability : Revealing the Systemic Key Factors*. **Syst Pract Action Res**, 32, 93–112.

Charter, M., & Clark, T.. Sustainable innovation: Key conclusions from sustainable innovation conferences 2003–2006. **International Journal of Innovation Management**, 2007.

CHESBROUGH, H. **Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology**. Harvard ed. Boston: Harvard, 2003.

CHESBROUGH, Henry. Business Model Innovation: Opportunities and Barriers. **Long Range Planning**, v. 43, n. 2-3, p. 354-363, 2010.

Christensen, C. M.. The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail. **Harvard Business Review Press** (2001).

Cillo, V, Petruzzelli, AM, Ardito, L, Del Giudice, M. Understanding sustainable innovation: A systematic literature review. **Corp Soc Resp Env Ma**. 2019; 26: 1012– 1025. <https://doi.org/10.1002/csr.1783>, 2019

COHEN, W. M.; LEVINTHAL, D. A. Innovation and learning: the two faces of R & D. **The economic journal**, v. 99, n. 397, p. 569-596, 1989.

Conab, “**Acompanhamento da safra brasileira de cana de açúcar**”, disponível em: http://www.conab.gov.br/boletim_cana_portugues_17-18.pdf (acesso Maio 5, 2021) (2017).

Contractor, F.J., Reuer, J.J. Structuring and governing alliances: new directions for research. **Glob. Strategy J**. 4,241---256., 2014.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de pesquisa em administração**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.

COOPER, D. R.; SCHINDLER, P. S. **Métodos de Pesquisa em administração**. São Paulo: Bookman, 2003.

Coral, E., Rossetto, C. R., & Selig, P. M.. Inovação sustentável e o desenvolvimento local. **Revista de Administração Pública**, 37(4), 813-832, (2003).

COSTA, Alberto; CURI, Denise; BANDEIRA, Ana Maria; FERREIRA, Augusta; TOMÉ, Brízida; JOAQUIM, Carla; SANTOS, Carlos; GÓIS, Cristina; MEIRA,

Cristina Díaz-García, Ángela González-Moreno & Francisco J. Sáez-Martínez Eco-innovation: insights from a literature review, **Innovation**, 17:1, 6-23, DOI: 10.1080/14479338.2015.1011060, (2015)

CUNHA, J. M. O. L. **Avaliação do Desempenho Ambiental de uma Cadeia de Abastecimento – Estudo de Caso de uma Indústria do Sector Automóvel**. Universidade de Aveiro. Aveiro, p. 125. 2010.

Darr, Eric D., and Terri R. Kurtzberg. An Investigation of Partner Similarity Dimensions on Knowledge Transfer. **Organizational Behavior and Human Decision Processes** 82: 28–44. 2000.

Daronnat, Sylvain, Leif Azzopardi, Martin Halvey, and Mateusz Dubiel. Inferring Trust From Users' Behaviours; Agents' Predictability Positively Affects Trust, Task Performance and Cognitive Load in Human-Agent Real-Time Collaboration. **Frontiers in Robotics and AI** 8: 642201. 2021.

DE SOUZA DIAS, M. O. et al. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, v. 15, p. 35–51, 2015.

DEARING, R. Innovation and Sustainability: Implications for the Public. **Journal of Public Policy & Marketing**, v. 19, n. 1, p. 32–37, 2000.

DELAI, I.; TAKAHASHI, S. Sustainability measurement system: a reference model proposal. **Social Responsibility Journal**, 7, n. 3. 438-471, 2011.

DELLA-BIANCA, B. E. et al. What do we know about the yeast strains from the Brazilian fuel ethanol industry? **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 3, p. 979–991, 2013.

Deolinda; AZEVEDO, Graça; INÁCIO, Helena; JESUS, Mafalda; TEIXEIRA, Maria Goreti; MONTEIRO, Patrícia; DUARTE, Ruben; e MARQUES, Pedro. Literature Review and Theoretical Framework of the Evolution and Interconnectedness of Corporate Sustainability Constructs. **Sustainability** 14, 4413 (2022).

Dias, R. **Gestão Ambiental: Responsabilidade Social e Sustentabilidade**. São Paulo: Editora Atlas. (2011).

DIAS-SARDINHA, I.; REIJNDERS, L. Environmental Performance Evaluation and Sustainability Performance Evaluation of Organizations: an Evolutionary Framework. **Eco-management and auditing**, 2001. p. 71-79.

Diestre, L. and Rajagopalan, N. (2012), "Are all 'sharks' dangerous? New biotechnology ventures and partner selection in R&D alliances", **Strategic Management Journal**, Vol. 33No. 10, pp. 1115-1134.

Dodgson, Mark, David Gann, and Ammon Salter. The Role of Technology in the Shift towards Open Innovation: The Case of Procter & Gamble. **R and D Management** 36: 333–46. 2006.

Donaire, D, "Considerações sobre a influência da variável ambiental na empresa", **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, Vol. 34 No. 2, pp. 68-77. (1994).

Drucker, P. F. **Innovation and entrepreneurship: Practice and principles**. HarperBusiness. (1986).

Drucker, P. F. **The essential Drucker**. Routledge. (2008).

Dushnitsky, G., Shaver, J.M. Limitations to interorganizational knowledge acquisition: the paradox of corporate venturecapital. **Strateg. Manag. J.** 30 (10), 1045---1064, 2009.

Durão Júnior, W.A., Castro, C.A. and Windmöller, C.C, “Mercury reduction studies to facilitate the thermal decontamination of phosphor powder residues from spent fluorescent lamps”, **Waste Management**, Vol. 28 No. 11, pp. 2311-2319. (2008).

Duysters, G., Heimeriks, K.H. and Lokshin, B, “Do firms learn to manage alliance portfolio diversity? The diversity-performance relationship and the moderating effects of experience and capability”, **European Management Review**, Vol. 9 No. 3, pp. 139-152. (2012).

Dussauge, P., Garrette, B. and Mitchell, W, “Learning from competing partners: outcomes and durations of scale and link alliances in Europe”, **Strategic Management Journal**, Vol. 21 No. 2, pp. 99-126. (2000).

EISENHARDT, M. K. Building Theories from Case. **Management**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

ELIA NETO, A; NAKAHODO, T. **Caracterização físico-química da vinhaça. Projeto nº 9500278**. Relatório técnico da Seção de Tecnologia de Tratamento de Águas do Centro de Tecnologia COPERSUCAR, Piracicaba, 1995.

ELKINGTON, J. Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **New Society Publishers**, 1997.

Enkel, Ellen, Oliver Gassmann, and Henry Chesbrough. Open R&D and Open Innovation: Exploring the Phenomenon. **R&d Management** 39: 311–16. 2009.

Fagerberg, J. **Innovation: A guide to the literature** (M. D. Fagerberg J., Nelson R., Ed.). Oxford University Press. (2004).

Fanny Hermundsdottir, Arild Aspelund, Sustainability innovations and firm competitiveness: A review, **Journal of Cleaner Production**, Volume 280, Part 1, 124715, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124715>, 2021.

Feinberg, S., Gupta, A.. Knowledge spillovers and the assignment of R&D responsibilities to foreign subsidiaries. **Strateg.Manag. J.** 25 (8---9), 823---884, 2004.

FERNANDES, A. C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar**. Third ed. Piracicaba: Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 2011.

Fernandes, L.H. and Mainier, F.B), “Os riscos da exposição ocupacional ao cádmio”, **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Vol. 9 No. 2, pp. 194-199. (2014).

Finep. **Manual para apresentação de projetos de pesquisa**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro. (2009).

Fipa, “**Boletim informativo da Federação das Indústrias Portuguesas Agro-Alimentares**”, available at: www.fipa.pt/pdf/fipaflash95.pdf (accessed January 9, 2016) (2007).

FITJAR, R. D.; HUBER, F.; RODRÍGUEZ-POSE, A. Not too close, not too far: testing the Goldilocks principle of ‘optimal’ distance in innovation networks. **Industry and Innovation**, v. 23, n. 6, p. 465–487, 2016.

Fitzpatrick, J.J., Dooley, P., Renewable and Sustainable Energy Reviews - Holistic view of CO2 reduction potential from energy use by an individual processing company - **Process & Chemical Engineering, Ireland** - <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.038> - 2017

Frankort, H.T, “When does knowledge acquisition in R&D alliances increase new product development? The moderating roles of technological relatedness and productmarket competition”, **Research Policy**, Vol. 45 No. 1, pp. 291-302. (2016).

Fussler, C., & James, P. Driving eco-innovation: a breakthrough discipline for innovation and sustainability. **Pitman Publishing**. (1996).

Gassmann, Oliver, Ellen Enkel, and Henry Chesbrough. The Future of Open Innovation. **R&d Management** 40: 213–21. 2010.

Gassmann, Oliver. Opening up the Innovation Process: Towards an Agenda. **R&D Management** 36: 223–28. 2006.

GEISSDOERFER, M. VLADIMIROVA, D., EVANS, S., Sustainable business model innovation: A review, **Journal of Cleaner Production**, 198, 401-416 (2018).

George, G., Zahra, S.A., Wheatley, K.K. and Khan, R, “The effects of alliance portfolio characteristics and absorptive capacity on performance: a study of biotechnology firms”, **The Journal of High Technology Management Research**, Vol. 12 No. 2, pp. 205-226. (2001).

Getz, Isaac, and Alan G. Robinson. Innovate or Die: Is That a Fact? **Creativity and Innovation Management** 12: 130–36. 2003.

GINSBURG, E.; BLOOM, P. N. Choosing the Right Green Marketing Strategy. MIT Sloan Management Review, v. 46, n. 1, p. 79–84, 2004.

Gnyawali, D.R. and Park, B.-J, Co-opetition and Technological Innovation in Small and Medium-Sized Enterprises: A Multilevel Conceptual Model. **Journal of Small Business Management**, 47: 308-330. <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2009.00273.x>. (2009)

Gnyawali, D.R. and Park, B.J.R, “Co-opetition between giants: collaboration with competitors for technological innovation”, **Research Policy**, Vol. 40No. 5, pp. 650-663. (2011).

GODOI, C. K. **Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais**: paradigmas, estratégias e métodos. 2.ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A., Struijs, J., & van Zelm, R. ReCiPe 2008: a life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. **Ministerie van Volkshuisvesting**. (Report, 1). (2009).

GRAY, R. Social, environmental and sustainability reporting and organisational value creation? Whose value? Whose creation? **Accounting, Auditing & Accountability Journal**, v. 19, n. 6, p. 793-819, 2006.

GRANT, R. The resource-based theory of competitive advantage: implications of strategy formulation. **California Management Review**, v. 33, n. 3, p.114-135, 1991.

Grant, R.M. and Baden-Fuller, C. (2004), "A knowledge accessing theory of strategic alliances", **Journal of Management Studies**, Vol. 41No. 1, pp. 61-84.

Guertler, Matthias Rudolf, and Nathalie Sick. Exploring the Enabling Effects of Project Management for SMEs in Adopting Open Innovation—A Framework for Partner Search and Selection in Open Innovation Projects. **International Journal of Project Management** 39: 102–14. 2021.

Guinée, J. B. Handbook on Life Cycle Assessment: operational guide to the ISO Standards. **Kluwer Academic Publishers**. (2002).

Gulati, R. Alliances and networks. **Strategic Management Journal**, 19, 293–317. (1998).

Günes, E.H., Günes, Y. and Talini, Y, "Toxicity evaluation of industrial and land base sources in a river basin", **Desalination**, Vol. 226 No. 2, pp. 348-356. (2008).

GURGEL, MARCÍLIO N. DO A.; CORREA, SIMONE T. R.; DOURADO NETO, DURVAL and PAULA JUNIOR, DURVAL R. DE. **Tecnologia para aproveitamento de resíduos da agroindústria sucroalcooleira como biofertilizante organomineral granulado**. Eng. Agríc. [online], vol.35, n.1, pp.63-75. ISSN 0100-6916. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n1p63-75/2015>. 2015.

Hagedoorn, J., Link, A.N., Vonortas, N.S. Research partner-ships. Res. Policy 29 (4), 567---586, 2000.

Hair Jr., J. F., Babin, B., Money, A. H., & Samouel, P. **Fundamentos de Métodos de Pesquisa em Administração**. Bookman, Porto Alegre. (2005).

Hamel, G., & Breen, B. The future of management. **Harvard Business Review** Press. (2007).

HANSEN, E. G.; GROSSE-DUNKER, F.; REICHWALD, R. Sustainability Innovation Cube – A framework to evaluate sustainability-oriented innovations. **International Journal of Innovation Management**, v. 13, n. 4, p. 683–713, 2009.

HANSEN, T. Substitution or Overlap? The Relations between Geographical and Non-spatial Proximity Dimensions in Collaborative Innovation Projects. **Regional Studies**, v. 49, n. 10, p. 1672–1684, 2015.

Hart, S.L., & Milstein, M. B. Criando valor sustentável. **RAE Executivo**, v. 3 (2), maio/julho (2004).

Hauschild, M. Z., & Wenzel, H. Environmental assessment of products (Vol. 2). United Kingdom: Chapman & Hall, Hingham: **Kluwer Academic Publishers**. (1998).

Hauschild, M. Z., Goedkoop, M., Guinée, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Jolliet, O., Margni, M., Schryver, A., Humbert, S., Laurent, A., Sala, S., Pant, R.

Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 18(3), 683-697. (2012).

Hauschild, M. Z., Huijbregts, M., Jolliet, O., Macleod, M., Margni, M., van de Meent, D., Rosenbaum, R. K., & McKone, T. E. Building a model based on scientific consensus for life cycle impact assessment of chemicals: the search for harmony and parsimony. **Environmental Science & Technology**, 42(19), 7032-7037. <http://dx.doi.org/10.1021/es703145t>. (2008)

Hauschild, M., & Potting, J. Spatial differentiation in life cycle impact assessment: the EDIP2003 methodology. Copenhagen: Danish Ministry of the Environment. (**Environmental News**, 80). (2005).

Henisz. The institutional environment for multinational investment. **J. Law Econ. Organ.** 16 (2), 334---364, 2000.

Hoang, H. and Rothaermel, F.T), "The effect of general and partner-specific alliance experience on joint R&D project performance", **Academy of Management Journal**, Vol. 48No. 2, pp. 332-345. 2005.

Hofmann, K. H., Theyel, G., & Wood, C. H. Identifying Firm Capabilities as Drivers of Environmental Management and Sustainability Practices – Evidence from Small and Medium-Sized Manufacturers. **Business Strategy and the Environment**, 21(8), 530–545. <https://doi.org/10.1002/bse.739>. (2012)

Huijbregts, M., Hauschild, M., Jolliet, O., Margni, M., McKone, T., Rosenbaum, R. K., & van de Meent, D. **USEtox™ User manual**. (2010).

Hunt, C.B. and Auster, E.R, "Proactive environmental management: avoiding the toxic trapp", **MIT Sloan Management Review**, Vol. 31 No. 2, pp. 7-18. (1990).

Hussain, N., Rigoni, U., & Cavezzali, E. Does it pay to be sustainable? Looking inside the black box of the relationship between sustainability performance and

financial performance. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 25(6), 1198–1211. (2018).

IMPACT World+. What is IMPACT World+?. Acessado em 27 de junho de 2018, de <http://www.impactworldplus.org/en/presentation.php>. (2012)

Inauen, Matthias, and Andrea Schenker-Wicki. The Impact of Outside-in Open Innovation on Innovation Performance. **European Journal of Innovation Management** 14: 496–520. 2011.

Itsubo, N., Sakagami, M., Washida, T., Kokubu, K., & Inaba, A. Weighting Across Safeguard Subjects for LCIA through the Application of Conjoint Analysis. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 9(3), 196-205. (2004).

Jabbour, A. B. L. S.; Jabbour, C. J. C.; Sarkis, J.; Govindan, K.) Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities. **Clean Techn Environ Policy**. 16. pp. 7–9, 2014. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s10098-013-0600-z>. 2014.

Jabbour, C. J. C., Neto, A. S., Gobbo Jr, J. A., Ribeiro, M. de S., & Jabbour, A. B. L. de S. Eco-innovations in more sustainable supply chains for a low-carbon economy: A multiple case study of human critical success factors in Brazilian leading companies. **Intern. Journal of Production Economics**, 164, 245–257. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.015>. (2015).

Jaric, I., Visnjic-Jeftic, Z., Cvijanovic, G., Gacic, Z., Jovanovic, L., Skoric, S. and Lenhardt, M, "Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and muscle of Sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES", **Microchemical Journal**, Vol. 98 No. 1, pp. 77-81 (2011).

Järup L, Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem. **Toxicol Appl Pharmacol** Aug 1;238(3):201-8. doi: 10.1016/j.taap.2009.04.020. Epub 2009 May 3. PMID: 19409405. 2009.

Jasch, C, "Environmental performance evaluation and indicators", **Journal of Cleaner Production**, Vol. 8 No. 1, pp. 79-88. (2000).

Jiang, W., Chai, H., Shao, J., & Feng, T. Green entrepreneurial orientation for enhancing firm performance: A dynamic capability perspective. **Journal of Cleaner Production**, 10 (october), 1311–1323. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.104>. (2018)

Johanna Klewitz, Erik G. Hansen. Sustainability-oriented innovation of SMEs: a systematic review, **Journal of Cleaner Production**, Volume 65, Pages 57-75, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.07.017>. , (2014)

JOHNSON, G.; SCHOLES, K.; WHITTINGTON, R. **Explorando a estratégia corporativa**. 7 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

Joint Research Centre – JRC. **Analysis of existing environmental impact assessment methodologies for use in life cycle assessment: background document**. (ILCD Handbook). (2010).

Joint Research Centre – JRC. **Recommendations based on existing environmental impact assessment models and factors for life cycle assessment in European context**. (ILCD Handbook). (2011).

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 8(6), 324-330. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02978505>. (2003)

Jones, E., Chonko, L.B. and Roberts, J.A, "Creating a partnership-oriented, knowledge creation culture in strategic sales alliances: a conceptual framework",

Journal of Business & Industrial Marketing, Vol. 18 Nos 4/5, pp. 336-352. (2003).

KAUPPILA, O. P. Creating ambidexterity by integrating and balancing structurally separate interorganizational partnerships. **Strategic Organization**, v. 8, n. 4, p. 283–312, 2010.

Kedia, B.L., Mooty, S.E. Learning and innovation in collaborative innovation networks. In: Kedia, B.L., Jain, S.C. (Eds.), **Restoring America's Global Competitiveness Through Innovation**. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 3--27., 2013.

Kemna, R., van Elburg M., Li, W., & van Holstekjin, R. MEEUP: the methodology Report. Brussels: **European Commission**. (Final version) . (2005).

KEMP, R.; SMITH, K.; BECHER, G. How should we study the relationship between environmental regulation and innovation? In: HEMMELSKAMP, J.; RENNINGS, K.; LEONE, F. Innovation-oriented environmental regulation. **Centre for European Economic Research**, v. 1, p. 43 – 46, 2000

KEMP, R.; FOXON, T. J. Typology of Eco-Innovation. In: MEI project: measuring Eco-Innovation. **European Commission**, 2007.

Kneipp, J. M., Gomes, C. M., Bichueti, R. S., Frizzo, K., & Perlin, A. P. Sustainable innovation practices and their relationship with the performance of industrial companies. **Revista de Gestão**, 26 (2), 94-111. (2019).

KNIGHT, K. E. A descriptive model of intra-firm innovation process. **Journal of Business**, v. 40, p. 478-496, 1967.

KOLK, A.; VAN TULDER, R. International business, corporate social responsibility and sustainable development. **International Business Review**, v. 19, n. 2, p. 119-125, 2010.

Kondev, Georgi, Dimitar Tenchev, and Paulina Vasileva. An Open Innovation Model in the Context of Improving the Competitiveness of the Chemical and Metallurgical Industries. **Journal of Chemical Technology and Metallurgy** 49: 515–19. 2014.

Kostova, Tatiana, Kendall Roth, and M. Tina Dacin. Institutional Theory in the Study of Multinational Corporations: A Critique and New Directions. **Academy of Management Review** 33: 994–1006. 2008.

Kotler, P., & Keller, K. L. **Administração de marketing** (14th ed.). Pearson Prentice Hall. (2012).

Kubota, F.I. and Rosa, L.C, “Identification and conception of cleaner production opportunities with the theory of inventive problem solving”, **Journal of Cleaner Production**, Vol. 47 No. 2, pp. 199-210. (2013).

KUHRE, Lee. ISO 14031 Environmental Performance Evaluation (EPE). New York: **Prentice Hall**, 1998.

Lane, P. J., & Lubatkin, M. Relative absorptive capacity and interorganizational learning. **Strategic Management Journal**, 19(5), 461-477. 1998.

Laursen, Brett. Making and Keeping Friends: The Importance of Being Similar. **Child Development Perspectives** 11: 282–89. 2017.

Laursen, Keld, and Ammon Salter. Open for Innovation: The Role of Openness in Explaining Innovation Performance among U.K. Manufacturing Firms. **Strategic Management Journal** 27: 131–50. 2006.

LAVIE, D.; MILLER, S. R. Alliance Portfolio Internationalization and Firm Performance. **Organization Science**, v. 19, n. 4, p. 623–646, 2008.

Lahiri, N.. Geographic distribution of R&D activity: howdoes it affect innovation quality? **Acad. Manag. J.** 53 (5),1194---1209, 2010.

Lahiri, N. and Narayanan, S, "Vertical integration, innovation, and alliance portfolio size: implications for firm performance", **Strategic Management Journal**, Vol. 34 No. 9, pp. 1042-1064. (2013).

Lavie, Dovev. The Competitive Advantage of Interconnected Firms: An Extension of the Resource-Based View. **Academy of Management Review** 31: 638–58. 2006.

Lavie, D, "Alliance portfolios and firm performance: a study of value creation and appropriation in the US software industry", **Strategic Management Journal**, Vol. 28 No. 12, pp. 1187-1212. (2007).

Lee, N. and Hooley, G, "The evolution of "classical mythology" within marketing measure development", **European Journal of Marketing**, Vol. 39 No. 3/4, pp. 365-385. <https://doi.org/10.1108/03090560510581827>. (2005)

Lenzi, E., Favero, L.O.B. and Luchese, E.B, **Introdução à química da água: ciência vida e sobrevivência**, LTC, Rio de Janeiro. (2009).

LI, F. et al. Improved AHP Method and Its Application in Risk Identification. **Journal of Construction Engineering and Management**, março. p. 312-320, 2013.

Li, Dan, Lorraine Eden, Michael A. Hitt, and R. Duane Ireland. Friends, Acquaintances, or Strangers? Partner Selection in R&D Alliances. **Academy of Management Journal** 51: 315–34. 2008.

Li, Jian Bai, and Henning Piezunka. The Uniplex Third: Enabling Single-Domain Role Transitions in Multiplex Relationships. **Administrative Science Quarterly** 65: 314–58. 2020.

Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., Wang, F. and Brookers, P.C, "Human health risk assessment of heavy metals in soil-vegetable system: a multi-

medium analysis”, **Science of the Total Environment**, Vols 463-464 No. 3, pp. 530-540. (2013).

LUBATKIN, M. H. *et al.* Ambidexterity and performance in small-to medium-sized firms: The pivotal role of top management team behavioral integration. **Journal of Management**, v. 32, n. 5, p. 646–672, 2006.

Luecke, R., & Katz, R. Managing creativity and innovation. **Harvard Business School Press**. (2003).

Maimon, D, “Eco estratégia nas empresas brasileiras: realidade ou discurso?”, **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, Vol. 34 No. 4, pp. 119-130. (1994).

Martinelli, A.C., Barrada, R.V., Ferreira, S.A.D., Freitas, M.B.J.G.F. and Lelis, M.F.F, “Avaliação da lixiviação do cádmio e níquel provenientes da degradação de baterias níquel-cádmio em uma coluna de solo”, **Química Nova**, Vol. 37 No. 3, pp. 465-472. (2014).

Martinez, M. G., Zouaghi, F., & Garcia, M. S. Capturing value from alliance portfolio diversity: The mediating role of R&D human capital in high and low tech industries. **Technovation**, 59, 55–67. (2017).

MARTÍNEZ-NOYA, A.; NARULA, R. What more can we learn from R&D alliances? A review and research agenda. **BRQ Business Research Quarterly**, v. 21, n. 3, p. 195-212. <https://doi.org/10.1016/j.brq.2018.04.001>, 2018

Marsh, Stephen, Tosan Atele-Williams, Anirban Basu, Natasha Dwyer, Peter R. Lewis, Hector Miller-Bakewell, and Jeremy Pitt. Thinking about Trust: People, Process, and Place. **Patterns** 1: 100039. 2020.

Masum, B.M. & Masjuki, H.H. & Kalam, M.A. & Rizwanul Fattah, I.M. & Palash, S.M. & Abedin, M.J. "Effect of ethanol–gasoline blend on NOx emission in SI engine," **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, vol. 24(C), pages 209-222., 2013.

MELO, J.; PEGADO, C. Ecoblock: **A method for integrated environmental performance evaluation of companies and products** (construction case-study),. Disponível em http://gasa.dcea.fct.unl.pt/ecoblock/EcoBalance_02.pdf. Acesso em: 03 de maio de 2018. 2006

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. Produção**, 2015. p. 160-175.

Miranda, Pedro **Ecoinovação no Brasil: o desempenho das empresas brasileiras no período 2000-2017** / Pedro Miranda, Priscila Koeller, Maria Cecília Lustosa. – Brasília, DF : IPEA, 2023.

Myers, M. D. *Qualitative Research in Business & Management*. 3th Edition, **SAGE**, London, 2013.

MOREIRA, F R; JESUS, L F; MARINHA, M S, Amálgama dentário: fonte de contaminação por mercúrio para a odontologia e para o meio ambiente. **Caderno Saúde Coletiva**, 2010.

Moreira, F. G. P. **A diversidade de portfólio de alianças e o desempenho das firmas industriais brasileiras em inovação de produto: o papel da capacidade de p&d e dos ativos complementares especializados** (Tese de doutorado). Universidade Federal de São Carlos UFSCAR, São Carlos, SP, Brasil. (2016).

Mowery, David C., Joanne E. Oxley, and Brian S. Silverman. Strategic Alliances and Interfirm Knowledge Transfer. **Strategic Management Journal** 17: 77–91. 1996.

MUNKSGAARD, J. et al. An environmental performance index for products reflecting damage costs. **Ecological Economics**, 2007. 119-130.

Narula, R., Sadowski, B., 2002. Technological catch-up and strategic technology partnering in developing countries. *Int. J. Technol. Manag.* 23, 599---617.

Nelson, R. R., & Winter, S. G). An evolutionary theory of economic change. **Harvard University Press**. 1982.

NOGUEIRA, M. A.; GARCIA, M. S. Gestão dos resíduos do setor industrial sucroenergético: estudo de caso de uma usina no município de Rio Brillhante, Mato Grosso do Sul. **Revista Eletronica em Gestão**, Educacao e Tecnologia Ambiental, v. 17, n. 17, p. 3275-3283, 2013.

OECD. "**Eco-innovation in industry: enabling green growth.**" OECD Publishing, 2009.

OECD. **Oslo manual**: Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data. Organisation for Economic Co-operation and Development. (1997).

OECD. **Manual de Oslo**: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação (3a ed.). FINEP. (2005).

OECD/Eurostat (2018), Oslo Manual: **Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**, 4th Edition, The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities, OECD Publishing, Paris/Eurostat, Luxembourg. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>, 2018

OLIVEIRA, A.; CRISTOBAL, S.; SAIZAR, C. Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social: una herramienta para la evaluación de impactos y soporte para la toma de decisiones. **INNOTEC Gestión**, 7. p. 20-27, 2016.

OLIVEIRA, L C; BOTERO, W G; ROCHA, F C, Santos, A, Silva, H C Influência das características físico-químicas dos solos no ciclo hidrobiogeoquímico do mercúrio na região do rio Aracá-AM. **Química Nova**, 2011, Vol. 34, N 8, p 1303-1308.

OMETTO, A.R.; Montes, M.L.D.; Silva, D.A.L; Delai, I. Life cycle assessment of the sugarcane bagasse electricity generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2014.

OMETTO, A. R.. **Avaliação do ciclo de vida do álcool étílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, exergia e emergia**. 209 f. Tese (Doutorado em Engenharia) Universidade de São Paulo (USP). São Carlos. . 2005

Ortiz-de-mandojana, N., Bansal, P., & Aragón-Correa, J. A. *Older and Wiser : How CEOs ' Time Perspective Influences Long-Term Investments in Environmentally Responsible Technologies*. **British Journal of Management**, 0, 1–17. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.12287>. (2018)

Perotto, E., Canziani, R., Marchesi, R. and Butelli, P, “Environmental performance, indicators and measurement uncertainty in EMS context: a case study”, **Journal of Cleaner Production**, Vol. 16 No. 1, pp. 517-530. (2008)

PENROSE, E.T. The theory of the growth of the firm. **Oxford: Brasil Blackwell**, 1959.

PETERAF, M.A. The cornerstones of competitive advantage: A resource-based view. **Strategic Management Journal**, v. 14, n. 3, p. 179-191, 1993.

Petruzzelli, A.M., “The impact of technological relatedness, prior ties, and geographical distance on university-industry collaborations: a joint-patent analysis”, **Technovation**, Vol. 31No. 7, pp. 309-319. (2011)

Petrini, M., & Eisele, F. Uma Proposta de Modelo para as Organizações em busca de Inovação Sustentável. **Revista Ciências Administrativas**, 24(3), 1-12. (2019).

Pimenta, M. R. **A promoção da Inovação Sustentável no contexto empresarial com base nas ferramentas e técnicas de Design Thinking.** Dissertação. Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/145837>. (2022)

PORTER, M.E.; VAN DER LINDE, C. Green and Competitive: Ending the Stalemate. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 5, p. 120-134, 1995.

PORTER, Michael E., VAN DER LINDE, Claas. Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship. **Journal of Economic Perspectives**, v. 9, n. 4, p. 97-118, 1995.

Queiroz, M. T. A. (). **Bioacumulação de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicado a análise por ativação neutrônica instrumental.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, Minas Gerais. 2006

Quintana García, C., Benavides Velasco, C.A. Concentra-ciones territoriales, alianzas estratégicas e innovación. Un enfoque de capacidades dinámicas. **Cuad. Econ. Dir. Empres.** 30,5---38. ., 2007

RAO, R. V. Decision Making in the Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods. Londres: **Springer-Verlag London**, v. 1. ed. , 2013.

REBELATO, M. G.; MADALENO, L. L.; RODRIGUES, A. M. Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Mogi Guaçu. **Engenharia Sanitária Ambiental**, jul/set 2016. p. 579-591.

Rebelato, M.G., Madaleno, L.L. and Rodrigues, A.M., “**Proposed indicators for assessing the environmental performance of production processes of sugar-energy plants**”, 4th International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo (2013).

Rebelato, M.G., Saran, L.M., Paulino, T.P. e Rodrigues, A.M. (2017), "Environmental performance assessment (EPA): a case study in a graphic company", **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 28, No. 4, pp. 593-608.

Rebelato, M.G., Rodrigues, A.M., Thomaz, A.G.B., Saran, L., Madaleno, L., Oliveira, O.J. Developing an index to assess human toxicity potential of sugarcane industry, **Journal of Cleaner Production**, Volume 209, 2019, Pages 1274-1284, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.302>.

Reid, Susan E., and Peter M. Miedzinski. "Eco-innovation: definitions, measurement and open research issues." **International Journal of Innovation and Sustainable Development** 3.3 (2008): 284-305.

Rein, P, **Engenharia do Açúcar de Cana**, Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlin. (2013).

Rein, P), **Cane Sugar Engineering**, Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlin. (2017).

REIS, L. G. **Produção de Monografia da teoria à prática: o método de educar pela pesquisa** (MEP). 3. ed. Brasília: Senac, 2010.

Rennings, K). Towards a theory and policy of eco-innovation–Neoclassical versus evolutionary approaches. **Ecological economics**. (1998).

Reuer, J.J., Lahiri, N. Searching for alliance partners: effects of geographic distance on the formation of R&D collaborations. **Organ. Sci.** 25 (1), 283---298. 2014.

Reuer, J.J. and Devarakonda, R. (2017), "Partner selection in R&D collaborations: effects of affiliations with venture capitalists", **Organization Science**, Vol. 28 No. 3, pp. 574-595.

Rothaermel, F.T. and Boeker, W., "Old technology meets new technology: complementarities, similarities and alliance formation", **Strategic Management Journal**, Vol. 29 No. 1, pp. 47-77. . (2008)

Ribeiro, A.P., Figueiredo, A.M.G., Santos, J.O., Ferreira, P.A.L., Graudenz, G.S., Ruiz, M.S., Mahiques, M.M., Figueira, R.C.L., Wasserman, J.C.F. (2015) "Effects of contamination with toxic metals on the environmental quality of Sepetiba Bay (SE Brazil): The case of Ingá Company", **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 26 Issue: 4, pp.538-551, doi: 10.1108/MEQ-06-2013-0074

RITALA, P., HUOTARI, P., BOCKEN, N., ALBAREDA, L., PUUMALAINEN, K. Sustainable business model adoption among S&P 500 firms: A longitudinal content analysis study. **Journal of Cleaner Production**, 170, 216-226 (2018).

Roodchenko, S.V. and Banin, A. (2015), "**MindDecider theory**", personal communication, December 2.

RPS, "**Human Health Risk Assessment/Technical Appendix, energy from waste facility**", available at: www.sepa.org.uk/PDF/AppD_Human_Health_Risk_Assessment.pdf (acessado Abril, 2021). 2008

Halila, F. and Rundquist, J. (2011), "The development and market success of eco-innovations: A comparative study of eco-innovations and "other" innovations in Sweden", **European Journal of Innovation Management**, Vol. 14 No. 3, pp. 278-302.

Saaty, T.L. (1991), **Método de Análise Hierárquica**, Makron Books do Brasil Editora Ltda, Rio de Janeiro.

Sáez, C. B., Arribas, E. H., & García, T. (2002). Collaboration in R&D with universities and research centres: an empirical study of Spanish firms. **R&D Management**, 32(4), 321– 341.

Salim, N., Rahman, M. N. A., & Wahab, D. A. (2019). A systematic literature review of internal capabilities for enhancing eco-innovation performance of manufacturing firms. **Journal of Cleaner Production**, 209, 1445–1460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.105>

Salter, E., Ford, J, “Holistic Environmental Assessment and Offshore Oil Field Exploration and Production”, **Marine Pollution Bulletin**, Vol.42, No.1, pp. 45-58. . (2001)

Salvini, J. T. S. **Análise configuracional das proximidades em alianças de inovação**. Ribeirão Preto, 2020.

Samia Hariz, Lylia Bahmed, (2013) "Assessment of environmental management system performance in the Algerian companies certified ISO 14001", **Management of Environmental Quality: An International Journal**, Vol. 24 Issue: 2, pp.228-243, doi: 10.1108/14777831311303100

Sampson, R.C. (2007), “R&D alliances and firm performance: the impact of technological diversity and alianse organization on innovation”, **Academy of Management Journal**, Vol. 50No. 2, pp. 364-386.

Samuel, V.B., Agamuthu, P. and Hashim, M.A. (2013), “Indicators for assessment of sustainable production: a case study of the petrochemical industry in Malaysia”, **Ecological Indicators**, Vol. 24 No. 2, pp. 392-402.

Sanches, C.S. (2000), “Gestão ambiental proativa”, **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, Vol. 40 No. 1, pp. 76-87.

Santangelo, G.D., Meyer, K., Jindra, B., 2016. MNE subsidiaries'outsourcing and insourcing of R&D: the role of local institu-tions. **Glob. Strategy J.**, <http://dx.doi.org/10.1002/gsj.1137>, Accepted manuscript online: 18.10.16.

SCALIZA, Janaina; JUGEND, Daniel; JABBOUR, Charbel; LATAN, Hengky; ARMELLINI, Fabiano; TWIGG, David; ANDRADE, Darly. Relationships among organizational culture, open innovation, innovative ecosystems, and performance of firms: Evidence from an emerging economy context. **Journal of Business Research**, 140, p. 264-279 (2022).

SCHERER, Andreas; VOEGTLIN, Christian. CORPORATE GOVERNANCE FOR RESPONSIBLE INNOVATION: APPROACHES TO CORPORATE GOVERNANCE AND THEIR IMPLICATIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Academy of Management Perspectives**, 34 (2), 182–208 (2020).

Schumpeter, J. A. The theory of economic development: An inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle. **Harvard University Press**. (1934).

Shin, J., Kim, C., & Yang, H). The effect of sustainability as innovation objectives on innovation efficiency. **Sustainability**, 10(6), 1966. 2018.

Shin, K., Kim, S. J., & Park, G. (2016). How does the partner type in R&D alliances impact technological innovation performance? A study on the Korean biotechnology industry. **Asia Pacific Journal of Management**, 33(1), 141–164.

Silvestre, B. et al. (2016). Innovation for sustainable development. In **Journal of cleaner production**. no. 133: 389-390

Slawinski, N., & Bansal, P. (2015). Short on Time: Intertemporal Tensions in Business Sustainability Short on Time: Intertemporal Tensions in Business Sustainability. **Organization Science Publication**, 26(2), 531–549.

SLEESWIJKA, A. W. et al. Normalisation in product life cycle assessment: An LCA of the global and European economic systems in the year 2000. **Science of The Total Environment**, 2008. p. 227 – 240.

Sitkin, Sim B., and Nancy L. Roth. Explaining the Limited Effectiveness of Legalistic 'Remedies' for Trust/Distrust. **Organization Science** 4: 367–92. 1993.

Simonin, Bernard L. Ambiguity and the Process of Knowledge Transfer in Strategic Alliances. **Strategic Management Journal** 20: 595–623. 1999.

STRANDDORF, H. K.; HOFFMANN, L.; SCHMIDT, A. Impact categories, normalisation and weighting in LCA: Updated on selected EDIP97-data. Copenhagen: Danish Ministry of the environment, v. **Environmental news** No. 78, 2005.

Su, N.. **Positivist Qualitative Methods**. In The SAGE Handbook of Qualitative Business and Management Research Methods (chap. 2, pp. 17-33). Cassel, C. Cunliffe, A. L, & Gina. Sage, London (2018).

Szekely, F.. The sustainability compass: Indicators and performance. **Routledge** (2012).

Szulanski, Gabriel. 1996. Exploring Internal Stickiness: Impediments to the Transfer of Best Practice within the Firm: Exploring Internal Stickiness. **Strategic Management Journal** 17: 27–43.

Tahir, A.C. and Darton, R.C. (2010), "The process analysis method of selecting indicators to quantify the sustainability performance of a business operation", **Journal of Cleaner Production**, Vol. 18 No. 6, pp. 1598-1607.

TEECE, D.; PISANO, G., SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18 (7), p. 509-533, 1997.

Teece, D. J. Business models and dynamic capabilities. **Long Range Planning**, 51(1), 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2017.06.007>. (2018)

Thomaz, A. G. B. **Construção de uma estrutura metodológica para Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) de indústrias sucroenergéticas: um**

estudo - Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2017

Thoresen, J. (1999), "Environmental performance evaluation — a tool for industrial improvement", **Journal of Cleaner Production**, Vol.7, pp. 365-370.

Tidd, J., & Bessant, J. (2009). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational change*. 4 ed. Wiley.

Tidd, J., Bessant, J., & Pavitt, K. (2008). *Managing innovation: Integrating technological, market and organizational change*. John Wiley & Sons.

Toffoletto, L., Bulle, C., Godin, J., Reid, C., & Deschênes, L. (2007). **LUCAS: a new LCIA method used for a canadian-specific context**. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 12(2), 93-102. <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-6367-9>

Unica. "Biogás." **UNICA**, 30 July 2022, unica.com.br/setor-sucroenergetico/biogas/. Accessed 30 July 2023.

UNEP/SETAC. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on products**. UNEP/SETAC, 2011.

UNIDO. **Sustainable innovation: A framework for industry transformation**. **United Nations Industrial Development Organization**. (2015).

United Nations Environment Programme – UNEP. (2010). **Life Cycle Impact Assessment Programme**. Life Cycle Initiative. Recuperado em 27 de junho de 2018, de http://lcinitiative.unep.fr/sites/lcinit/default.asp?site=lcinit&page_id=67F5A66D-9EB8

United Nations. **The 17 Goals**. Acesso por <https://sdgs.un.org/goals> em julho/2023. (2023).

USEtox the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 13(7), 532-546.

Varadarajan, R. Innovating for sustainability: a framework for sustainable innovations and a model of sustainable innovations orientation. **Journal of the Academy of Marketing Science**, 45(1), 14-36. 2017.

Vasconcelos, F. C. Cooperação, competição e inovação: Uma reflexão sob a ótica das redes de empresas. **Revista de Administração de Empresas**, 41(2), 42-51. (2001).

Vasudeva, G. and Anand, J, “Unpacking absorptive capacity: a study of knowledge utilization from alliance portfolios”, **Academy of Management Journal**, Vol. 54 No. 3, pp. 611-623. (2011).

VOEGTLIN, Christian; SCHERER, Andreas; STAHL, Günter; HAWN, Olga. Grand Societal Challenges and Responsible Innovation. **Journal of Management Studies**, 59 (2022).

Wang, Y., & Rajagopalan, N. (2015). Alliance Capabilities Review and Research Agenda. **Journal of Management**, 41(1), 236–260.

Wenzel, H., Hauschild, M.Z., Alting, L., Environmental Assessment of Products, Chapman & Hall, Massachusetts. (1997)

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. Environmental Assessment of Products: Methodology, tools and case studies in product development. 2. ed. ed. Copenhagen: Kluwer Academic Publishers, 2000.

WERNERFELT, B. A resource-based view of the firm. **Strategic Management Journal**, v. 5, n. 2, p. 171-180, 1984.

West, Joel, and Karim R. Lakhani. Getting Clear about Communities in Open Innovation. *Industry and Innovation* 15: 223–31. 2008.

WESTKÄMPER, E.; ALTING; ARNDT. Life Cycle Management and Assessment: Approaches and Visions Towards Sustainable Manufacturing (keynote paper). *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 49, 2000. p. 501-526

Wheeler, D., & Elkington, J. (2001). The end of the corporate environmental report? Or the advent of cybernetic sustainability reporting and communication. **Greener management international**, (34), 51-64.

XIULIN, S.; DAWEI, L. An Improvement Analytic Hierarchy Process and Its Application in Teacher Evaluation. Fifth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications, 2014

Yin, R. K. **Pesquisa Estudo de Caso - Desenho e Métodos**. (2 ed.). Bookman, Porto Alegre. (1994).

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YOON, Y.; TELLO, S. Drivers of Sustainable Innovation: Exploratory Views and Corporate Strategies. **Seoul Journal of Business**, 15(2), 85- 115. 2009.

Zaheer, A., Hernandez, E., Banerjee, S., 2010. Prior alliances with targets and acquisition performance in knowledge-intensive industries. **Organ. Sci.** 21 (5), 1072---1091.

ZAHRA, S. A.; GEORGE, G. Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. **Academy of management review**, v. 27, n. 2, p. 185-203, 2002

ZHANG, M. Application and Research of Improved AHP Model in Employment of College Students. **The Open Cybernetics & Systemics Journal**, 2015. p. 1212-1217.

APÊNDICE A - Roteiro de Entrevista em Profundidade

Com o propósito estritamente acadêmico, a presente pesquisa busca coletar dados para a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) em uma usina sucroenergética. Os dados obtidos serão tratados e analisados de forma confidencial, e os resultados serão apresentados de maneira agregada.

Para a pesquisa, serão avaliados a produção referente à safra no ano de 2017 em sua empresa e, por sua vez, responda as questões a seguir a partir desses dados.

Ficamos à disposição para quaisquer esclarecimentos necessários e/ou informações adicionais. Agradecemos antecipadamente a sua valiosa contribuição para o sucesso do estudo.

André Gustavo de Brito Thomaz

e-mail: andre.gustavo21@terra.com.br

1 Descrição da Empresa

Nome da empresa:

Linhas de Produtos:

Volume Produzido:

Ano de fundação:

Receita:

Número de funcionários:

2 Perfil do Respondente

- Cargo na Empresa

- Experiência na Empresa

3 Entrevista

1. Qual a quantidade (em toneladas) de cana processada na safra 2017?

2. Qual a destinação dos subprodutos e resíduos gerados durante e após o processo de fabricação na safra 2017, sendo eles:
- a. Vinhaça
 - b. Torta de filtro
 - c. Cinzas da queima do bagaço
 - d. Lâmpadas queimadas
 - e. Gases provenientes da queima do bagaço
 - f. Efluente gasoso das dornas
 - g. Efluente lavagem das dornas
 - h. Sucatas Metálicas
 - i. Levedura
 - j. Melaço
 - k. Pilhas e Baterias
 - l. Efluente tratamento dos gases de combustão
 - m. Resíduos dos Laboratórios
 - n. Flegmaça
 - o. Óleos Lubrificantes da fábrica
 - p. Óleo Fúsel
 - q. Efluente lavagem dos pisos e equipamentos
3. Qual a quantidade gerada (em toneladas/ano) dos subprodutos e resíduos gerados durante e após o processo de fabricação na safra 2017, sendo eles:
- a. Vinhaça
 - b. Torta de filtro
 - c. Cinzas da queima do bagaço
 - d. Lâmpadas queimadas
 - e. Gases provenientes da queima do bagaço
 - f. Efluente gasoso das dornas
 - g. Efluente lavagem das dornas
 - h. Sucatas Metálicas
 - i. Levedura
 - j. Melaço
 - k. Pilhas e Baterias

- l. Efluente tratamento dos gases de combustão
- m. Resíduos dos Laboratórios
- n. Flegmaça
- o. Óleos Lubrificantes da fábrica
- p. Óleo Fúsel
- q. Efluente lavagem dos pisos e equipamentos

APÊNDICE B - Roteiro de Entrevista em Profundidade

Com o propósito estritamente acadêmico, a presente pesquisa busca avaliar se a aplicação da Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) estimularia a inovação sustentável. Os dados obtidos serão tratados e analisados de forma confidencial, e os resultados serão apresentados de maneira agregada.

Para a pesquisa, serão avaliados os projetos de inovação sustentável desenvolvidos referente aos anos de 2017 a 2022 em sua empresa e, por sua vez, responda as questões a seguir a partir desses projetos.

Ficamos à disposição para quaisquer esclarecimentos necessários e/ou informações adicionais. Agradecemos antecipadamente a sua valorosa contribuição para o sucesso do estudo.

André Gustavo de Brito Thomaz

Doutorando em Administração na FEA-RP/USP

e-mail: andre.gustavo21@terra.com.br

Profa. Dra. Simone Vasconcelos Ribeirão Galina

Professora Associada na FEA-RP/USP

e-mail: svgalina@usp.br

1 Descrição da Empresa

Nome da empresa:

Linhas de Produtos:

Volume Produzido:

Ano de fundação:

Receita:

Número de funcionários:

2 Perfil do Respondente

- Cargo na Empresa

- Experiência na Empresa

3 Entrevista fase 1

1. Qual a quantidade (em toneladas) de cana processada na safra 2022?

2. Qual a destinação dos subprodutos e resíduos gerados durante e após o processo de fabricação na safra 2022, sendo eles:
 - a. Vinhaça
 - b. Torta de filtro
 - c. Cinzas da queima do bagaço
 - d. Lâmpadas queimadas
 - e. Gases provenientes da queima do bagaço
 - f. Efluente gasoso das dornas
 - g. Efluente lavagem das dornas
 - h. Sucatas Metálicas
 - i. Levedura
 - j. Melaço
 - k. Pilhas e Baterias
 - l. Efluente tratamento dos gases de combustão
 - m. Resíduos dos Laboratórios
 - n. Flegmaça
 - o. Óleos Lubrificantes da fábrica
 - p. Óleo Fúsel
 - q. Efluente lavagem dos pisos e equipamentos

3. Qual a quantidade gerada (em toneladas/ano) dos subprodutos e resíduos gerados durante e após o processo de fabricação na safra 2022, sendo eles:
 - a. Vinhaça
 - b. Torta de filtro
 - c. Cinzas da queima do bagaço
 - d. Lâmpadas queimadas
 - e. Gases provenientes da queima do bagaço
 - f. Efluente gasoso das dornas
 - g. Efluente lavagem das dornas
 - h. Sucatas Metálicas

- i. Levedura
- j. Melaço
- k. Pilhas e Baterias
- l. Efluente tratamento dos gases de combustão
- m. Resíduos dos Laboratórios
- n. Flegmaça
- o. Óleos Lubrificantes da fábrica
- p. Óleo Fúsel
- q. Efluente lavagem dos pisos e equipamentos

4 Análise da Inovação Sustentável realizada desde 2017

Após a aplicação da ferramenta de Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) em sua empresa (que tem por finalidade avaliar se a destinação dos resíduos e subprodutos está ambientalmente correta) no período compreendido entre 2017-2022 e, considerando que inovação sustentável se refere a uma inovação que gera renovação ou melhoria de produtos, serviços, processos tecnológicos ou organizacionais, estruturas e modelos de negócios em curto e longo prazo, que melhora o desempenho econômico, ambiental e social, responda as questões a seguir.

Os tópicos a seguir descrevem os fatores determinantes por trás da aplicação de inovação sustentável em sua empresa **após aplicação da ferramenta de Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA), referente ao período 2017/2022.**

1. Quais são as tecnologias de processo/produto que foram desenvolvidas pela usina como resultado da aplicação da ADA?
2. Que fatores foram preponderantes, após aplicação da ADA, para estimular o desenvolvimento de inovação sustentável?
3. Qual o grau de maturidade das inovações sustentáveis (inovação radical / incremental) de processo/produto que a usina tem desenvolvido? Outras usinas desenvolvem projetos iguais ou semelhantes? Houve registro de propriedade intelectual no invento (patentes, por exemplo)?

4. Após aplicação da ADA, a empresa adotou práticas organizacionais que facilitam o desenvolvimento de inovação sustentável? Comente.
5. Após aplicação da ADA, a empresa buscou a inovação sustentável para atender à quais necessidades, demandas e expectativas? Comente.
6. Qual tipo de resultado de inovação sustentável se alcançou após aplicação da ADA? Comente.
 - a. Inovação tecnológica,
 - b. Inovação de produto e serviço,
 - c. Inovação de processo,
 - d. Inovação organizacional,
 - e. Inovação de gestão
 - f. Inovação em máquinas e equipamentos
7. Como foram desenvolvidas essas inovações de processo/produto após aplicação da ADA? Quais desafios enfrentaram para desenvolver essas inovações?
8. Qual o investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) no período de 2017 a 2022?
9. Qual o número de patentes registradas no período 2017 a 2022 em decorrência das inovações desenvolvidas após aplicação da ADA?
10. Qual a quantidade de novos produtos ou serviços lançados no período 2017 a 2022? Qual a quantidade de produtos ou serviços existentes?
11. A empresa possui tecnologias tangíveis, experiência intangível e conhecimento especializado que ajuda a desenvolver produtos e processos sustentáveis? Comente.
12. A inovação sustentável é um componente importante da estratégia de gestão ambiental da empresa? A empresa faz todos os esforços para vincular objetivos ambientais com outros objetivos corporativos? Comente.
13. Quais benefícios ambiental, social e econômico foram evidenciados com o desenvolvimento de inovação sustentável após aplicação da ADA?

14. Referente aos benefícios ambiental, social e econômico relacionados à inovação sustentável, que fatores motivaram a empresa a buscar o desenvolvimento de inovação sustentável? Comente.
15. Após aplicação da ADA, a empresa esteve constantemente engajada no desenvolvimento de produtos e processos que minimizem o impacto ambiental? Comente.
16. Após aplicação da ADA, os gestores de nível estratégico estiveram envolvidos na formulação de políticas ambientais? Comente.
17. Após aplicação da ADA, os gerentes de nível tático estiveram envolvidos na aplicação de políticas ambientais? Comente.

Os tópicos a seguir descrevem os fatores determinantes referentes às alianças realizadas e os tipos de proximidades existentes durante o desenvolvimento de inovação sustentável em sua empresa após aplicação da ferramenta de Avaliação de Desempenho Ambiental (ADA) no período 2017 a 2022.

Para o desenvolvimento dessas tecnologias a usina tem participação em alianças para inovação sustentável?

Sim ou Não.

Se a sua resposta foi “Não”, responda as questões abaixo:

1. O que motivou a desenvolver os projetos de inovação sustentável sem alianças?
2. Quais as principais dificuldades enfrentadas nesse período para o desenvolvimento de projetos de inovação sustentável sem a formação de alianças?

Se a sua resposta foi “Sim”, responda as questões abaixo:

1. O que levou a formação da aliança?
2. Qual o tamanho do parceiro?
3. Qual o objetivo da aliança?

4. Qual tipo de resultado de inovação sustentável se alcançou com a parceria? Inovações radicais ou inovações incrementais?
 - a. Houve lançamento de novos produtos ou serviços?
 - b. Houve redução de custos?
 - c. Houve aumento de receitas?
 - d. Houve melhoria da eficiência operacional?
 - e. Houve Aumentar o nível de automação das operações?
 - f. Realizaram pesquisas de satisfação dos clientes?
 - g. Houve ajustes para manter os clientes atuais satisfeitos?
 - h. Houve aprofundamento na base de clientes existentes?
 - i. Houve novas ideias tecnológicas geradas?
 - j. Qual a taxa de sucesso das ideias geradas?
 - k. Qual investimento em P&D?
 - l. Houve registro de patentes?
 - m. Houve colaboração com parceiros externos?
 - n. Houve a criação de novos produtos ou serviços que são inovadores para a empresa?
5. Onde está localizado o parceiro?
6. Como foi iniciado o contato entre os parceiros?
 - a. Houve parceria anteriormente?
 - b. Já tiveram experiências profissionais em comum? (Inclusive amizade)
 - c. Conhecia a reputação do parceiro?
 - d. Qual o tempo de parceria?
7. Se não havia nenhum contato anterior ao projeto, por que escolheu ele? Como chegou a ele? Qual o histórico do desenvolvimento da aliança?
8. Qual a similaridade técnica entre vocês? Complementar? Quão diferente?
 - a. Possuem a mesma base de conhecimento?
 - b. Possuem o mesmo nível de experiência?
 - c. Utilizam a mesma linguagem (técnica)?
 - d. Tem o mesmo nível educacional?
9. Quais ações são tomadas para que o conhecimento realmente seja trocado?
 - a. Plataforma online

- b. Reuniões / Eventos
 - c. Intercâmbio de pesquisadores
 - d. Documentos.
 - e. Outros. Comente.
10. Qual é o tipo de parceria estabelecido?
- a. Unidade própria
 - b. Parceria com instituto de pesquisa
 - c. Alianças contratuais formalizadas
 - d. Outros. Comente.
11. Como é feita a coordenação das atividades?
- a. Existe um responsável pelo projeto? Onde ele fica?
 - b. Qual o grau de participação e envolvimento dos responsáveis no projeto?
12. Quais são as semelhas e diferenças na cultura, hábito e valores do parceiro? Exemplos.
- a. Similaridade cultural (Em nível de país e de empresa);
 - b. Valores parecidos;
 - c. Regras trabalhistas parecidas;
 - d. Hábitos e rotinas semelhantes;
 - e. Fuso horário.
13. Sobre as características do parceiro o que é mais decisivo para o alcance de resultados de inovação sustentável?
14. Qual tipo de proximidade o entrevistado julga mais importante para alcançar resultados de inovação sustentável?
15. Quais são as principais dificuldades enfrentadas ao ter um parceiro e como superaram essas dificuldades?