



APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E  
ALTERNATIVAS DE COMBINAÇÃO COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA  
PARA ANÁLISE DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO E DE  
EFICIÊNCIA DE PROCESSOS

Alexandre Portela de Abreu

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Lino Marujo

Rio de Janeiro

Julho de 2022

APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E  
ALTERNATIVAS DE COMBINAÇÃO COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA  
PARA ANÁLISE DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO E DE  
EFICIÊNCIA DE PROCESSOS

Alexandre Portela de Abreu

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

---

Prof. Lino Guimarães Marujo, D.Sc.

---

Prof. Ana Carolina Angelo, D.Sc.

---

Prof. Pedro Senna, D.Sc.

---

Prof. Luan dos Santos, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2022

Portela, Alexandre de Abreu

Aplicação dos Princípios de Produção Mais Limpa e Alternativas de Combinação com Avaliação do Ciclo de Vida Para Análise de Mitigação de Emissões de Carbono e de Eficiência de Processos / Alexandre Portela de Abreu. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2022.

XII, 70 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Lino Guimarães Marujo

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2022.

Referências Bibliográficas: p. 71-77.

1. Mitigação das Emissões de Carbono. 2. Produção Mais Limpas. 3. Avaliação do Ciclo de Vida. 4. Eficiência Produtiva. I. Marujo, Lino Guimarães. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

DEDICATÓRIA

Aos meus avós.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aos Deuses, à existência pelo dom da vida e sua conexão a natureza. A minha família pelo apoio e compreensão.

Ao Programa de Engenharia de Produção da COPPE/UFRJ pelo apoio necessário para a realização da dissertação e ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), pela Bolsa que me foi concedida durante o período de dois anos do mestrado.

Ao meu orientador e mentor Prof. Dr. Lino Guimarães Marujo, por me incentivar, acreditar no meu potencial e por ter sido um amigo nesta caminhada do mestrado em plena situação de pandemia da COVID 19. Aos professores Pedro Senna e Ana Carolina pelo ensinamento primordial no início da pesquisa de dissertação.

Aos amigos de mestrado da turma de 2019, especialmente as amizades realizadas no período ao longo da disciplina de Estatística e agradecimento aos professores presentes na banca.

Enfim, a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste estudo.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E  
ALTERNATIVAS DE COMBINAÇÃO COM AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA  
PARA ANÁLISE DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE CARBONO E DE  
EFICIÊNCIA DE PROCESSOS

Alexandre Portela de Abreu

Julho/2022

Orientador: Lino Guimarães Marujo

Programa: Engenharia de Produção

O foco central da Produção Mais Limpa (P+L) é a melhoria contínua dos processos, enquanto a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem como foco o diagnóstico ambiental de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. Nesse contexto, este trabalho desenvolve um modelo teórico de aplicação utilizando duas abordagens ambientais que foram criadas em momentos distintos, porém podem trabalhar de forma combinadas direcionadas a mitigação das emissões de carbono. A pesquisa analisa as duas abordagens do ponto de vista ambiental, social, econômico e sua evolução. Para a presente dissertação foi utilizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) com o objetivo de explorar na literatura, estudos de P+L e ACV direcionados a mitigação das emissões de carbono e a forma combinada das duas técnicas. A partir do resultado da RSL foi possível identificar quais países estão abordando os assuntos, os caminhos que estão sendo utilizados para mapear meios de aplicação das duas abordagens, fundamentar a formação de hipótese para evidenciar a técnica proposta e responder perguntas de pesquisas que fazem parte do escopo do estudo. Assim, de forma geral o trabalho contribui expondo que ao avaliar pontos de intensidades de emissões durante as diferentes fases do ciclo de vida de um produto durante seu processo de produção pode auxiliar a identificar pontos críticos de atividades intensivas emissoras de carbono. Exposto isso, a ACV pode ser uma ferramenta promissora para uma rápida avaliação e seleção de alternativas mais sustentáveis, usada de forma integrada a P+L.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

APPLICATION OF CLEANER PRODUCTION PRINCIPLES AND COMBINATION  
ALTERNATIVES WITH LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR CARBON EMISSION  
MITIGATION AND PROCESS EFFICIENCY ANALYSIS

Alexandre Portela de Abreu

July/2022

Advisor: Lino Guimarães Marujo

Department: Production Engineering Program

The central focus of Cleaner Production (CP) is the continuous improvement of the processes, while the Life Cycle Assessment (LCA) focuses on the environmental diagnosis of a product or service throughout its life cycle. In this context, this work develops a theoretical model of an application using two environmental approaches that were created at different times but can work in a combined way aimed at mitigating carbon emissions. The research analyzes the two approaches from an environmental, social, economic point of view and their evolution. For the present dissertation, a systematic literature review (SLR) was used to explore in the literature, CP and LCA studies aimed at mitigating carbon emissions and the combined ways of the two techniques. From the result of the RSL, it was possible to identify which countries are addressing the issues, the ways that are being used to map means of application of the two approaches, to support the formation of hypotheses to evidence the proposed technique, and to answer research questions that are part of the scope of the study. Thus, in general, the work exposes that when evaluating points of emission intensities during the different phases of the life cycle of a product during its production process, it can help identify critical points of intensive carbon-emitting activities. Exposed this, LCA can be a promising tool for a quick evaluation and selection of more sustainable alternatives, used in an integrated way with P+L.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA .....</b>	<b>1</b>
1.2. PROBLEMA DE PESQUISA.....	5
1.3. OBJETIVOS DO ESTUDO .....	7
1.4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO .....	8
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	11
<b>2. CONTEXTUALIZAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA .....</b>	<b>11</b>
2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	11
2.2. PRODUÇÃO MAIS LIMPA .....	11
2.2.1. A ORIGEM DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA (CLEANER PRODUCTION) E SUA EVOLUÇÃO PARA RESOURCE EFFICIENT AND CLEANER PRODUCTION .....	12
2.2.2. P+L NO CAMINHO DA SUSTENTABILIDADE.....	15
2.2.3. APLICAÇÃO E VANTAGENS .....	16
2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	18
2.3.1. UMA BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ORIGEM DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	19
2.3.2. O CICLO DE VIDA .....	20
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	23
<b>3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....</b>	<b>24</b>
3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	24
3.2. COLETA DE DADOS .....	25
3.2.1. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS.....	27
3.3. LIMITAÇÕES DA COLETA DE DADOS .....	28
3.4. SELEÇÃO DOS ESTUDOS .....	29
3.5. FLUXO DO TRABALHO ADOTADO PARA A RSL .....	30
3.6. PERGUNTAS DE PESQUISA .....	31
3.6.1. SELEÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	32
3.6.2. DEFINIÇÃO DOS TERMOS DA PESQUISA .....	33
3.6.3. PROTOCOLO PRISMA.....	33
3.7. ILUSTRAÇÃO DOS RESULTADOS DA RSL .....	34
3.7.1. CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR SEGUIMENTO .....	34
3.7.2. ANÁLISE DOS ARTIGOS .....	36
3.7.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....	38
3.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	43
<b>4. CORRELAÇÃO ENTRE P+L E ACV .....</b>	<b>44</b>

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	44
4.2. P+L PARA MELHORIAS DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL .....	45
4.2.1. ESTUDOS DE P+L & ACV APLICADOS DE FORMA COMBINADAS 49	
4.2.2. REPRESENTAÇÃO GENÉRICA.....	54
4.2.3. MODELO TEÓRICO DE APLICAÇÃO PROPOSTO.....	58
4.2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO .....</b>	<b>67</b>
5.1. CONCLUSÃO .....	67
5.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS .....	70
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>78</b>

## Índice de Figuras

Figura 1: Estrutura da pesquisa pagina.....	10
Figura 2: Processo de Metodologia da Pesquisa.....	27
Figura 3: Mendeley® Software.....	28
Figura 4: Fluxo de trabalho da RSL.....	31
Figura 5: Critério da base de pesquisa.....	33
Figura 6: Distribuição dos Seguintos.....	35
Figura 7: Distribuição dos artigos por data de publicação.....	36
Figura 8: Países por publicação.....	38
Figura 9: Distribuição de artigos por autor e título.....	39
Figura 10: Distribuição total dos artigos por periódicos.....	40
Figura 11: Nuvem de palavras dos artigos de ACV.....	41
Figura 12: Nuvem de palavras dos artigos de P+L.....	42
Figura 13: Nuvem de palavras dos artigos de P+L & ACV.....	43
Figura 14: Vantagens ou desvantagens compreendidas.....	47
Figura 15: Artigos de P+L & ACV.....	52
Figura 16: Países por publicação.....	54
Figura 17: Representação genérica pelo diagrama de caminho.....	57
Figura 18: Modelo teórico de aplicação de P+L & ACV.....	59
Figura 19: Fluxograma otimizado.....	64
Figura 20: Princípios para aplicação da Metodologia.....	65

## Índice de Tabelas

Tabela 1: Filtros de pesquisa pagina.....	26
Tabela 2: Distribuição de seguimentos por abordagem e método de aplicação P+L & ACV.....	35
Tabela 3: De distribuição de artigos de ACV por data de publicação.....	37
Tabela 4: Distribuição de artigos de P+L.....	37
Tabela 5: Distribuição de artigos de P+L & ACV.....	37
Tabela 6: Pontos em comum de uma aplicação combinada.....	48
Tabela 7: sequência da aplicação da abordagem.....	50

## Lista de Siglas

ACV – Avaliação do ciclo de vida

BMP – Best Management Practices

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CFs – Carbon Footprint

CNTL – Centro Nacional De Tecnologias Limpas

CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e o desenvolvimento

GEE – Gases Do Efeito Estufa

GWP – Global Warming Potential

ILCD – International Reference Life Cycle Data System

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change

ISO – International Organization For Standardization

LCM – Life Cycle Management

LCI – Life Cycle Inventory

LCIA – Life Cycle Impact Assessment

LCI – Life Cycle Initiative

OECD – Organization For Economic Cooperation And Development

ODS – Objetivos De Desenvolvimento Sustentável

ONGs – Organizações Não Governamentais

P+L – Produção Mais Limpa

PRISMA – Preferred Reporting Items For Systematic Reviews And Meta-Analyzes

PNUMA – Programa Das Nações Unidas Para O Meio Ambiente

RECP – Resource Efficient And Cleaner Production

RECP net – Global Network For Resource Efficient And Cleaner Production

RSL – Revisão Sistemática Da Literatura

SETAC – Society Of Environmental Toxicology And Chemistry

SAIC – Scientific Applications International Corporation

UNEP – United Nations Environmental Programme

UNIDO – United Nations Industrial Development Organization

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA

A produção em larga escala resultante da Revolução Industrial, fez com que, por muito tempo, não houvesse uma preocupação explícita com os níveis de emissões de carbono durante os processos industriais, as mudanças climáticas e sustentabilidade ambiental. Braga *et al.* (2012) argumentam que desde que surgiram os primeiros ancestrais do homem na superfície da terra, há aproximadamente um milhão de anos e a descoberta do fogo, aproximadamente 800 mil anos antes de Cristo, o homem tem atuado de forma transformadora e muitas vezes predatória sobre a natureza. Os autores acrescentam que as primeiras preocupações com a qualidade do ar apareceram na era pré-cristã, devido ao uso de carvão como combustível, se agravando durante os primeiros séculos da história pós cristã, passando pela Revolução Industrial e pelo crescimento das cidades. Nota-se, portanto, que o aquecimento antropogênico representa um dos desafios ecológicos cruciais do século 21 (GEBLER *et al.*, 2020).

Estima-se que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de 0,8°C a 1,2°C. Consequentemente, é provável que o aquecimento global atinja 1,5 °C entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual. Riscos associados ao clima para o sistema natural e humano são maiores para o aquecimento global de 1,5°C que para o atual, mas ainda menores que para 2°C. Esses riscos dependem da magnitude e ritmo do aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade e da implementação de opções de mitigação (IPCC 2018).

Por conseguinte, é reconhecido que as emissões de gases do efeito estufa de fontes antropogênicas aceleram os impactos das mudanças climáticas, nesse contexto, governos e empresas realizam esforços para redução das emissões de GEE por meio de políticas e ações. Para determinar quais ações priorizar entre várias opções, os benefícios da redução das emissões são frequentemente monetizados, para comparar com os custos da ação ou com benefícios que podem ser obtidos de outras ações (DONG *et al.*, 2019). As causas e implicações das mudanças climáticas estão atualmente na vanguarda de muitas agendas de pesquisa, países que ratificaram

o Protocolo de Kyoto estão em acordo para focar e reduzir as emissões de gases de efeito estufa causadores de impactos no ambiente natural e antropogênico (ENGELBRECHT *et al.*, 2015). Toda via, a partir de 2020, o Protocolo de Kyoto, foi substituído pelo atual Acordo de Paris: Um acordo mundial com o objetivo único de reduzir o aquecimento global. Ele foi discutido entre 195 países durante a COP21, em Paris. O compromisso internacional foi aprovado em 12 de dezembro de 2015 e entrou em vigor oficialmente no dia 4 de novembro de 2016.

Low e Ridley (1993) evidenciam que arqueólogos e antropólogos, estão chegando à conclusão de que a população pré-industrial foram tão capazes de má gestão ambiental como a população moderna, e que a lenda de uma era de harmonia ambiental antes de nós é um mito. Assinala-se ainda que com as exigências do cenário competitivo atual as empresas estão adotando medidas que visam tanto à sustentabilidade de seus processos quanto ao aumento da produtividade e medidas para a diminuição de GEE. Neste sentido, Amato Neto (2011) ressalta que sucessivos fóruns internacionais ao longo das últimas duas décadas vêm reiterando a preocupação com o direcionamento dos modelos desenvolvidos no pós-guerra, que supervalorizavam a dimensão econômica do desenvolvimento. Complementando, que ao longo de praticamente todo o século XX, o processo de industrialização fundamentado no paradigma Taylorista/Fordista priorizava a produção em larga escala com o consumo excessivo de energia, água e matérias-primas.

Com a globalização e o desenvolvimento industrial, as preocupações com a poluição e o meio ambiente abrange um nível global, considerando que qualquer degradação ambiental pode comprometer todo um ecossistema local e gerar impactos negativos em diferentes biomassas (SEVERO *et al.*, 2015). Segundo o IPCC (2019), as emissões de gases de efeito estufa são produzidas a partir de uma ampla variedade de atividades industriais. As principais fontes de emissão são as emissões de processos industriais que transformam química ou fisicamente os materiais. Durante os processos, diferentes gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorcarbonetos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs) e outros compostos fluorados, como pentafluoreto de trifluorometil enxofre (SF<sub>5</sub>CF<sub>3</sub>) podem ser produzidos e emitidos.

Neste cenário, a preocupação com os problemas ambientais obriga cidadãos e empresas a reduzirem o desperdício, ao mesmo tempo incentiva a reciclagem, reutilização e remanufatura de bens (DE GUIMARÃES *et al.*, 2018). Por outro lado,

a intensidade do carbono é um descritor importante e um *proxy* amplamente usado para os impactos ambientais dos produtos. Produtos exportados de economia intensiva em carbono estão se tornando vulneráveis às barreiras de *soft-trade*. Produtores e clientes, necessitam estar cientes sobre o processo de manufatura desses produtos (DE KOCK *et al.*, 2019). Nesse contexto, a estabilização da mudança climática em 1,5 e 2 °C, em conformidade com o acordo de Paris, exige metas para atingir emissões zero líquidas globais até 2050. O que impõe a necessidade de transição para sociedades de baixo carbono (GEBLER *et al.*, 2020).

Por um lado, medidas ambientais podem ser vistas pelas indústrias como negativas e incômodas. Por outro lado, podem representar oportunidades competitivas no mercado, melhores formas de relacionamento com agências regulamentadoras e comunidade em geral. Existe também, um destaque pela mídia sobre importância do Sistema de Gestão Ambiental e outras certificações previstas pela série ISO 14000. Internamente, isso proporciona a oportunidade de avaliar custos ambientais ocultos e contingenciais que fazem parte do *overhead* da empresa. Estes podem resultar do consumo excessivo de recursos (água, energia, matérias-primas etc.) (CONTADOR, 2010). Desta forma, as organizações estão caminhando em direção à sustentabilidade ambiental por meio de pressões coercitivas e normativas (SEVERO *et al.*, 2015).

Além disso, o mercado e a sociedade têm uma visão holística das questões ambientais não se preocupando apenas com os benefícios econômicos, como também com as consequências que esses benefícios têm para o meio ambiente. Assim, a procura por produtos e serviços que não agridem o meio ambiente tem aumentado levando as empresas atentarem às inovações e a incorporar medidas ambientais em seus processos a fim de atender às exigências do mercado (SANTOS *et al.*, 2020). Por conseguinte, as questões ambientais formam o núcleo central do conceito de desenvolvimento sustentável e refletem as preocupações da sociedade pós-era industrial. Desse modo, o conceito de sustentabilidade resgata histórica e etimologicamente o termo economia. Consequentemente, as organizações estão cada vez mais preocupadas com o meio ambiente e vêm buscando alternativas tecnológicas mais limpas e matérias primas menos tóxicas, a fim de reduzir o impacto e a degradação do meio ambiente (PRADO FILHO, 2010).

Contemporaneamente, com as preocupações ambientais em relação ao clima do planeta, atenção as questões sociais e as pressões econômicas, verifica-se a

necessidade da adoção de um novo paradigma para o desenvolvimento global. Em 1987, a “Comissão Mundial de Desenvolvimento e Meio Ambiente” propôs o conceito de desenvolvimento sustentável, sendo uma transição e um grande desafio rumo a um desenvolvimento e sustentável e uma economia de baixo carbono. Os países e as empresas que se adequarem por esta transição, estarão mais adaptadas ao futuro, ou seja, um novo modelo de mercado global. Portanto nessa conjuntura, declarações de produtos ambientais são úteis, contudo, outras maneiras precisam ser encontradas para informar os formuladores de políticas como também para influenciar os consumidores ao alcançarem um consumo sustentável (HERTWICH, 2005).

Destaca-se ainda que conceitos como de inovações sustentáveis e responsáveis respondem a problemas enfrentados por governos, empresas, organizações e indivíduos. E nos últimos anos é responsável por uma crescente atenção de universidades e pesquisadores, devido à sua multidimensionalidade, suas ideias correspondem a questões de pesquisa considerada centrais em muitas áreas (SUDOLSKA *et al.*, 2019). Clabeaux *et al.* (2020) complementam que instituições de ensino superior estão avaliando e objetivando reduzir suas emissões de gases do efeito estufa em resposta aos efeitos antrópicos do sistema climático global.

Desta forma, o objetivo do desenvolvimento sustentável é a obtenção de processos de produção, ciclos de produto e padrões de consumo que permitam o desenvolvimento humano sem degradar os ecossistemas onde esse desenvolvimento se processa (SILVA, 1996). Segundo a Declaração Internacional sobre Produção Mais Limpa (1999), ações de melhoria para o ambiente global devem incluir práticas de produção e consumo sustentável. Assim, a Produção Mais Limpa aplicada de forma continuada a uma estratégia preventiva integrada a processos visa reduzir riscos para o ambiente e conseguir benefícios econômicos para as empresas. Conceito ao qual desenvolvido em 1997 pela UNEP e frequentemente citado (HENS *et al.*, 2018).

Nesse contexto, aplicando técnicas de forma combinadas de Produção Mais Limpa integrada a técnica de Avaliação do Ciclo de Vida se pressupõe alcançar o propósito de uma produção e consumo sustentável. Prado Filho (2010) explicita que “[...] não há mais lugar para apenas se obter lucro à custa do comprometimento do meio ambiente.”

Em vista disso, verifica-se a necessidade de mudar esse modelo linear em

algo de novo, um modelo que não desperdice recursos, não afete as pessoas e que reduza os riscos para o clima. Formando maneiras combinadas de técnicas com características diferentes, mas com objetivos iguais pela busca por eficiência ambiental e sustentabilidade, e validar que juntas podem auxiliar na qualidade de produtos, processos, serviços e de dar suporte na tomada de decisão rumo a uma sociedade de baixo carbono.

## 1.2. PROBLEMA DE PESQUISA

Sem esforços de mitigação adicionais, além daqueles em vigor hoje, o aquecimento até o final do século 21 levará a um alto risco de impactos graves, generalizados e irreversíveis globalmente. Reduções substanciais de emissões nas próximas décadas podem reduzir os riscos climáticos e além: contribuir para caminhos resilientes ao clima para o desenvolvimento sustentável (PACHAURI *et al.*, 2014). Em concordância o setor de manufatura pode ser citado como um dos primeiros promotores de estratégias de desenvolvimento de baixo carbono em muitos países (MENG *et al.*, 2017). Consoante Gebler *et al.* (2020) comenta que o caminho para a mitigação conduzirá a vários desafios para a redução efetiva de GWP.

O Acordo de Paris, firmado em 2015, representa um marco para requalificar o desenvolvimento socioeconômico no planeta, de forma a adotar um novo modelo: a economia de baixo carbono. O Acordo exige, portanto, que os países signatários se planejem a médio e longo prazo, de forma a garantir uma trajetória sem volta de transição para uma economia de baixo carbono e traz em si metas para limitar o aumento da temperatura média global até o fim do século, com relação aos níveis pré-industriais. É essencial que todos os países assumam o compromisso de um desenvolvimento baseado em uma profunda redução das emissões provenientes das suas atividades econômicas até o meio do século. Desse modo, é importante que as empresas, para estarem alinhadas com as metas nacionais e globais, busquem estabelecer metas de mitigação baseadas na ciência (CEBDS, 2017).

Ainda que o efeito estufa esteja sendo cada vez mais discutido nos últimos anos, as emissões antropogênicas de carbono continuam aumentando em vez de diminuir, vários estudos de redução de emissões têm se concentrado em setores como os de alto consumo de energia (GUO *et al.*, 2019). Portanto o mundo se encontra em

um momento de enormes desafios, como as mudanças climáticas e descarbonização das suas economias, que são temas que afligem a capacidade dos países ao alcançarem um desenvolvimento sustentável. No entanto, é um momento de enormes oportunidades. O setor industrial e a agricultura podem ser citados como as atividades que mais contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, degradação da qualidade da água e do ar em todo o mundo. O uso racional dos recursos naturais e a eficiência nos processos de produção e etapas de plantio podem reduzir os impactos ambientais e são essenciais para uma produção mais limpa no mundo. Conforme Hens *et al.* (2018), a produção mais limpa se tornará cada vez mais uma parte importante da visão, estratégia, política e gestão nos setores de produção (indústria, agricultura, silvicultura, aquicultura).

É nesse contexto em que a Produção Mais Limpas (P+L) e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) surgem como alternativas no processo produtivo e prestação de serviços, atuando na redução de resíduos, gases tóxicos e efluentes, otimização do uso de água e de energia, além de melhores condições de saúde e segurança aos colaboradores e à população de forma geral.

Embora, contemplasse alguns estudos aplicando meios de P+L e ACV combinados em distintos processos como de construção (CABELLO ERAS *et al.*, 2013), indústria siderúrgica (ZHANG *et al.*, 2016), automotivo (LOPES SILVA *et al.*, 2018), agricultura (LOPES *et al.*, 2018), indústria madeireira (PANAMENÑO *et al.*, 2019) e produção de glutamato monossódico (YANG *et al.*, 2020), a modalidade de Revisão Sistemática da literatura utilizada nesse estudo, revela uma lacuna no uso dessa combinação direcionada à mitigação das emissões de carbono. Ainda que existam pesquisas sobre a avaliação quantitativa da tecnologia de P+L, há poucos estudos conduzidos na perspectiva *low-carbon*. (MENG *et al.*, 2017). Como estudos que vinculam a produção mais limpa aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (NETO *et al.*, 2019). Conforme Hens *et al.* (2018), durante os últimos anos, grandes progressos têm sido realizados na integração da P+L na paisagem cada vez maior de áreas onde o conceito é aplicado, entretanto, os investimentos intelectuais em ferramentas fundamentais, aplicadas e práticas continuam a ser necessários. Além disso, o campo de aplicação mais amplo gera novas necessidades.

Nesse contexto, a análise da literatura não identificou documentos que mapearam sistematicamente a P+L e ACV de forma combinada a mitigação das emissões de carbono. A partir da relevância, conclui-se que é fundamental avaliar o

uso dessas ferramentas de forma conjugada direcionadas a esse campo de pesquisa e preencher esse gap na literatura. Uma vez que, um problema de pesquisa é o problema ou questão que conduz a necessidade de um estudo (CRESWELL, 2010).

Para tanto, uma metodologia dividida em tópicos é necessária para garantir robustez à pesquisa, assegurar uma estrutura que aborde as técnicas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida, mapeando esse campo de pesquisa e propor novas oportunidades de processos. A motivação que direciona em tal objetivo é a de apresentar procedimentos ambientalmente corretos visando uma descarbonização em distintos setores da economia, contribuir com o desenvolvimento de uma sociedade de baixo carbono, medidas de adaptação às mudanças climáticas e de atender às agendas globais, dentre elas o Acordo de Paris.

Perante o exposto, o problema de pesquisa é traduzido através do pressuposto de que existe uma relação entre as técnicas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida e do atributo mitigação das emissões de carbono.

Neste sentido, é importante apresentar conceitos teóricos e práticos que embasam a formação de uma estrutura para evidenciar essas relações e chegar a um modelo teórico para a qual a ACV avalie e complemente as ações tomadas durante uma aplicação de P+L com o contexto de mitigar as emissões de carbono. Assim, os conceitos abordados para o desenvolvimento da pesquisa de dissertação de mestrado, são centrados em seus elementos chave: produção mais limpa, avaliação do ciclo de vida e mitigação das emissões de carbono, bem como as mudanças climáticas.

### 1.3. OBJETIVOS DO ESTUDO

- OBJETIVO PRINCIPAL

A presente pesquisa tem como objetivo principal construir uma estrutura conceitual para avaliar o uso combinado dos programas de produção mais limpa e de avaliação do ciclo de vida direcionados para a mitigação das emissões de carbono.

- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- 1- Revisar os princípios básicos das metodologias de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida;
- 2- Analisar na literatura vigente estudos que direcionam de alguma forma os programas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida a mitigação das emissões de carbono, e a forma combinada dessas técnicas através de uma revisão sistemática da literatura;
- 3- Criar uma metodologia dividida em tópicos para fornecer robustez e consistência a estrutura conceitual;
- 4- Propor um modelo teórico para a aplicação das abordagens de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida direcionada a mitigação das emissões de carbono embasado na avaliação da estrutura conceitual.

#### 1.4. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Para a realização do presente estudo, foi organizado um banco de dados formados por periódicos, teses, manuais técnicos e documentos extraídos de sites como da ONU e do Ministério do Meio Ambiente.

O método utilizado neste estudo trata-se de uma pesquisa qualitativa e exploratória, pois poucas pesquisas foram realizadas a respeito (CRESWELL, 2010). Consecutivamente, a pesquisa pode ser classificada, com as seguintes características, aplicada, quanto aos seus fins, dado que, busca propiciar conhecimento e meios através de análises de casos aplicados com o objetivo de chegar a um modelo teórico de aplicação com base na literatura avaliada para o desenvolvimento de ações ambientais mais robustas direcionadas a emissões de carbono. Tal como, descritiva, explicativa e bibliográfica, quanto aos seus meios (Gill, 2008).

Descritiva, uma vez que, descreve as características das duas abordagens de forma individual e combinada estabelecendo relações entre essas variáveis. Explicativa, do ponto de vista que, tem a dedicação de identificar fatores que contribuem para uma melhor escolha de aplicação das abordagens. E Bibliográfica, em razão da Revisão Sistemática da literatura referente a produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida com o propósito de analisar o contexto teórico, em especial atenção a textos que investigam a relação dessas abordagens com a mitigação das emissões de carbono e estudos que analisam a sinergia entre os conceitos para posteriormente servi como base para responder questões de pesquisas, formulação

de hipóteses e a proposta de um modelo teórico de aplicação do método embasado na literatura analisada.

Para Creswell (2010), a revisão da literatura ajuda a determinar se vale a pena estudar o tópico e proporciona *insights* sobre as maneiras em que o pesquisador pode limitar o escopo para uma área de investigação necessária.

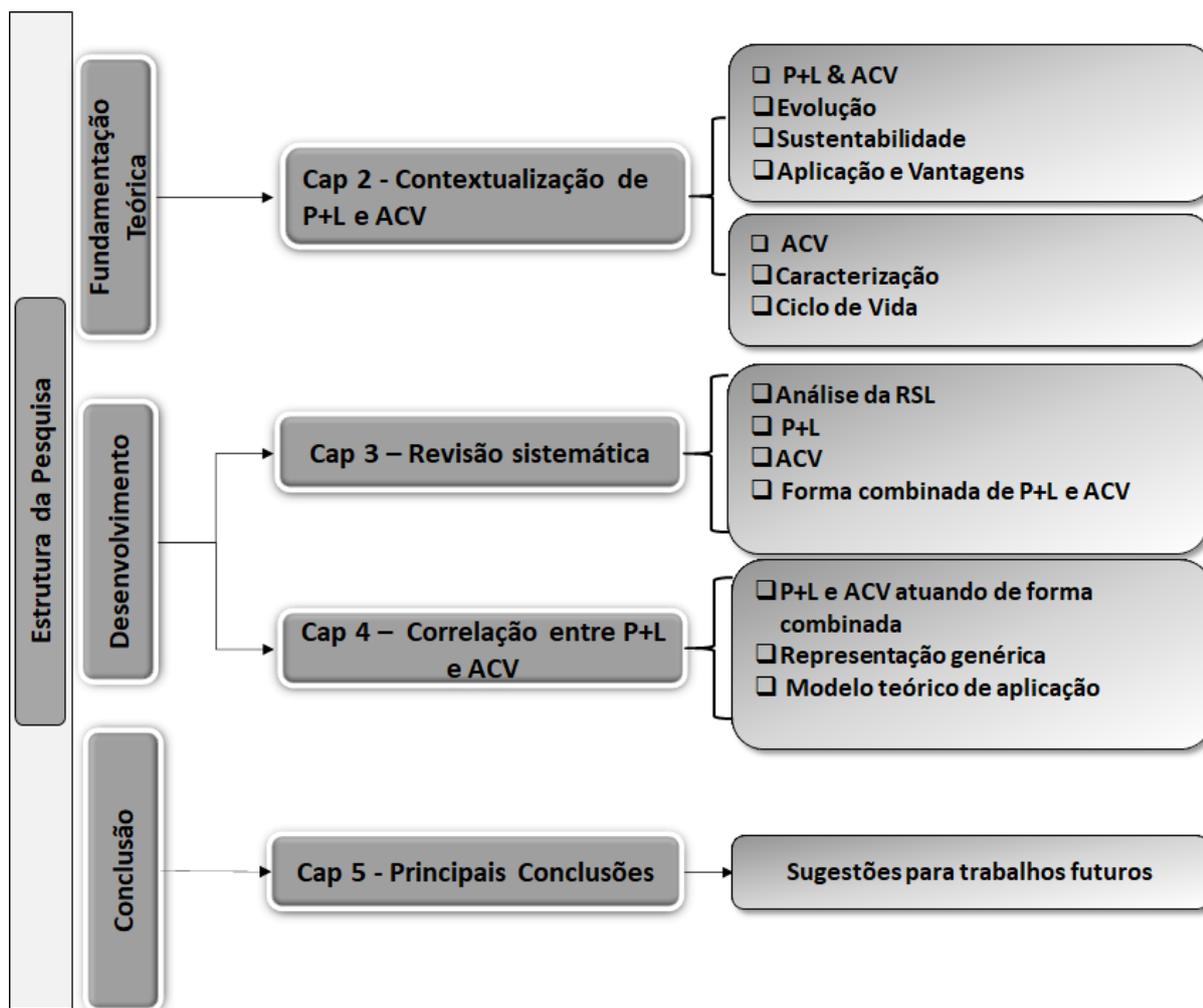
Sequentemente, uma revisão sistemática é uma revisão de uma questão claramente formulada que usa métodos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes e para coletar e analisar dados dos estudos incluídos na revisão. Assim, tenta reunir todas as evidências empíricas que se enquadram nos critérios de elegibilidade pré-especificados para responder a uma pergunta de pesquisa específica, usando métodos explícitos e sistemáticos, que fornecem resultados confiáveis a partir dos quais podem ser tiradas conclusões e tomadas de decisões (LIBERATI *et al.*, 2009; MOHER *et al.*, 2009).

Para Fleury *et al.* (2018), normalmente uma pesquisa parte de um problema, desse problema são geradas informações para delimitar o tema e o objetivo, isso permite criar foco para concentrar os esforços e recursos. Por fim, um relatório é indicado para compartilhar o conhecimento gerado. Nesse contexto, esse relatório poderia vir a corroborar ou não sobre a sinergia entre as duas abordagens.

Como metodologia da pesquisa, existem três fases distintas:

- 1) Elaboração do referencial teórico;
- 2) Desenvolvimento da revisão sistemática da literatura, elaboração da análise e do modelo teórico proposto;
- 3) Conclusão.

A figura 1 apresenta as principais etapas utilizadas para a realização da pesquisa, assim como os procedimentos metodológicos traçados:



**Figura 1:** Estrutura da pesquisa  
**Fonte:** Autor

## 1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para que os objetivos sejam alcançados, esta dissertação é organizada da seguinte forma: Um capítulo introdutório que aborda a contextualização e importância, o problema de pesquisa, objetivos do estudo, procedimento metodológico e a estrutura da dissertação;

O capítulo 2 que apresenta uma fundamentação teórica sobre os princípios de produção mais limpa e de avaliação do ciclo de vida, como a evolução das abordagens ao longo do tempo e suas vantagens;

Na sequência, o capítulo 3 retrata os métodos empregados para a coleta de dados e análise dos estudos. Como expõe as lacunas identificadas, as limitações da pesquisa, as respostas as questões de pesquisa e os resultados da revisão sistemática da literatura.

O capítulo 4 aborda a correlação entre a P+L e ACV, apresentando métodos de aplicação encontrados na literatura e um quadro comparativo entre as duas abordagens. Ilustra as evidências dessa correlação e por fim propõe um modelo teórico de aplicação.

No capítulo 5 a dissertação é encerrada com conclusões gerais e futuras pesquisas.

## **2 CONTEXTUALIZAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA E AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

### 2.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O capítulo é dividido em duas seções que apresentam cada uma as evidências empíricas e os desdobramentos dos conceitos básicos sobre as técnicas de P+L e ACV. Como suas vantagens, percepções e barreiras relacionadas as duas abordagens, além de ser fundamentado pelas hipóteses que suportam o Modelo Teórico da pesquisa.

### 2.2. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

O objetivo desta seção é apresentar a caracterização da P+L e sua evolução

conforme o tempo. Descrever também o seu avanço no caminho da sustentabilidade diante do cenário de crise ambiental global, suas vantagens e aplicações na busca por padrões mais elevado de produção. E de como a abordagem pode contribuir para um processo mais sustentável de produção e consumo.

### 2.2.1. A ORIGEM DA PRODUÇÃO MAIS LIMPA (CLEANER PRODUCTION) E SUA EVOLUÇÃO PARA RESOURCE EFFICIENT AND CLEANER PRODUCTION

No ano de 1989 o Programa das Nações Unidas para o meio ambiente, PNUMA (*United Nations Environmental Program – UNEP*), lançou o programa de Produção Mais Limpa (P+L). O programa foi realizado por meio de uma parceria com organizações intergovernamentais, como a *United Nations Industrial Development Organization (UNIDO)*, o Banco Mundial, o Banco Asiático para o Desenvolvimento, a *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*, a *the International Labour Organization (ILO)* e parcerias com ONGS e Governos (INDUSTRY AND ENVIRONMENT, 2002). A produção mais limpa foi uma resposta ao apelo para o desenvolvimento sustentável lançado pelo *WCED - 1987 (World Commission on Environment and Development)*, com seu primeiro conceito desenvolvido em 1989 e posteriormente elaborado na Agenda 21 do Rio (ONU,1992) (HENS *et al.*, 2018).

O Programa de Produção Mais Limpa foi desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, como ferramenta básica para a construção de um programa de prevenção, o qual foi implementado em vários países em desenvolvimento. O programa é utilizado por mais de vinte centros, localizados em diversos países, que constituem os *National Cleaner Production Centres (NCPCs)* (SEVERO *et al.*, 2015). O *UNEP* em associação com o *UNIDO*, se empenharam em 1994 para implantar em vários países os *NCPCs*, criado no Brasil em 1995 o Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) junto ao SENAI – RS, foi o primeiro centro nacional de P+L implantado na América Latina e o 10º no mundo, após a aceitação do SENAI como instituição anfitriã do Centro Brasileiro de Produção Mais Limpa da Rede UNIDO-UNEP (GIANNETTI *et al.*, 2009).

Desde 1994, *UNIDO* e *UNEP* cooperam em um programa para estabelecer os *NCPCs* como um mecanismo de entrega de serviços de P+L para empresas,

governos e outras organizações, embora inicialmente configurado de maneiras quase idênticas em cada país os *NCPCs* evoluíram em respostas a fatores internos do programa e conforme a diversidade de cada país (VAN BERKEL, 2010). Segundo Cong e Shi (2019), em função das diferentes dotações de recursos e níveis de desenvolvimento, a produção mais limpa em diferentes países contem características próprias.

Além disso, para fortalecer esses Centros, *UNIDO* e *UNEP* desde dos anos 90, juntos colaboram para promover a adoção global de uma produção mais limpa e eficiente em termos de recursos em conjunto com os governos associados e um núcleo inicial de prestadores de serviços, criando em 2010 o *RECP net (Global Network for Resource Efficient and Cleaner Production)*. Desde então, o *RECP net* vem crescendo e aprimorando seu foco e suas operações para melhor atender ao aumento das demandas nos países, ajudando na prestação de serviços em pequenas e médias empresas, indústrias, governos, sociedade civil, instituições de pesquisa e partes interessadas relacionadas (RECP net, 2018).

A *RECP net* tornou-se operacional em novembro de 2010 e em 2011, adotando a Declaração de Nairobi, se desenvolveu ainda mais. O objetivo desta declaração é integrar e ampliar a aplicação dos conceitos, métodos, políticas e técnicas de *RECP*, nacional e globalmente, nos países em desenvolvimento e em transição, com base nas prioridades socioeconômicas, ambientais, industriais, nacionais e regionais (RECP net, 2020). Por conseguinte, o conceito de P+L foi definido pela *UNEP* em 1990, no entanto, a confluência da crise econômica e ambiental dos últimos anos consolidou a interdependência entre os sistemas econômicos e ambientais o que exigiu a ampliação da definição de P+L inserindo a eficiência dos recursos (UNEP, 2012).

Implicando em uma evolução do conceito de P+L, o *UNEP* juntamente com o *UNIDO*, ampliam a definição incluindo o conceito de eficiência de recursos que em termos práticos leva a ideia de *Resource Efficient and Cleaner Production (RECP)* - Eficiência de Recursos e Produção Mais Limpa. Segundo o *UNIDO*, *RECP* implica na aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas a processos, produtos e serviços, a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos para o homem e o meio ambiente. Abordando de forma individual e sinérgica, a eficiência da produção, proteção ambiental e melhorias sociais. Assim, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (RECP net, 2018; UNIDO, 2020).

Portanto, as conquistas decorrente de uma implementação de P+L podem cumprir para o cumprimento da ODS (NETO *et al.*, 2019). Conforme ODSBRASIL (2021), os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são metas de ação global, em sua maioria, abrangendo as dimensões ambientais, econômica e social do desenvolvimento sustentável, de forma integrada e inter-relacionada.

Nesse sentido, a definição de P+L manteve-se essencialmente a mesma, mas gradualmente foi dada mais atenção à eficiência de recursos, à dimensão social da sustentabilidade como o desenvolvimento de pessoas e comunidades, a dimensão econômica (aumento da eficiência produtiva, redução de custo, rentabilidade empresarial e competitividade), enquanto ao aspecto ambiental continuou a ser central na P+L (ou RECP), sendo vista como uma estratégia de negócios para as 3 dimensões do desenvolvimento sustentável (HENS *et al.*, 2018). Conceitualmente a P+L busca integrar a utilização contínua de abordagens ambientais dissuasivas aos processos, produtos e serviços visando aumentar a eficiência e minimizar os riscos às pessoas e ao meio ambiente (NETO *et al.*, 2019).

É um conceito, no qual surgem constantemente novos procedimentos e tecnologias, introduzindo métodos e práticas para evitar danos ao meio ambiente, assim uma gama de iniciativas de produção mais limpa contribui para o desenvolvimento sustentável não apenas por meio da gestão eficiente de recursos e energia, mas também por meio do desenvolvimento de tecnologias novas e inteligentes, novas formas de auxiliar o desenvolvimento de políticas e organizar cadeias de suprimentos, setores e empresas individuais (GIANNETTI *et al.*, 2020).

Assim, durante os últimos anos, o conceito de P+L vem sendo colocado em prática e a visão sobre a abordagem mudou consideravelmente, em escopo, ampliação de conteúdo e quantidade de setores que aplicam. O que proporcionou um impacto socioeconômico a uma ideia originalmente lançada para despertar a indústria para suas responsabilidades ambientais. Essa ampliação da P+L exigiu novos métodos para abordar a gama de aspectos do desenvolvimento sustentável que emergiram. Além disso, as metas mudaram: de menos poluição e geração de resíduos, principalmente durante a produção, passando pelo design de produtos com menos impacto ambiental, para o cuidados com a saúde com ambientes saudáveis e qualidade de vida (HENS *et al.*, 2018).

Conforme Fan *et al.* (2020), a produção mais limpa envolve interações complexas com o desempenho econômico e social, desempenhando um papel

importante no desenvolvimento sustentável. E desde do seu surgimento, o conceito vem sendo difundido, com um dos representantes em publicações, o *Journal of Cleaner Production*, um líder e respeitável periódico para publicações sobre P+L, com o objetivo de promover a prevenção da poluição e uma produção mais limpa (CONG; SHI, 2019).

### 2.2.2. P+L NO CAMINHO DA SUSTENTABILIDADE

Diante do cenário de crise ambiental global verificou-se a necessidade de mudança de paradigma na produção. Como alternativa desenvolveu-se um novo modelo produtivo que aproveita ao máximo as matérias primas utilizadas no processo. Através da P+L é possível detectar a maneira pela qual um processo é realizado e quais etapas deste processo as matérias primas estão sendo desperdiçadas (PLANO NACIONAL DE AÇÃO PARA A PRODUÇÃO E CONSUMO, 2007). Assim, Planos de produção mais limpa atuam na diminuição dos impactos ambientais como têm impactos econômicos positivos respectivamente (SEVERO *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2016).

A prática de P+L certamente contribui para o avanço no caminho da sustentabilidade e a cada dia que passa ganha maior destaque nos meios empresariais, sendo um elemento para a elaboração e execução de um plano de sustentabilidade. A mudança para um patamar do consumo mais limpo engloba o conceito de P+L e vai além para a etapa do consumo dos produtos e serviços, incluindo as atividades de distribuição, de comercialização, do uso propriamente dito e da destinação final dos produtos. Nesse sentido, o termo sustentabilidade pode ser compreendido como um conceito sistêmico, relacionado com a continuidade dos aspectos econômicos, sociais e ambientais da sociedade (SILVA; AMATO NETO, 2011).

Nesta perspectiva, é importante destacar que consumidores têm um papel significativo em influenciar as empresas a adotarem uma produção verde, o ambiente competitivo atual demonstra que os clientes estão expressando maior interesse por produtos ecológicos. Da mesma forma, a demanda e a conscientização em relação a esses produtos vêm crescendo, representando novas oportunidades para uma produção mais limpa em todo mundo. A P+L está gradualmente se tornando uma parte imperativa das decisões de gerenciamento dentro das organizações. As

empresas se envolvem em uma produção mais limpa e em inovação verde não apenas para aumentar a produtividade e minimizar os desperdícios, mas também para melhorar a imagem da organização e qualidade do produto, aumentando a competitividade nos países emergentes (ZAMEER *et al.*, 2020).

A P+L é um método prático que após desenvolver um diagnóstico ambiental por meio de uma equipe montada por recursos humanos de uma organização chamada equipe ecológica, identifica oportunidades técnicas e econômicas para reduzir potenciais impactos ambientais (LOPES *et al.*, 2018). De acordo com CETESB (2012), ações simples como o ato de refletir criticamente sobre as possibilidades de melhorias de seus processos e assim reduzir desperdícios já trazem inúmeros benefícios para a empresa. Desta forma, as práticas de produção mais limpa influenciam na sustentabilidade ambiental, bem como no desempenho organizacional, mostrando que as metodologias de P+L contribuem no aumento da capacidade e flexibilidade de produção, e melhoram os aspectos de saúde e segurança (SEVERO *et al.*, 2015). Almeida *et al.* (2017) destacam a importância da pesquisa acadêmica na transição para a sustentabilidade, detalhando como a combinação de iniciativas de produção mais limpa com conceitos de desenvolvimento sustentável pode ajudar avaliar ações visando acelerar a transição dos padrões insustentáveis do atual modelo de produção.

Todavia, apenas reduzir a poluição pode não ser uma motivação suficiente para que a indústria com fins lucrativos implemente uma abordagem de P+L, pois a tomada de decisão não é apenas baseada em benefícios ambientais, mas também em considerações econômicas (ZHANG *et al.*, 2016). Porém as organizações brasileiras podem contribuir muito para o desenvolvimento sustentável, não apenas adaptando as políticas de sustentabilidade, mas aderindo à introdução de práticas ambientais e do programa de P+L, visando ao aumento da competitividade e do desempenho empresarial (SEVERO *et al.*, 2015).

### 2.2.3. APLICAÇÃO E VANTAGENS

As opções de produção mais limpa podem ajudar a reduzir as emissões de carbono (ZHOU; ZHAO, 2016). Como também, podem ser aplicadas em qualquer processo industrial com objetivo de melhorar a gestão de matéria prima e insumos pressupondo atitudes como a gestão de energia e água, a partir do momento do

processo produtivo (INDUSTRY AND ENVIRONMENT, 2002). Em relação aos serviços direciona seu foco para incorporar as questões ambientais dentro da estrutura e entrega de serviços (SILVA; AMATO NETO, 2011).

Zhou e Zhao (2016) sugerem que as opções de P+L para reduzirem as emissões de carbono incluem principalmente o aumento da eficiência do uso de energia, a substituição de materiais ecologicamente corretos, a otimização dos controles de processo e a mudança de tecnologias de processo. Fan *et al.* (2020) destacam, que os impactos ambientais e pegadas ambientais são indicadores que representam a sustentabilidade ambiental na otimização dos processos. Os autores complementam que GEE, incluindo pegadas de emissões de carbono e potencial de aquecimento global, são índices mais comuns para análises de produção mais limpa devido à crescente atenção sobre as questões de mudanças climáticas.

Segundo Hens *et al.* (2018), a produção mais limpa é o uso cada vez mais eficiente de energia, de materiais e da substituição de produtos mais nocivos para o ambiente e saúde por outros mais seguros e ecológicos. É um conceito-chave de desenvolvimento industrial sustentável bem como um centro de pesquisa, com a adoção de uma produção mais limpa, as indústrias se desenvolveriam de forma mais sustentável e ecologicamente correta (CONG; SHI, 2019).

Embora seus benefícios ambientais, uma implementação de P+L as vezes pode levar a alterações de produtos ou processos cujo desempenho ambiental pode gerar resultados positivos ou negativos quando examinado em um contexto mais amplo. Criando uma oportunidade de complementação com outras ferramentas de avaliação ambientais (PANAMEÑO *et al.*, 2019). A produção mais limpa promove uma visão holística dos recursos, da produção, economia e do meio ambiente, contudo é necessário apoio ao desenvolvimento da P+L, para que seja incluída uma maneira eficiente de acompanhar o desenvolvimento das empresas que passaram por um programa básico de treinamento (KJAERHEIM, 2005).

Em seu estudo Santos *et al.* (2020) adotam uma abordagem para implementação de uma produção mais limpa, combinando princípios da qualidade aplicados a processos e integrados a metodologia PDCA e a de P+L no setor de serviços. Vargas *et al.* (2019) implementam *RECP* através de *Best Management Practices* (BMP) em produção de paletes com o objetivo de observar seus efeitos na produtividade e no meio ambiente e conscientizar pequenas e médias empresas do setor nas vantagens de uma produção sustentável e incentivá-los a investir em *RECP*

para que possam melhorar sua eficiência de produção e reduzir seu impacto negativo no ambiente.

Uma produção mais limpa fortalece as empresas não apenas na área econômica, mas também ambiental e tecnológica, minimizando a quantidade de resíduos gerados e, ao mesmo tempo, contribuindo para melhorar a qualidade de vida da comunidade local e global proporcionando um aumento de competitividade e redução de custos de produção. Adotar uma produção mais limpa significa inovar, pois é um processo que requer mudanças de comportamento em todos os atores envolvidos no processo. Portanto é necessário o comprometimento de todos para alcançar um desempenho eficiente e sustentável (SANTOS *et. al.*, 2020).

Alves e Medeiros (2015) demonstram a viabilidade de ganhos com práticas de ecoeficiência como ferramenta competitiva baseadas em produção mais limpa resultando não apenas em ganhos econômicos, mas também impactos positivos para o meio ambiente como as que abordam as questões sociais, por meio de ações simples e de baixo custo em micro empresas e pequenas empresas. A produção mais limpa é usada há vários anos na América Latina, onde grande parte da sua economia depende de pequenas e médias empresas. Nesse contexto, a P+L poderia ser um caminho na busca da sustentabilidade nessas organizações, devido à menor necessidade de recursos financeiros (PANAMEÑO *et al.*, 2019).

Nota-se, portanto, que a literatura existente tem demonstrado que a implementação de práticas de produção mais limpa pode trazer como resultado ganhos econômicos e ambientais (NETO *et al.*, 2019). Conforme Furtado (2005), a P+L pode ser vista como um modelo de gestão para a produção e consumo sustentável de bens e serviços que adota a visão “do berço à cova”, e desde seu surgimento o conceito vem sendo adotado por organizações privadas, governamentais e não governamentais que buscam padrões mais elevados de produção.

### 2.3. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

O objetivo desta seção é apresentar a caracterização do método de Avaliação do ciclo de vida e sua evolução conforme o tempo diante da crescente conscientização quanto a importância de metodologias para lidar com impactos ambientais, bem como vantagens e desvantagens da ferramenta. Abordar como a

ACV através de uma avaliação completa de emissões de GEE ao longo do ciclo de vida pode cooperar para um processo mais sustentável de produção e consumo.

### 2.3.1. UMA BREVE CARACTERIZAÇÃO DA ORIGEM DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

A Avaliação do Ciclo de Vida teve seu início na década de 1960, tendo como pilares as preocupações como as limitações de matérias-primas e recursos energéticos que despertaram interesse em encontrar maneiras de contabilizar o uso de energia, o uso de recursos e projetar futuros recursos (SAIC, 2006). Anos depois em 1969, o primeiro estudo analítico a ser entendido como uma abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida é realizado pela Coca-Cola nos Estados Unidos por Harry E. TEASLEY, Jr, com o objetivo de quantificar as consequências energéticas, materiais e ambientais de todo o ciclo de vida de uma embalagem, desde a extração de matéria-prima até o descarte (HUNT; FRANKLIN, 1996). Lançando as bases para os métodos atuais de análise de inventário do ciclo de vida nos Estados Unidos (SAIC, 2006).

Com a preocupação mundial em torno dos resíduos sólidos em 1988, a ACV emergi novamente como uma ferramenta para analisar problemas ambientais, vindo a ser aprimorada, com o auxílio de consultores e pesquisadores em todo mundo expandindo ainda mais a metodologia. A necessidade de ir além do inventário para uma avaliação de impacto levou a ACV a outro ponto da evolução (SIAC,2006). Em geral, o uso de resíduos é um claro benefício econômico para a empresa, o que corresponde a uma efetiva economia de recursos naturais (STRAZZA *et al.*, 2011).

Em 2002 o *UNEP* uni forças com *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) para lançar o *Life Cycle Initiative*. Os três programas da iniciativa, *The Life Cycle Management* (LCM), *The Life Cycle Inventory* (LCI) e *The Life Cycle Impact Assessment* (LCIA), visam colocar em prática o pensamento do ciclo de vida e melhorar as ferramentas de suporte por meio de melhores dados e indicadores (SAIC,2006). A Cúpula mundial sobre desenvolvimento sustentável realizada em 2002 em Joanesburgo solicitou a um conjunto abrangente de programas focados no consumo e produção sustentáveis, programas que devem contar com a ACV para promover e alcançar padrões sustentáveis de produção e consumo. As indicações são, no entanto que a ACV precisa ser combinada com investigações

econômicas e sociológicas para ser útil como uma ferramenta para o consumo sustentável (HERTWICH, 2005).

A avaliação do ciclo de vida é uma metodologia para contabilizar os impactos ambientais de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. Todo o ciclo de vida vai do berço ao túmulo (desde a extração da matéria-prima, passando pela produção, embalagem, uso, tratamento de fim de vida e reciclagem até o descarte final). Em cada etapa, o ciclo de vida do produto interage com o meio ambiente, consumindo recursos naturais e emitindo poluentes. A ACV é um método quantitativo para descrever essas interações e seus impactos ambientais potenciais. Devido à sua abordagem holística, evita problemas de deslocamento entre as categorias de impacto ambiental e estágios do ciclo de vida. Portanto é uma ferramenta valiosa em vários campos, por exemplo, design de produto ou processo, tomada de decisão na indústria e política, bem como marketing. A metodologia foi padronizada na década de 1990 pela organização internacional de padronização (ISO) na ISO 14040 e 14044 e ainda é atualizada e ampliada regularmente (a mais recentemente é a de maio de 2018) (MÜLLER *et al.*, 2020).

### 2.3.2. O CICLO DE VIDA

A crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos e serviços, tanto na sua fabricação quanto no consumo, têm aumentado o interesse no desenvolvimento de métodos para lidar com tais impactos (ISO, 2009a,b). Uma das técnicas com esse objetivo é a Avaliação do Ciclo de Vida e o Pensamento do Ciclo de Vida, que são abordagens científicas utilizadas para apoiar políticas ambientais e decisões empresariais relacionadas ao consumo e à produção sustentável (ILCD, 2014). Conforme Gava *et al.* (2020), a ACV é um método difundido para medir e monitorar os impactos ambientais dos processos de produção, o que permite a comparação do *business-as-usual* com cenários mais ecológicos.

Nesse contexto, a ACV é um método estruturado e internacionalmente padronizado do berço ao túmulo para avaliar sistemas industriais, que quantifica todas as emissões e recursos consumidos e seus impactos sobre o meio ambiente e a saúde, e considera questões relacionadas ao esgotamento de recursos associados a quaisquer bens ou serviços, levando em consideração todo o ciclo de vida de um

produto, desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós uso, reciclagem até a disposição final, isto é, o termo “ciclo de vida” refere-se as principais atividades no decorrer da vida útil do produto até sua disposição final (ILCD, 2014; ISO, 2009 a,b; SAIC, 2006).

Assim, a ACV leva em consideração todo o ciclo de vida de um produto, permitindo a estimativa dos impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as etapas do ciclo de vida do produto, incluindo frequentemente impactos não considerados em análises mais tradicionais ( extração de matéria-prima, logística, descarte final do produto, etc.). Portanto fornece uma visão mais abrangente dos aspectos ambientais do produto ou processos e uma perspectiva mais precisa de *trade-offs* ambientais na seleção de produtos e processos, e a evitar que a solução de um problema ambiental acabe criando outros problemas, por exemplo que medidas que proporcione redução de gases de efeito estufa em um país seja à custa de mais emissões em outro (ILCD, 2014; SAIC, 2006).

Segundo Charmondusit *et al.* (2016), a avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta abrangente que inclui várias categorias de impacto, que pode identificar possíveis situações de *trade-offs* entre impactos. Dessa maneira, permitiu a consideração dos impactos ambientais além dos limites dos métodos tradicionais da engenharia, reduzindo a chance de deslocamento de impactos para fora dos limites do sistema (LIU; BAKSHI, 2019). Logo, Fan *et al.* (2020) destacam que o limite do sistema de uma avaliação também pode ter um efeito considerável na sustentabilidade geral de uma abordagem .

Existem diferentes limites de sistema que podem ser aplicados através da avaliação do ciclo de vida, incluindo do “berço ao túmulo” (*cradle to grave*), que cobre todo o ciclo de vida desde a extração de recursos até o descarte; “berço ao portão” (*cradle to gate*), que cobre a extração de recursos por meio da produção do produto pretendido, mas exclui os processos de uso e descarte; e “porta a porta” (*gate to gate*), que se limita a uma parte dos processos do ciclo de vida (apenas um processo ou alguns processos). Além disso, a prática de medir a pegada de carbono (*carbon footprint* - (CFs)), que visa apenas os gases de efeito estufa (GEEs) foi promovida nos últimos anos pela Iniciativa de Ciclo de Vida (*Life Cycle Initiative – LCI*) (KAYO; NODA, 2018). Assinala-se ainda que os resultados de uma avaliação do ciclo de vida são altamente dependentes dos limites do sistema, uma avaliação *cradle to grave* é a análise mais promissora. Contudo vem sendo simplificada em

função da disponibilidade de dados (FAN *et al.*, 2020).

De acordo com o padrão ISO um estudo da metodologia de ACV é dividida em quatro fases: definição do objetivo e escopo, análise do inventário de ciclo de vida, avaliação do impacto do ciclo de vida e interpretação. Todas essas fases são interdependentes, por exemplo, os inventários de ciclo de vida reunidos têm que se ajustar ao objetivo e ao escopo com relação ao tempo e espaço. Na prática, essa interdependência torna a ACV uma abordagem iterativa, já que a disponibilidade de dados muitas vezes não é totalmente conhecida no início de um estudo. Além disso, toda a estrutura de avaliação do ciclo de vida é influenciada por suas supostas aplicações diretas e vice-versa (MÜLLER *et al.*, 2020).

Uma ACV pode auxiliar os tomadores de decisão a selecionar o produto ou processo que resulta no menor impacto ao meio ambiente, estudar um sistema inteiro de produtos, evitando a sub otimização que poderia resultar em apenas uma única etapa como o do foco do estudo. Pois abrange todos os processos e liberações ambientais, então a ACV pode ajudar os tomadores de decisão a comparar todos os principais impactos ambientais causados por produtos, processos ou serviços. Informações que podem ser usadas com outros fatores, como dados de custo e desempenho, para selecionar um produto ou processo (SAIC,2006). Portanto é uma ferramenta precisa para analisar aspectos ambientais de produtos e processos (LOPES SILVA *et al.*, 2018).

Além disso, a ACV é uma ferramenta versátil para quantificar impactos ambientais do berço ao túmulo de um produto, processo ou serviço, seu objetivo principal é escolher o melhor produto, processo ou serviço com o menor efeito na saúde humana e no meio ambiente. Um estudo de ACV pode ajudar a orientar o desenvolvimento de novos produtos, processos ou atividades em direção a uma redução do uso de recursos e de emissões (SIAC, 2006). O método permite quantificar as emissões e o uso de recursos ao longo de todo o ciclo de vida de um produto (DREWS *et al.*, 2020). No entanto, um estudo de avaliação do ciclo de vida apenas identifica o impacto ambiental, não as estratégias de mitigação (RAHIM; RAMAN, 2015). Porém em um estudo mais recente Gava *et al.* (2020), comentam que uma pesquisa de ACV pode apoiar a formulação de políticas, informando sobre os impactos das intervenções de mitigação.

Dependendo do grau de detalhamento a realização de uma ACV pode exigir muito tempo e recursos, a coleta de dados pode ser problemática e a disponibilidade

de dados pode afetar a precisão dos resultados finais, portanto é importante avaliar a disponibilidade de dados, o tempo necessário para realização do estudo e os recursos financeiros necessários em relação aos benefícios projetados (SAIC,2006). Todavia, a ACV é uma entre várias técnicas de gestão ambiental e pode não ser a técnica mais apropriada para todas as situações, pois tipicamente não enfoca os aspectos econômicos ou sociais de um produto (ISO, 2009 a,b).

Para Dong *et al.* (2019), a avaliação do ciclo de vida é uma ferramenta comumente usada para avaliar a quantidade de emissões de gases do efeito estufa emitidos ao longo do ciclo de vida de serviços, políticas ou sistema de produto. Logo os métodos de ACV geralmente apresentam uma avaliação completa das emissões diretas e indiretas de GEE expressa como CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) (MCCAY *et al.*, 2019).

Por conseguinte, a abordagem do modelo do ciclo de vida deve ser informada a política de desenvolvimento sustentável não apenas através de avaliações empíricas da situação atual e de projeções de prováveis desenvolvimentos futuros, mas também por meio de uma avaliação de como o desenvolvimento sustentável pode ser obtido através de uma combinação de possíveis mudanças tecnológicas, sociais e econômicas, e o que isso implicaria para consumidores e indústria (HERTWICH, 2005).

#### 2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão empreendida neste capítulo buscou destacar os principais conceitos que norteiam os próximos capítulos dessa dissertação: P+L e ACV. Como também sintetizou a evolução ao longo do tempo, barreiras, benefícios da sua implementação e o paradigma das abordagens em relação a ações de mitigação, controle de poluição e controle de resíduos. Fornecendo contribuições no âmbito de gestão processos e no setor de serviços. A literatura avaliada nesse capítulo também contribui para a formação do modelo teórico de aplicação, pois detalha os fluxos de aplicação das abordagens. Hens *et al.* (2018) complementam, ressaltando que, lidar com as tendências históricas na evolução do conceito de P+L permite também identificar as principais tendências para o futuro.

Portanto, a Avaliação do Ciclo de Vida teve seu início na década de 1960, muito tempo depois o conceito de P+L vem a ser definido em 1989 pela UNEP. Logo

são técnicas que nasceram em momentos e paradigmas diferentes, entretanto, surgiram da necessidade da mudança do modelo de produção. E que podem dividir espaços nos mesmos ambientes de trabalho, assunto que será abordado no capítulo 4 da dissertação, após a revisão sistemática da literatura que buscou entender melhor o que vem ocorrendo no campo de pesquisa quando o assunto é direcionado a mitigação das emissões de carbono e o uso combinado dessas técnicas.

### **3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

#### **3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Além da fundamentação teórica a estrutura da pesquisa é composta de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), com a finalidade de analisar um quadro de pesquisa dos programas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida voltados de alguma forma para a mitigação das emissões de carbono, como também, explorar a combinação do uso dessas distintas abordagens, identificando quais segmentos e técnicas estão sendo utilizadas, assim, descobrir maneiras de aplicabilidade das metodologias e suas conclusões, com o objetivo de alcançar um modelo teórico de aplicação. Para tanto, uma metodologia dividida em tópicos é necessária para fornecer robustez e consistência a pesquisa.

A realização de uma revisão sistemática compreende várias etapas explícitas e reproduzíveis, como a identificação de todos os registros relevantes prováveis, seleção de estudos elegíveis, extração de dados e síntese qualitativa dos estudos incluídos (LIBERATI *et al.*, 2009; MOHER *et al.*, 2009).

Para uma maior confiabilidade dos resultados da dissertação a RSL, seguiu procedimentos pré-definidos para analisar e selecionar os estudos existentes na literatura sobre o assunto, além de usar o Protocolo PRISMA para seleção dos estudos os resultados seguem procedimentos elaborados a partir da metodologia apresentada por Vieira (2019), figura 4.

Desse modo, a estrutura da pesquisa foi construída a partir de uma extensa leitura de artigos e estudos ao longo do mestrado, no entanto, cada tópico possui objetivos e métodos interligados que contribuem para a sua formação. O capítulo é composto por seções que detalham os procedimentos para coleta de dados, limitações, etapas para os resultados da RSL e este introdutório. A última seção fecha

o capítulo com conclusões e oportunidades de mitigação

### 3.2. COLETA DE DADOS

Em busca de uma fronteira do conhecimento, ou seja, de uma lacuna teórica, referente ao uso da P+L e da ACV com preocupações ligadas de alguma forma a mitigação das emissões de carbono e a utilização da forma combinada das técnicas ambientais, realizou-se uma pesquisa na base de dados *Scopus*. Perante o exposto, o critério de escolha da base foi fundamentado, posto que a *Scopus* da *Elsevier* se trata de um dos maiores banco de dados da literatura revisada por pares e recupera periódicos de todos os principais banco de dados, como *Emerald*, *Taylor & Francis*, *Science Direct*, entre outros, sendo a maior fonte pesquisável de citações, resumo (AGHAEI CHADEGANI *et al.*, 2013) e de uma das maiores bases de artigos científicos mundiais (SEVERO; DE GUIMARÃES, 2020). A pesquisa foi realizada no ano de 2020, e o levantamento de dados consistiu na coleta de artigos que foram analisados na RSL e que embasaram esse capítulo e o capítulo seguinte.

A RSL partiu da busca por “*Cleaner Production and Carbon Emission Mitigation*” que foi direcionado a pesquisa de artigos de Produção mais Limpa, “*Life Cycle Assessment and Carbon Emission Mitigation*” que foi a *string* utilizada para a pesquisa de artigos de Avaliação do Ciclo de Vida e “*Cleaner Production and Life Cycle Assessment*” de forma combinadas, empregadas para a busca de artigos que destacasse o uso das duas abordagens atuando de forma conjugadas. Bem como utilizou-se filtros em cada “grupo de *strings*” na base de dados para delimitar os *papers* encontrados conforme o escopo do estudo.

A análise evidenciou que, entre os diversos segmentos contemplados pela pesquisa, poucos abordam Produção Mais Limpa e Avaliação do Ciclo de Vida voltados para a mitigação das emissões de carbono, e o mesmo a dizer sobre o uso das duas abordagens de forma combinada. A tabela abaixo descreve os filtros utilizados no processo de busca na base de dados *Scopus*.

**Tabela 1: Filtros de pesquisa**

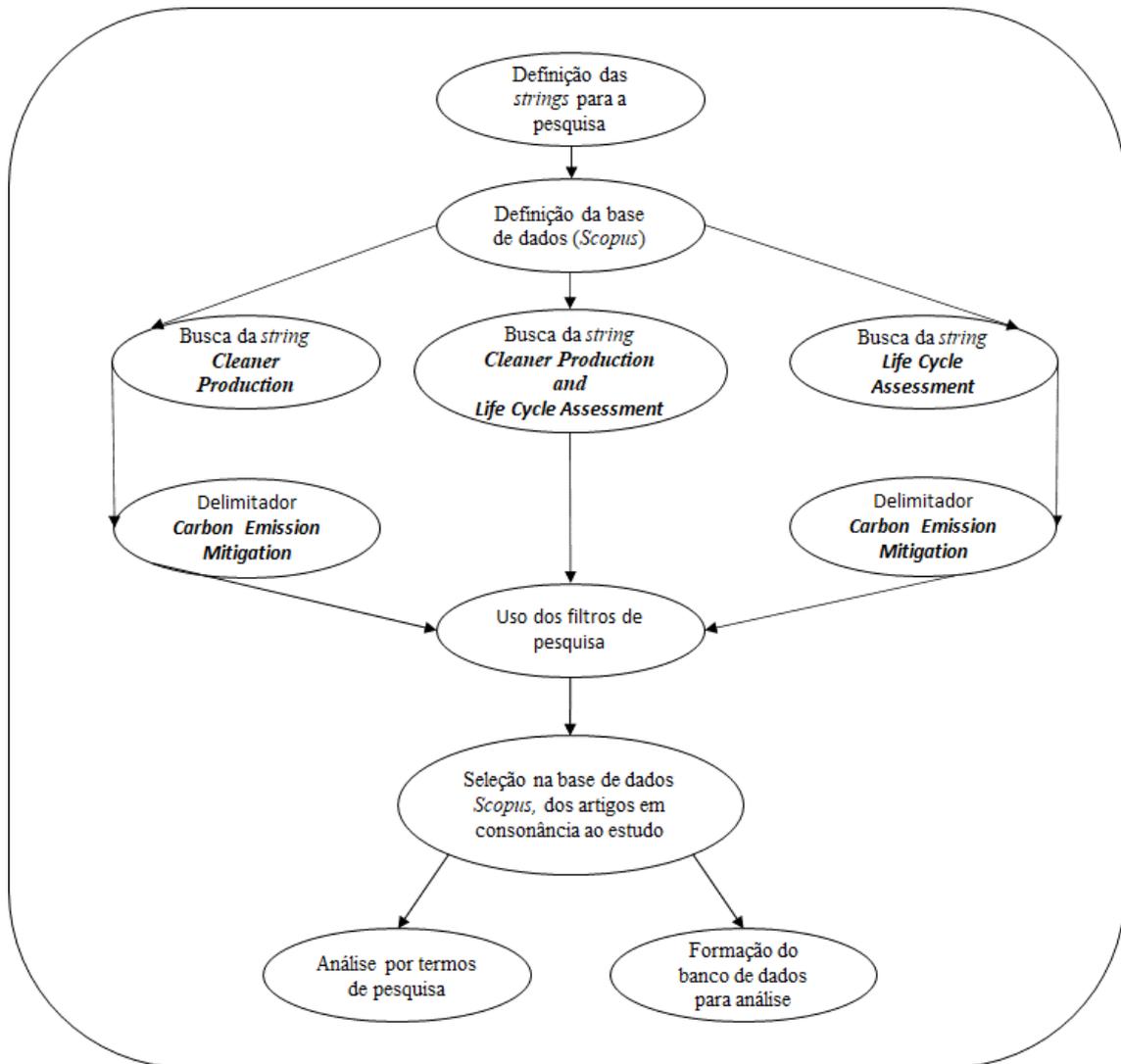
<b>DOCUMET TYPE:</b>	Article
<b>PUBLICATION STAGE:</b>	Final

<b>SOURCE TYPE:</b>	Journal
<b>LANGUAGE:</b>	English
<b>YEAR:</b>	2010 – 2020

**Fonte:** Autor

O processo de pesquisa teve como base os termos em inglês para produção mais limpa (*cleaner production*), avaliação do ciclo de vida (*Life Cycle Assessment*) e mitigação das emissões de carbono (*Carbon Emission Mitigation*), evidenciados a cima (grupos de *strings* de pesquisa para cada busca). Em cada busca, limitou-se à pesquisa de *papers* por *strings*, adotando-se a configuração de *article tittle* (limitando os resultados da busca a documentos por título do artigo). No refinamento por área específica, a fim de refinar a pesquisa de artigos de P+L e ACV utilizou-se para pesquisar nos resultados a *string* “*carbon emission mitigation*”. E na etapa seguinte, adotou-se filtros de pesquisa como critério delimitador aos artigos encontrados.

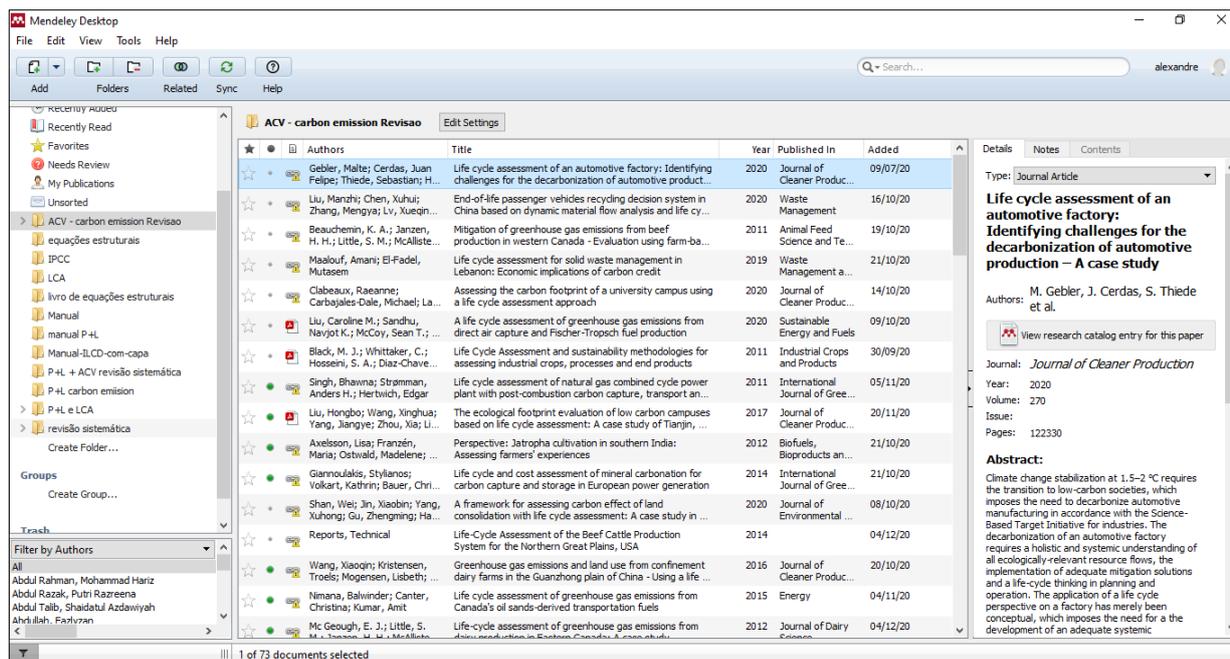
Para o processo de pesquisa de artigos direcionados a forma combinada das técnicas ambientais, limitou-se à pesquisa adotando a configuração de *article tittle*, para a busca de estudos de “*Cleaner Production*” no primeiro campo de pesquisa e adotando-se a mesma configuração, adicionando ao segundo campo de pesquisa a busca de artigos de “*Life Cycle Assessment*”. Com objetivo de encontrar nos resultados de busca, estudos que utilizassem a P+L e ACV de forma conjunta. Adotando-se filtros de pesquisa na etapa seguinte, com a finalidade de limitar os resultados de acordo com estudos que possam compor o banco de dados da pesquisa. Após esses distintos processos de busca, os estudos encontrados foram analisados e separados conforme procedimento descrito na seção 3.6.1. “Seleção do banco de dados” e 3.6.2. “Definição dos termos da pesquisa”. A figura 2 apresenta o processo de metodologia de pesquisa, utilizado na base de dados *Scopus*.



**Figura 2:** Processo de Metodologia da Pesquisa  
**Fonte:** Autor

### 3.2.1. ORGANIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Como citado anteriormente a RSL foi baseada em pesquisas usando o banco de dados do *Scopus*. Os “dados”, neste caso, são os artigos encontrados na pesquisa. Para a organização dos artigos foi utilizado o Mendeley®, pois é um *software* que organiza todas as referências, facilitando a remoção de duplicatas e a citação de artigos, pois gera automaticamente as referências no formato desejado. A Figura 3 mostra uma amostra dos artigos selecionados no Mendeley®.



**Figure 3:** Mendeley® Software  
**Fonte:** Autor

### 3.3. LIMITAÇÕES DA COLETA DE DADOS

Mesmo a pesquisa sendo realizada em uma base conceituada de dados, não seria possível garantir que toda literatura relevante fosse contemplada e, portanto, pode ser considerado a primeira limitação. A segunda limitação é que apenas artigos na língua inglesa foram considerados. Decisão tomada com base em: i) O inglês é a principal língua usada para comunicar a pesquisa científica, ii) Para garantir que outros pesquisadores possam entender qualquer artigo selecionado para a RSL. No entanto, esse procedimento pode desconsiderar estudos relevantes publicados em outros idiomas. A terceira é que alguns artigos não estavam permitindo acesso, mesmo utilizando o cadastro da Universidade como meio de acesso a revista, o que pode ter ocasionado a perda de dados relevantes para a pesquisa. A quarta limitação que como critérios de seleção na pesquisa, apenas artigos a partir de 2010 foram selecionados, o que pode ocasionar uma carência de dados de acordo com o objetivo da pesquisa. A quinta e última limitação é que este capítulo não teve a pretensão de abranger toda a literatura de ACV que não demonstrava de forma clara o seu objetivo, como o uso da abordagem focada na mitigação das emissões de carbono ou citando as emissões de carbono no estudo,

essa limitação pode ser consequência da abrangência do estudo de ACV nos artigos encontrados. No entanto, as definições e estudos analisados para compor este capítulo são baseados em uma literatura de qualidade comprovada na base de dados citada.

#### 3.4. SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Desde que o programa de produção mais limpa foi lançado pela *UNEP* no ano de 1989, ele vem evoluindo e sendo aplicado em distintos processos e uma literatura significativa surgiu com métodos diferentes, ganhando destaque ao longo do tempo. Porém poucos estudos voltados para a mitigação das emissões de carbono foram encontrados na literatura. Dentre os artigos encontrados dois foram selecionados, pois estão mais próximos ao objetivo da pesquisa. Entre os segmentos estão o de indústria de móveis (RIBEIRO MASSOTE; MOURA SANTI, 2013) e a indústria de fitoterápicos (MENG *et al.*, 2017).

O primeiro estudo a ser entendido como uma abordagem de Avaliação do Ciclo de Vida foi realizado na década de 1960 pela Coca-Cola nos Estados Unidos. Com o tempo o interesse pela ACV aumenta e com isso vários estudos são realizados, porém diferente da P+L, mais estudos voltados para a mitigação das emissões de carbono foram encontrados. Entre os artigos encontrados oito foram selecionados, pois estão mais próximos com a finalidade da pesquisa. Dentre os artigos selecionados estão os segmentos de transportes (DUAN *et al.*, 2015), construção (YU *et al.*, 2011; DAHMEN *et al.*, 2018), produção de cimento (MA *et al.*, 2019), indústria de produção de alumínio (GUO *et al.*, 2019), energia (MCCAY *et al.*, 2019), automotivo (GEBLER *et al.*, 2020) e rodovias (JIANG *et al.*, 2020).

O uso de uma abordagem de P+L pode ser enriquecida por métodos mais rigorosos de avaliação de impactos ambientais. O foco principal da P+L é a melhoria contínua do processo, reduzindo a geração de resíduos e permitindo ganhos econômicos que podem proporcionar retorno imediato, enquanto a ACV se concentra no diagnóstico ambiental de produtos, permitindo uma análise de sensibilidade que busca cenários mais ecoeficientes. Assim, a combinação das duas abordagens fornece uma avaliação mais ampla e melhor do sistema analisado (LOPES *et al.*, 2018). Essas duas abordagens aplicadas de maneira combinadas podem representar uma maior confiabilidade durante um estudo de viabilidade

ambiental em um processo ou serviço. Entre os artigos encontrado seis foram selecionados pois trabalham juntamente com as duas abordagens. Dentre esses artigos estão os segmentos de construção (CABELLO ERAS *et al.*, 2013), indústria siderúrgica (ZHANG *et al.*, 2016), automotivo (LOPES SILVA *et al.*, 2018), agricultura (LOPES *et al.*, 2018), indústria madeireira (PANAMEÑO *et al.*, 2019) e produção de glutamato monossódico (YANG *et al.*, 2020).

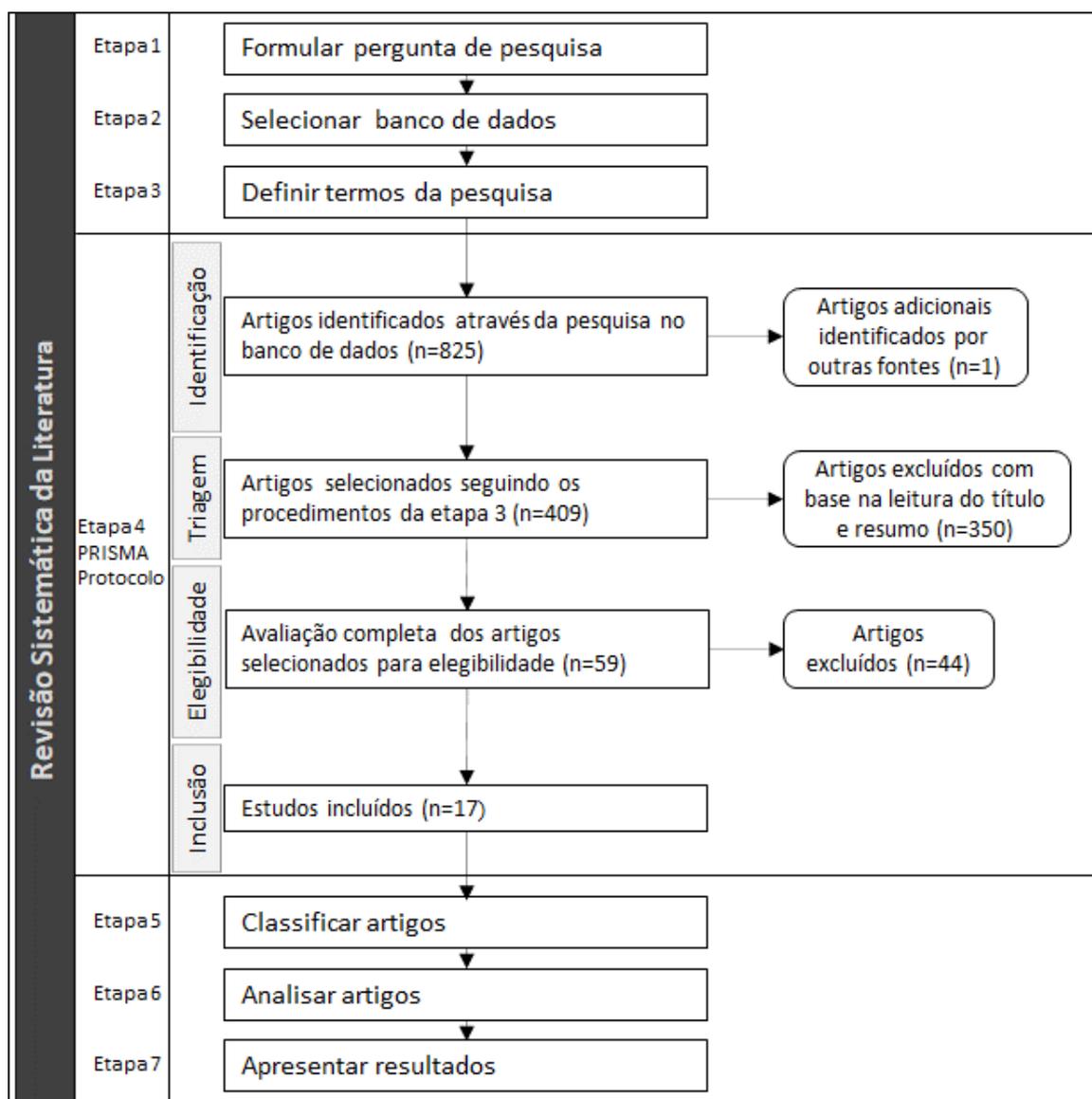
Como uma primeira análise, o banco de dados da pesquisa revela que existem poucos artigos de P+L que aplicam o conceito de mitigação das emissões de carbono, o mesmo pode se dizer aos estudos de ACV. As técnicas das duas abordagens são ainda mais relevantes quando aplicadas de forma combinada, gerando oportunidades de cenários recomendados para estratégias de mitigação, o que pode atender as necessidades de pequenas e médias empresas, que apesar das suas restrições financeiras, procuram melhorar o desempenho ambiental de seus processos e serviços.

Identificar situações em que é necessário complementar a aplicação dos princípios de P+L com técnicas de ACV, no que diz respeito a tomada de decisão, pode acelerar a transição para uma sociedade pós carbono e sustentável, utilizando um método alternativo mais robusto de avaliação que pode ser aplicado em distintos segmentos, mas com o mesmo objetivo. Com bases nessas suposições, torna-se crucial aplicar técnicas combinadas das duas metodologias para redução de custo e tempo adicionais em processos e serviços, evitar retrabalhos e auxiliar as empresas ao decidirem qual modelo de abordagem utilizar.

### 3.5. FLUXO DO TRABALHO ADOTADO PARA A RSL

Para o estudo foram considerados apenas artigos publicados entre os anos de 2010 e 2020 para a construção da RSL, com objetivo de construir um estudo baseado em artigos mais recentes. A pesquisa foi elaborada seguindo procedimentos da figura 4 com a finalidade de selecionar estudos sobre os assuntos e avaliar possíveis contribuições sobre a importância de um modelo robusto de metodologia para a mitigação das emissões de carbono.

Pode-se observar na figura que é sinalizado o processo de seleção dos artigos com os respectivos números totais de estudos selecionados em cada fase da etapa 4 (protocolo PRISMA).



**Figura 4:** Fluxo de trabalho da RSL  
**Fonte:** Autor

As etapas de 1 a 4 são a base da metodologia deste capítulo, enquanto as etapas 5 a 7 (que são consequências diretas das 4 primeiras etapas, são discutidas na seção 3.7 que é focada nos resultados da RSL).

### 3.6. PERGUNTAS DE PESQUISA

Nesta primeira etapa são apresentadas as questões de pesquisa que o estudo pretende responder com a RSL, a qual foi elencada conforme o escopo desse estudo e traduzidas pelas seguintes questões:

- (i) Existe uma lacuna inexplorada das técnicas de P+L e ACV ligadas as mitigações de carbono?
- (ii) Existem oportunidades de aplicação das duas abordagens de maneira combinadas?
- (iii) Quais segmentos de mercado estão utilizando as duas abordagens conjugadas?
- (iv) Quais são os países onde as técnicas de forma combinadas estão sendo aplicadas?

Em conformidade com as questões de pesquisa ilustradas, o objetivo principal do presente estudo é avaliar o uso combinado dos programas de produção mais limpa e de avaliação do ciclo de vida direcionados para a mitigação das emissões de carbono. Como um dos objetivos mais específicos, a finalidade é chegar a um modelo teórico para aplicação das abordagens de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida direcionada a mitigação das emissões de carbono embasado na avaliação da estrutura conceitual. Desse modo, as questões de pesquisa que o estudo pretende responder com a RSL estão de acordo com o escopo da dissertação.

### 3.6.1. SELEÇÃO DO BANCO DE DADOS

Na etapa dois, o banco de dados escolhido para sequência da pesquisa é explorado. O processo utilizado para cada abordagem durante as etapas da pesquisa é ilustrado na figura 5, como os respectivos números de artigos encontrados em cada fase do procedimento de seleção do banco de dados.

BASE DE PESQUISA										
ABORDAGEM	STRING	STRING	STRING	QUANTIDADES DE ARTIGOS ANTES DA STRING : CARBON EMISSION MITIGATION	QUANTIDADES DE ARTIGOS COM A STRING : CARBON EMISSION MITIGATION	1º AVALIAÇÃO	2º AVALIAÇÃO	SELECIONADOS NA RSL	TOTAL SELECIONADOS	OBS
P+L	CLEANER PRODUCTION		CARBON EMISSION MITIGATION	481	36	12	11	2	2	
ACV	LIFE CYCLE ASSESSMENT		CARBON EMISSION MITIGATION	5026	782	391	43	8	8	
P+L & ACV	CLEANER PRODUCTION	LIFE CYCLE ASSESSMENT		7	7	6	5	5	6	1 ARTIGO FORA DA RSL

FILTRO DO BANCO DE DADOS: DOCUMENT TYPE: ARTICLE, PUBLICATION STAGE : FINAL, SOURCE TYPE: JOURNAL E LANGUAGE: ENGLISH. ARTIGOS DE 2010 ATÉ 2020

**Figura 5** Critério da base de pesquisa

**Fonte:** Autor

É importante destacar que o foco central para análise dos documentos direcionados a forma combinada das metodologias, foi centrado em artigos que mapeassem a forma combinada de P+L e ACV, e não apenas no seu desempenho em relação as mitigações de emissões de carbono.

### 3.6.2. DEFINIÇÃO DOS TERMOS DA PESQUISA

Os termos de pesquisa escolhidos na etapa 3 foram: “*Carbon Emission Mitigation*” “*Carbon Emission*”, “*Mitigation*” e “*Low Carbon*”. Nessa parte do estudo, foi realizada uma busca dos termos de pesquisa no título do artigo, palavras-chave, resumo e texto completo. Foi utilizado esse método de investigação para seleção dos estudos buscando uma maior eficiência, em função da dificuldade de encontrar artigos que utilizavam os princípios de P+L e técnicas de ACV voltados para a mitigação das emissões de carbono. Para artigos das duas metodologias combinadas foi utilizado os termos: “*Cleaner Production and Life Cycle Assessment*” e “*Combining*”, empregando o mesmo método usado na seleção de artigos de P+L e ACV.

### 3.6.3. PROTOCOLO PRISMA

Para seguimento da pesquisa, o protocolo PRISMA foi adicionado nesta etapa do fluxo de trabalho da pesquisa. Desenvolvido em Ottawa, Canadá, em julho de 2005 com 29 participantes, incluindo autores de revisão, metodologistas e profissionais de saúde, o protocolo PRISMA surgiu como um método de relatório

preferido para revisões sistemáticas e meta-análises (PRISMA), com o objetivo de auxiliar os autores a melhorarem o relato de revisões sistemáticas (MOHER *et al.*, 2009).

Nessa etapa 4 do fluxo de trabalho foi aplicado o protocolo, dado isso foram realizadas a identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos artigos. A busca foi realizada nas bases de dados *Scopus* onde os artigos foram diretamente avaliados inicialmente, resultando em um total de 36 artigos de P+L, 782 de ACV e 7 das duas abordagens combinadas seguindo os critérios da base de pesquisa da figura 5 ( após o uso da *string carbon emission mitigation* como delimitador na base de dados), não foi avaliado artigos de outras fontes nessa etapa, e como a avaliação foi realizada de modo direto nas bases de dados *Scopus*, não houve a necessidade de mensurar artigos duplicados na pesquisa. A partir dos artigos selecionados seguindo os procedimentos descritos na etapa 3, foram gerados bancos de dados reduzindo os artigos para 12 de P+L, 391 de ACV e 6 das duas técnicas simultaneamente, fundamentado nessa avaliação e com base na leitura do título e resumo foram excluídos 1 artigo de P+L, 348 de ACV e 1 das duas abordagens conjugas, gerando um total de 11 artigos de P+L, 43 de ACV e 5 das duas abordagens combinadas.

Assim, foi realizada uma avaliação completa dos estudos para elegibilidade, excluindo-se 9 estudos de P+L, 35 de ACV e 0 das duas metodologias. A partir dessas avaliações foi reduzido o portfólio para um total de 2 artigos de P+L, 8 artigos de ACV e 5 das duas abordagens combinadas (1 artigo foi encontrado em outra fonte de dados, referente a uma seleção externa da RSL, e incluído em função da sua consonância ao estudo, dando um total de 6). Portanto os artigos que foram escolhidos de P+L e ACV estão de acordo com o tema da pesquisa e de alguma forma estão relacionados com a mitigação das emissões de carbono, como os artigos selecionados das duas abordagens combinadas estão de acordo com o assunto que será abordado no capítulo 4.

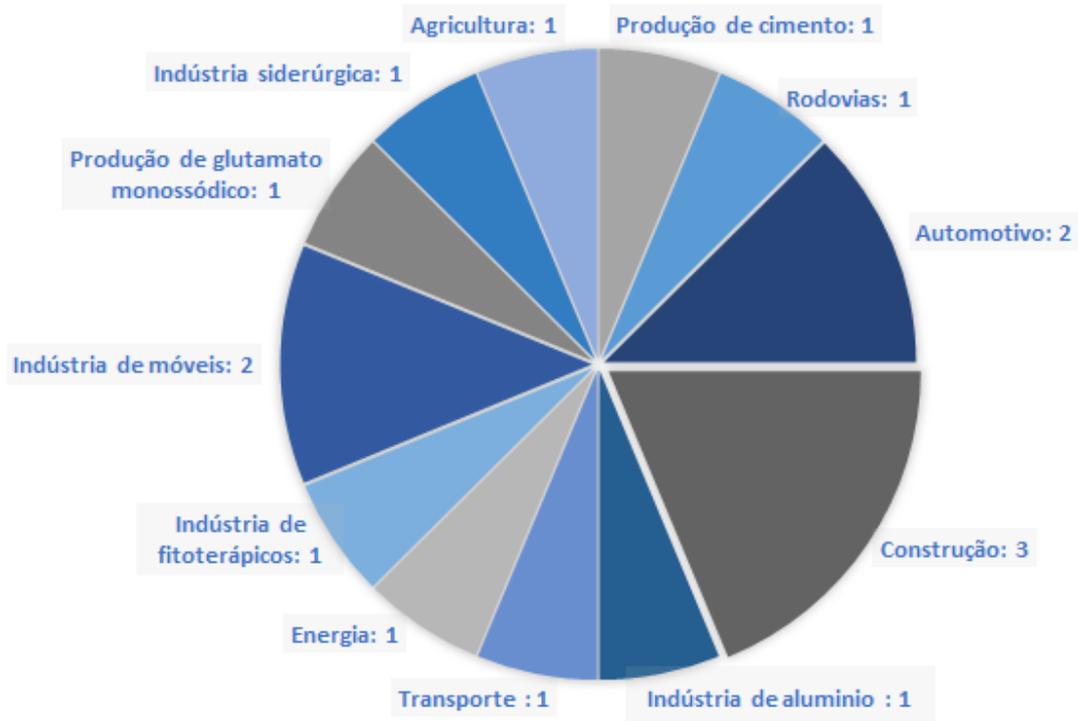
### 3.7. ILUSTRAÇÃO DOS RESULTADOS DA RSL

#### 3.7.1. CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS POR SEGUIMENTO

Esta etapa 5 do trabalho apresenta a classificação dos artigos.

Ao analisar os estudos selecionados, foi realizada a classificação dos artigos

por seguimento que é ilustrada na figura 6.



**Figura 6:** Distribuição dos Seguimentos  
Fonte: Autor

Dentre os artigos selecionados a distribuição por seguimento está resumida na tabela 2.

**Tabela 2.** Distribuição de seguimentos por abordagem e método de aplicação P+L & ACV

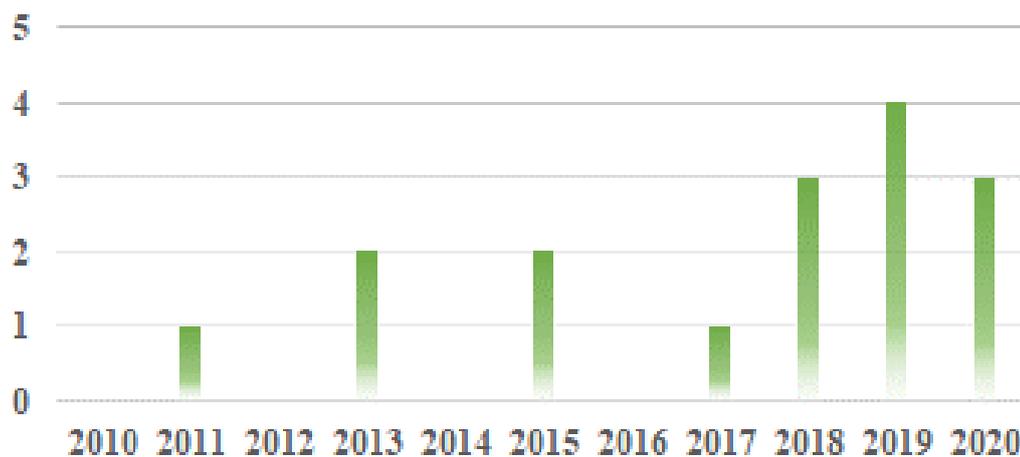
<b>Seguimento</b>	<b>Artigos de ACV</b>
Automotivo	1
Construção	2
Energia	1
Indústria de Alumínio	1
Indústria de Cimento	1
Rodovias	1
Transporte	1
<b>Seguimento</b>	<b>Artigos de P+L</b>
Indústria de Fitoterápicos	1
Indústria de Móveis	1
<b>Seguimento</b>	<b>Artigos de P+L &amp; ACV</b>
Agricultura	1
Automotivo	1
Construção	1
Indústria de Móveis	1
Indústria Siderúrgica	1
Produção de Glutamato Monossódico	1

Fonte: Autor

Nota-se que o setor de construção se destaca com 3 resultados, seguido pelos setores automotivo e de móveis com 2 resultados respectivamente. A tabela 2 demonstra a diversidade de segmentos encontrados, concluindo-se que as abordagens e métodos de aplicação podem ser aplicados em vários setores da economia.

### 3.7.2. ANÁLISE DOS ARTIGOS

A figura 7 ilustra a distribuição dos artigos analisados por ano de publicação ao longo do tempo, o que compõe a etapa 6 do fluxo de trabalho. A busca foi realizada durante o ano de 2020. Vale ressaltar que durante os anos de 2010, 2012, 2014 e 2016 não houve publicações de nenhum método de aplicação das abordagens.



**Figura 7:** Distribuição dos artigos por data de publicação  
**Fonte:** Autor

A distribuição dos artigos por data de publicação está resumida nas tabelas abaixo:

A tabela 3 mostra que considerando o intervalo de tempo, houve uma maior publicação de artigos nos anos de 2020 e 2019, esse resultado demonstra um maior número de publicação ao longo do tempo, o que pode ser interpretado como uma maior preocupação pelas empresas em aplicar a metodologia de ACV ligada de alguma forma as mitigações das emissões de carbono.

**Tabela 3.** Distribuição de artigos de ACV por data de publicação

<b>Ano</b>	<b>Quantidade</b>
2020	2
2019	3
2018	1
2015	1
2011	1

Fonte: Autor

A tabela 4 ilustra o ano de publicação dos artigos de P+L voltados de alguma maneira para as mitigações das emissões de carbono, o resultado do estudo demonstra um gap na literatura. Concluindo-se que é necessária uma atenção ao tema. Visto que é uma técnica que visa não apenas melhorias contínuas e avaliação ambiental, mas como também uma sociedade pós-carbono.

**Tabela 4:** Distribuição de artigos de P+L

<b>Ano</b>	<b>Quantidade</b>
2017	1
2013	1

Fonte: Autor

A tabela 5 demonstra a publicação ao longo dos anos dos artigos que abordam a duas metodologias aplicadas de forma combinadas, tema central dessa dissertação. Considerando o intervalo entre 2010 e 2020, observa-se poucos estudos com o método de aplicação. Assim, com base nessa observação é possível identificar outro gap na literatura, o mesmo identificado para as publicações de P+L e ACV. Na tabela é detectada uma “fase inicial” no ano de 2013 do uso das duas abordagens de forma conjugadas, presumindo-se então o desenvolvimento do conceito a partir desse ano, e se mantendo presente ao longo do período com o número de publicações, com o destaque para o ano de 2018 com duas publicações e se mantendo com uma até 2020.

**Tabela 5:** Distribuição de artigos de P+L & ACV

<b>Ano</b>	<b>Quantidade</b>
2020	1
2019	1
2018	2
2015	1
2013	1

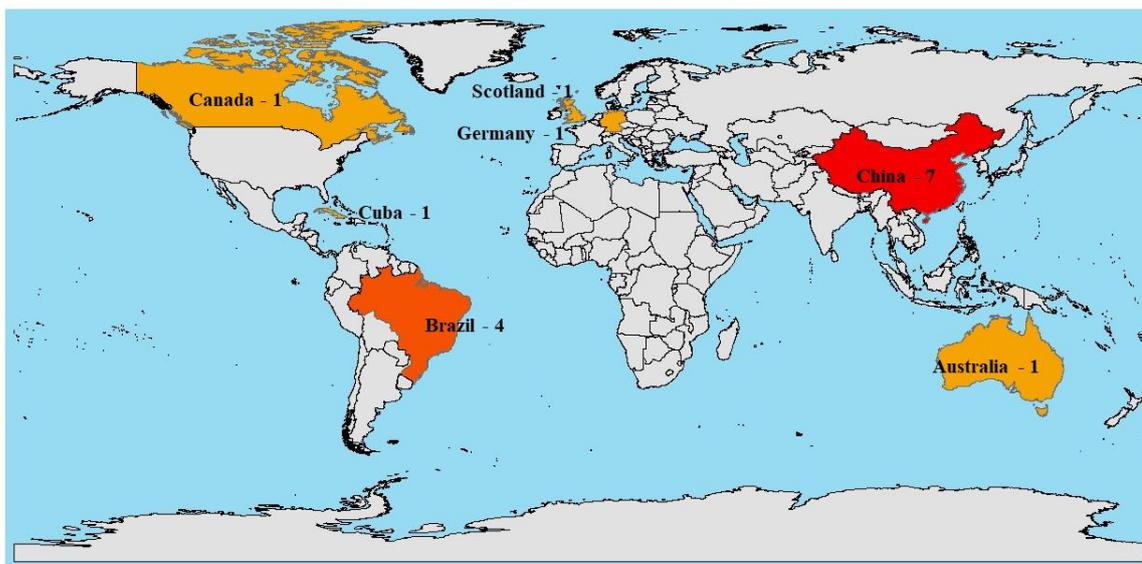
Fonte: Autor

É importante destacar que para esse estudo apenas artigos de aplicação das técnicas ambientais foram selecionados para avaliação. Como artigos que demonstrassem de forma clara o seu direcionamento as mitigações de emissões de carbono, diante que, durante o processo de pesquisa muitos estudos de ACV eram apenas focados em emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

### 3.7.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Nesta última etapa são apresentados os resultados centrais da realização da RSL.

A partir do estudo, foi possível identificar os países que estão publicando e quais se destacam. O gráfico da figura 8 apresenta os países publicadores. A China lidera com 7 trabalhos publicados, o que representa 44% do total.



**Figura 8:** Países por publicação  
**Fonte:** Autor

Pode-se observar na distribuição geográfica dos artigos, que embora a China lidere em termos de publicações totais, o Brasil aparece com 4 publicações, o que corresponde a 25% do total de estudos. A partir da relevância, pode-se concluir o interesse pelo país no assunto à frente de outros países.

Dividindo a pesquisa de acordo com as abordagens, países como Brasil e China apresentam apenas 1 artigo de P+L cada, no caso da ACV a China é o país que mais publica com 4 artigos o que corresponde a 50% do total de artigos de ACV,

seguido pela Austrália, Alemanha, Canada e Escócia com 1 artigo publicado respectivamente.

Embora exista uma predominância da China em publicações no total de artigos publicados das técnicas estudadas nessa dissertação, pode-se observar o Brasil, como país que mais publica artigos das duas técnicas aplicadas de forma conjugada, se destacando dos demais países com 50% dos artigos publicados.

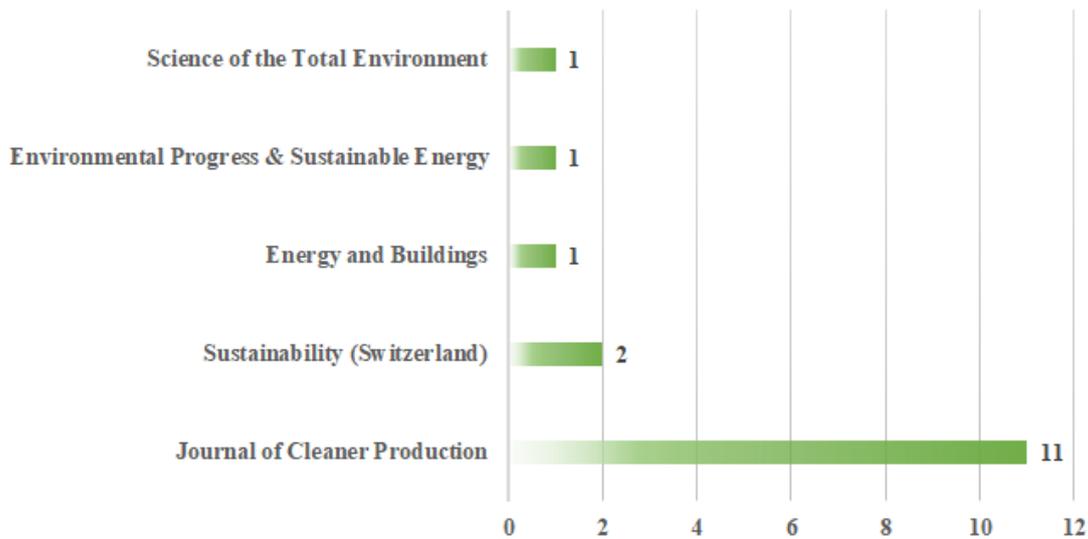
É importante mencionar que no estudo os artigos selecionados abordam de alguma forma a questão das emissões de carbono e relatam a importância da sua mitigação. A figura 9 mostra os artigos selecionados separados por abordagem, ilustrando o título, autor e ano dos estudos.

ARTIGOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA	
<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Meng <i>et al.</i> , 2017	Evaluation of cleaner production technology integration for the Chinese herbal medicine industry using carbon flow analysis
Ribeiro Massote; Moura Santi, 2013	Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory
ARTIGOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	
<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Ma <i>et al.</i> , 2019	Carbon Emissions of China's Cement Packaging: Life Cycle Assessment
Jiang <i>et al.</i> , 2020	Estimating carbon emissions from road use, maintenance and rehabilitation through a hybrid life cycle assessment approach – A case study
Gebler <i>et al.</i> , 2020	Life cycle assessment of an automotive factory: Identifying challenges for the decarbonization of automotive production – A case study
Dahmen <i>et al.</i> , 2018	Life cycle assessment of emergent masonry blocks
Guo <i>et al.</i> , 2019	Carbon reduction potential based on life cycle assessment of China's aluminium industry-a perspective at the province level
Duan <i>et al.</i> , 2015	Quantification of carbon emissions of the transport service sector in China by using streamlined life cycle assessment
Yu <i>et al.</i> , 2011	A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emission
Mccay <i>et al.</i> , 2019	Life cycle assessment of the carbon intensity of deep geothermal heat systems: A case study from Scotland
ARTIGOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA & AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	
<b>Autor</b>	<b>Título</b>
Lopes Silva <i>et al.</i> , 2018	Life Cycle Assessment in automotive sector: A case study for engine valves towards cleaner production
Cabello Eras <i>et al.</i> , 2013	Improving the environmental performance of an earthwork project using cleaner production strategies
Zhang <i>et al.</i> , 2016	LCA as a Decision Support Tool for Evaluating Cleaner Production Schemes in Iron Making Industry
Yang <i>et al.</i> , 2020	Life cycle assessment of cleaner production measures in monosodium glutamate production: A case study in China
Lopes <i>et al.</i> , 2018	Combining cleaner production and life cycle assessment for reducing the environmental impacts of irrigated carrot production in Brazilian semi-arid region
Panameño <i>et al.</i> , 2019	Cleaner Production and LCA as Complementary Tools in Environmental Assessment: Discussing Tradeoffs Assessment in a Case of Study within the Wood Sector in Brazil

**Figura 9:** Distribuição de artigos por autor e título  
**Fonte:** Autor

A figura 10 apresenta a distribuição total dos artigos avaliados pelos

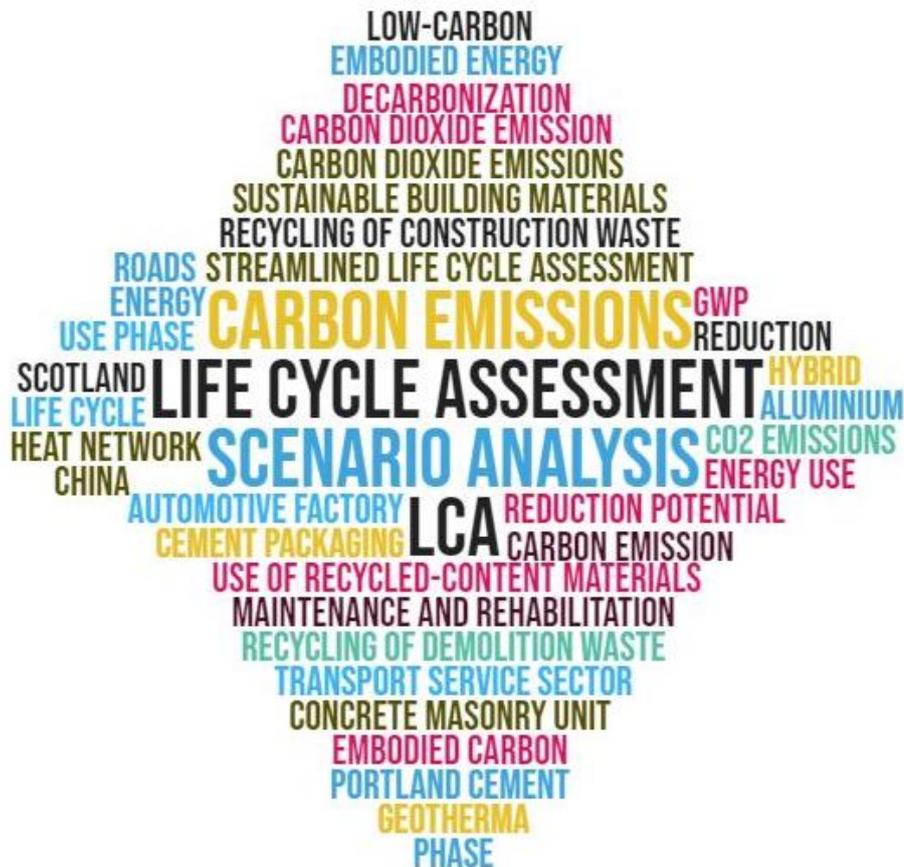
periódicos em que foram publicados, com destaque para a revista *Journal of Cleaner Production* que teve um maior número de publicação por metodologia avaliada no acumulado e separadamente, resultando em 5 publicações de ACV, 2 de P+L e 4 quando são avaliados os artigos das duas abordagens de maneira combinada.



**Figura 10:** Distribuição total dos artigos por periódicos  
**Fonte:** Autor

Além disso, ao avaliar as palavras-chave dos artigos de cada abordagem de maneira separada e das duas metodologias aplicadas de forma combinadas, observa-se as *strings* mais centrais como nas figuras abaixo.

A partir da figura 11 é possível observar a centralidade de palavras como “*life Cycle Assessment*” e a *string* “*Carbon Emission*” que está no grupo de *strings* direcionadas para a busca de artigos de ACV. Contudo é observado a palavra central “*Scenario Analysis*”, que não integra o grupo de palavras usadas na busca realizada na base de dados dos periódicos e a ausência da *string* “*Mitigation*”.



**Figura 11:** Nuvem de palavras dos artigos de ACV  
**Fonte:** Autor

Na análise das palavras-chave resultante dos artigos de P+L, encontra-se centralidade na *string* “*Cleaner Production*” que faz parte das *strings* de busca. Além disso, observa-se a palavra “*Low-Carbon Economy*”, que é anexa aos objetivos da abordagem, como é ilustrado na figura 12.

LOW-CARBON ECONOMY  
TECHNOLOGY ASSESSMENT  
ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
**CLEANER PRODUCTION**  
OPTIMIZATION OF MANUFACTURING SYSTEM  
FURNITURE INDUSTRY (BRAZIL  
INDUSTRIA LBIOMASS WASTE  
CARBON FLOW ANALYSIS  
BIOENERGY

**Figura 12:** Nuvem de palavras dos artigos de P+L  
**Fonte:** Autor

Como previsto, as palavras-chave centrais dos estudos das duas abordagens operadas de forma combinada são aquelas que relacionam “*Cleaner Production*” e “*Life Cycle Assessment*”. *String* que foram utilizadas no processo de busca por artigos que abordassem esse tipo de aplicação.

A figura 13 mostra as palavras-chave encontradas nesses artigos.



**Figura 13:** Nuvem de palavras dos artigos de P+L & ACV  
**Fonte:** Autor

É importante salientar que não foi encontrada a *string* “*Carbon Emission Mitigation*” no grupo de palavras-chave de nenhum dos artigos selecionados nessa pesquisa, presumindo-se então uma inexistência do foco desse objetivo nas aplicações das abordagens, fomentando a ideia de um gap na literatura do assunto abordado nessa dissertação.

### 3.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para atingir o objetivo da RSL, foram propostas 4 questões de pesquisa: (i) Existe uma lacuna inexplorada das técnicas de P+L e ACV ligadas as mitigações de carbono? (ii) Existem oportunidades de aplicação das duas abordagens de maneira combinadas? (iii) Quais segmentos de mercado estão utilizando as duas abordagens conjugadas? (iv) Quais são os países onde as técnicas de forma combinadas estão sendo aplicadas?

Coerentemente, encontrou-se uma lacuna teórica de pesquisa a ser explorada das técnicas de P+L e ACV relativa as mitigações das emissões de carbono, o que responde à questão proposta (i). Seguido pelo gap na literatura de artigos das duas abordagens aplicadas de maneira combinadas. Portanto o capítulo conduziu uma

análise resultante de uma RSL referente a três abordagens em termos de técnica e de aplicação. Em termos de uso de variantes foi identificado a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida do Berço ao Túmulo – *Cradle-To-Grave* (MA *et al.*, 2019 e GEBLER *et al.*, 2020) e do Berço ao Portão – *Cradle-To-Gate* (DAHMEN *et al.*, 2018), além disso, foi exposto limitações durante o processo de levantamento de dados de 38% dos estudos. Seguido pelo os artigos de Produção mais Limpa é identificado o uso de *survey*, auditorias e o uso de *software* na operação de sondagem de dados. Em termos de aplicação das duas abordagens usadas de forma combinadas, é apontado o uso da Avaliação do Ciclo de vida do Berço ao Túmulo (LOPES SILVA *et al.*, 2018 e PANAMÉÑO *et al.*, 2019) e do Berço ao Portão (YANG *et al.*, 2020 e LOPES *et al.*, 2018).

Diante das análises de segmentos destaca-se a diversidade de setores da economia, o que reforça a tendência que as abordagens podem favorecer distintos setores na busca de um processo sustentável em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. A exploração das palavras-chave não revelou “*Carbon Emission Mitigation*” ou qualquer *string* relacionada a “*Mitigation*”, o que substancialmente valida que esse campo de pesquisa ainda é pouco abordado em consonância com as metodologias de aplicação do estudo. Embora a RSL foi conduzida (analisando 825 artigos), sendo que 16 estudos foram selecionados, como relatado anteriormente esta pesquisa tem suas limitações, por exemplo, apenas artigos de periódico publicados foram analisando, descartando artigos de congresso que poderiam ter apresentado mais estudos sobre os assuntos abordados na RSL. A base de dados *Scopus* foi selecionada como agente de busca, portanto é possível que tenha acontecido perda de artigos que poderiam se enquadrar neste capítulo. A expectativa é que esta pesquisa auxilie pesquisadores e empresas de distintos setores da economia em iniciativas de mudanças climáticas, limitações de dados ao aplicar algumas dessas técnicas evitando incertezas dos resultados, estratégias de descarbonização e mitigação.

## **4. CORRELAÇÃO ENTRE P+L E ACV**

### **4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Pressupõe que com o surgimento das preocupações com relação as emissões

de carbono e sustentabilidade ambiental das atividades econômicas, exista uma potencialização da utilização da abordagem de produção mais limpa e técnicas de avaliação do ciclo de vida aplicadas de forma combinadas para avaliação do desempenho ambiental, estratégias de mitigação e descarbonização de processos, produtos e serviços. Conforme Pachauri *et al.* (2014), mitigação é uma estratégia complementar para reduzir e gerenciar os riscos das mudanças climáticas em diferentes escalas de tempo, portanto é um processo de redução das emissões ou aumento de sumidouros de gases de efeito estufa (GEEs), de modo a limitar futuras mudanças climáticas, e pode envolver alterações fundamentais na forma como as sociedades humanas produzem e usam serviços como de energia e uso da terra.

Neste sentido, como contribuições do capítulo podem ser ilustradas: (i) a caracterização da forma combinada das duas metodologias (ii) casos práticos, seguimentos e países onde estão sendo aplica essa forma de aplicação (iii) vantagens e desvantagens das duas metodologias (iv) hipóteses de pesquisa (v) um modelo teórico de aplicação.

Assim, este capítulo tem como foco destacar os princípios da produção mais limpa e da avaliação do ciclo de vida aplicados de forma conjugadas em consonância com a mitigação das emissões de carbono em processos, produtos e serviços. No capítulo é ampliando o escopo da RSL a fim de propor métodos para o uso desse tipo de aplicação das duas metodologias e dar seguimento as questões de pesquisas que a dissertação pretende responde com a RSL perante o uso dessa técnica. Nesta conjuntura, ao realizar a pesquisa de artigos que avaliam P+L e ACV aplicados de forma conjugada, apenas seis artigos foram encontrados na literatura ( CABELLO ERAS *et al.*, 2013; ZHANG *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2018; LOPES SILVA *et al.*, 2018; PANAMEÑO *et al.*, 2019; YANG *et al.*, 2020). Portanto, uma lacuna importante na literatura é revelada, indicando que o método de aplicação ainda é pouco estudado, contudo é uma técnica bastante promissora, viável economicamente e se destaca como uma ferramenta de avaliação eficaz em distintos segmentos da economia. A literatura ligada a modelos de avaliação ambiental poderia se beneficiar, por exemplo de técnicas combinadas para melhorias contínuas, redução das emissões de carbono, imprecisão de dados, tomada de decisão e desenvolvimento de processos sustentáveis cujo objetivo é reduzir impactos ambientais.

#### 4.2. P+L PARA MELHORIAS DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL

Para um determinado processo de fabricação, existem várias abordagens para a prevenção de poluição que podem ser aplicadas isoladamente ou em combinação, a escolha da abordagem mais eficiente e econômica pode ser desafiadora, pois o processo de tomada de decisão envolve a separação entre os aspectos econômicos e ambientais, portanto, é importante adotar uma abordagem holística para o sucesso dos programas de prevenção da poluição (YILMAZ *et al.*, 2015). Nessa respectiva, melhorar a eficiência dos processos de fabricação pode ter uma influência direta na economia de produtos que geram impactos na fase de uso, e melhorias no parâmetro de fabricação pode gerar um melhor desempenho do ciclo de vida ambiental para uma produção mais limpa (LOPES SILVA *et al.*, 2018).

As limitações em relação ao escopo de uma abordagem de P+L é a falta de rigor científico, algo que a ACV fornece, juntamente com o benefício de ter um escopo referente ao ciclo de vida, o que ajuda a reconhecer e impedir a transferência de encargos ambientais entre processos ou produtos. Apesar de a P+L possuir um escopo mais limitado em comparação a abordagem do ciclo de vida, possui vantagens pela praticidade de implementação, elaboração de cenários de melhorias e geração de benefícios priorizando oportunidades viáveis (LOPES *et al.*, 2018, PANAMEÑO *et al.*, 2019). Por conseguinte, a produção mais limpa é um método mais eficaz que a avaliação do ciclo de vida em termos de apontar soluções específicas para problemas ambientais de uma organização, essas soluções podem envolver a estrutura *Triple Bottom Line* (sustentabilidade econômica, social e ambiental) (LOPES *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o foco principal da Produção Mais Limpa é a melhoria contínua do processo, enquanto a avaliação do ciclo de vida tem como foco o diagnóstico ambiental, no entanto, a ACV e a P+L são geralmente vistas como ferramentas ambientais que geralmente produzem resultados contraditórios, ambas apresentam características que podem ser entendidas como vantagens ou desvantagens dependendo do ponto de vista profissional e da capacidade de uma empresa produzir recursos (PANAMEÑO *et al.*, 2019). A figura 14 ilustra pontos que podem ser compreendidos como vantagens ou desvantagens de ambas metodologias.

PRODUÇÃO MAIS LIMPA ←	→ AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
Vantagem pela praticidade de implementação, exigindo menos investimentos. Adequado para micro, pequenas, médias e grandes empresas.	Requer investimento intermediário a um nível superior (relativo às implementações da P+L).
Facilidade na transferência de conhecimento dos princípios de P+L para profissionais, pesquisadores e pessoal em geral, em qualquer nível de uma empresa.	A transferência de conhecimento pode ser de uma fácil introdução aos princípios e pensamento do Ciclo de Vida, ou de maneira especializada para profissionais, cientistas, acadêmicos e clientes.
Quando implementado como um programa contínuo, permite uma aplicação permanente de abordagens preventivas na redução de materiais, energia e desperdício na fonte de novos produtos ou serviços.	Requer análise caso a caso de quaisquer alterações em produtos ou serviços para evitar a alteração dos encargos ambientais entre produtos ou processos.
Requer a contabilização de um inventário atual dos saldos de materiais e energia (input / output) dentro dos limites do sistema produtivo analisado.	Requer inventário contábil de materiais e balanços de energia (input / output) do berço ao túmulo, como resultado, são necessários dados de alta qualidade de outras fontes além da empresa.
Não inclui uma perspectiva do ciclo de vida / escopo limitado.	baseia-se em uma perspectiva integrada do ciclo de vida / escopo mais amplo.
Não pode ajudar a prever mudanças de encargos ambientais entre processos, produtos e nem entre a cadeia de suprimentos envolvida.	Pode ajudar a prever a mudança de encargos ambientais variável entre os produtos e processos, ao longo do ciclo de vida.
Evidencia melhorias econômicas e sociais, como a eficiência de recursos.	Não enfoca os aspectos econômicos ou sociais de um produto.
	É um método estruturado e abrangente, baseado em uma aplicação técnica sistêmica e rigorosa, preferida por cientistas, acadêmicos e profissionais

**Figura 14:** Vantagens ou desvantagens compreendidas.

**Fonte:** Adaptado de PANAMÉÑO *et al.*, 2019.

A ACV é uma ferramenta de auxílio aos tomadores de decisão e deve ser incluída em outros critérios de escolha, como custo e desempenho, para uma decisão bem equilibrada (SAIC, 2006). Portanto uma ferramenta vital e poderosa de apoio a decisões que complementa outros métodos necessários para promover de forma eficiente, um consumo e uma produção mais sustentáveis (ILCD, 2014). Zhang *et al.* (2016) utilizam ACV como ferramenta de apoio à tomada de decisão, para evitar transferência de impactos ambientais ao avaliar o desempenho ambiental de planos de P+L. Logo, a ACV pode ser identificada como um método robusto que auxilia a

tomada de decisão de um programa de produção mais limpa (LOPES *et al.*, 2018).

Um modelo de aplicação combinado dos métodos P+L e ACV apontando os pontos em comum está resumida na Tabela 6 seguindo o trabalho de Lopes *et al.* (2018), que ilustram o uso da ACV para apoiar a P+L na identificação de uma quantificação mais ampla dos efeitos ambientais do consumo de matérias-primas e da emissão de poluentes.

Na tabela é possível destacar a produção mais limpa de forma individual e na forma combinada com ACV, atuando em cenários de melhorias e estratégias de mitigação. Em consonância ao estudo de Cabello Eras *et al.* (2013), que também utiliza a P+L na avaliação das ações de mitigação.

As opções de ações de mitigação estão disponíveis em distintos setores principais, a mitigação pode ser mais econômica se usar abordagens integradas que combinam medidas para reduzir o uso de energia e a intensidade de gases de efeito estufa dos setores de uso final, que atuem na descarbonização do fornecimento de energia, reduza as emissões líquidas e aumente os sumidouros de carbono em setores terrestres. (PACHAURI *et al.*, 2014)

**Tabela 6:** Pontos em comum de uma aplicação combinada

<b>Técnica de aplicação</b>	<b>P+L</b>	<b>ACV</b>	<b>P+L &amp; ACV</b>
Diagnóstico qualitativo do processo	■		■
Diagnóstico quantitativo do processo	■	■	■
Estimativa de resíduos	■		■
Cenários de melhorias e estratégias de mitigação	■		■
Análise de custo	■		■
Análise de impacto ambiental		■	■
Benefícios ambientais e econômicos	■		■
Função de produto	■		■
Cobertura <i>gate to gate</i>	■	■	■
Cobertura <i>cradle to gate</i>		■	■
Emissões de substâncias no meio ambiente		■	■
Impactos ambientais associados à produção, transporte e tratamento de resíduos		■	■
Certificações ambientais e modelos mais sofisticados de sistematização de informações		■	■

**Fonte:** Adaptado Lopes *et al.*, (2018)

A ACV e os métodos mais limpos de produção são úteis para identificar cadeias de suprimentos verdes de produção e consumo, por meio de uma Declaração Ambiental Verde do Produto, os produtores podem divulgar o desempenho

ambiental de suas cadeias de suprimentos aos consumidores, permitindo a esses consumidores optar por produtos mais ecológicos (LOPES *et al.*, 2018).

#### 4.2.1. ESTUDOS DE P+L & ACV APLICADOS DE FORMA COMBINADAS

Yang *et al.* (2020) Analisam o desempenho de diferentes medidas de Produção Mais Limpa na produção de Glutamato de monossódico na China, com base em resultados de um estudo de ACV, apontando que a implantação de P+L desempenha um papel significativo no desempenho ambiental e modifica o processo de produção, reduzindo o potencial de aquecimento global, toxicidade aquática, acidificação aquática e eutrofização aquática. Complementar uma aplicação de P+L com um programa de ACV pode evitar tempos e custos desnecessários, o que pode gerar benefícios em empresas e serviços. Panamenã *et al.* (2019) destacam a relevância do tempo ao complementar um programa de P+L com um programa de ACV, propondo um fluxograma que poderia ajudar a identificar situações em que é necessário complementar o programa de P+L com uma ACV, além do fluxograma ser capaz de auxiliar na tomada de decisão, ao evitar a implementação completa de um programa de ACV. Os autores complementam que a realização de uma ACV desde do início pode estar fora do alcance de micro e pequenas empresas devido à necessidade de recursos financeiros e pessoal treinado, desencorajando uma iniciativa de implementação na busca por melhorias ambientais em um processo produtivo.

Lopes Silva *et al.* (2018) realizam uma abordagem sistêmica da ACV do berço ao túmulo de válvulas de escape produzidas no Brasil para uso automotivo. O objetivo é desenvolver cenários de produção mais limpa para reduzir encargos ambientais e melhorar a ecoeficiência na fabricação, o estudo dos autores avalia treze categorias de impacto, concluindo que 90% de todos os impactos são gerados pelo consumo de combustível no motor de combustão interna durante a fase de uso das válvulas, assim o consumo de combustível a gasolina em veículos a motor é um aspecto ambiental de maior impacto no ciclo de vida de válvulas de escape do princípio ao fim. Os autores ressaltam que a ACV é uma ferramenta precisa para analisar aspectos ambientais de produtos e processos, sendo de grande importância em direção à uma produção mais limpa da indústria automotiva.

Lopes *et al.* (2018) Demostram que o uso combinado dos dois métodos se

mostra viável também na agricultura, atividade que mais contribui para a emissões de gases de efeito estufa, degradação da qualidade da água, perda do solo e escoamento de nutrientes em todo o mundo. O uso racional dos recursos naturais e eficiência dos sistemas agrícolas são essenciais para uma agricultura sustentável. Os autores identificam a viabilidade da ACV como identificador dos principais pontos críticos, enquanto a P+L corrobora nas práticas que reduzem custos e uso de insumos. Zhang *et al.* (2016) avaliam o desempenho de planos de produção mais limpa na indústria siderúrgica na China, combinando métodos de ACV e análise de custo. Primeiro é avaliado impactos ambientais de diferentes estágios de produção, para em seguida avaliar o desempenho ambiental de planos selecionados de P+L. Métodos de análise de custo são usados para avaliar os impactos econômicos de cada plano ambiental viável, enriquecendo o método de avaliação de P+L e fornecendo suporte para uma auditoria de P+L.

No estudo de Cabello Eras *et al.* (2013) a avaliação do impacto ambiental e ACV são combinadas com produção mais limpa para obter um melhor desempenho ambiental e orçamentário. Com base em estratégia de P+L foi possível melhorar o desempenho ambiental do projeto original, redução de custo associado ao consumo de combustível, diminuição dos níveis de emissões de GEE e outros gases. Os autores enfatizam que ao implementar estratégias de P+L não foi necessário o uso de novos investimentos.

O que potencializa a ideia que melhorias ambientais e de eficiência produtiva podem ser alcançadas sem a necessidade de altos investimentos em produtos, processos e serviços. Desse modo, nesta seção é possível concluir que existem oportunidades de aplicação das duas técnicas de forma combina de diferentes maneiras o que responde à questão de pesquisa: (ii) existem oportunidades de aplicação das duas abordagens de maneira combinadas?

Na avaliação dos artigos selecionados observa-se uma sequência de aplicação das metodologias para descrever impactos e desempenhos ambientais, melhorias alcançadas, cenários para aplicação e recomendações.

A tabela 7 ilustra a ordem de aplicação dos princípios de P+L e ACV nos estudos destacados na RSL a partir da primeira abordagem aplicada:

**Tabela 7:** sequência da aplicação da abordagem

<b>Autor</b>	<b>P+L</b>	<b>ACV</b>
--------------	------------	------------

Lopes Silva <i>et al.</i> , 2018		✓
Cabello Eras <i>et al.</i> , 2013	✓	
Zhang <i>et al.</i> , 2016	✓	
Yang <i>et al.</i> , 2020	✓	
Lopes <i>et al.</i> , 2018	✓	
Panameño <i>et. al.</i> , 2019	✓	

Fonte: Autor

A tabela aponta que a maioria dos estudos, primeiro aplica os métodos de P+L, e em seguida emprega o uso de uma ACV, complementando a metodologia.

A figura 15 abaixo divide os estudos selecionados das duas metodologias aplicadas de forma combinadas, destacando os países, segmentos e revistas onde os estudos estão sendo publicados. E auxilia responde à questão de pesquisa: (iii) quais segmentos de mercado estão utilizando as duas abordagens conjugadas?

**ESTUDOS DE P+L & ACV**

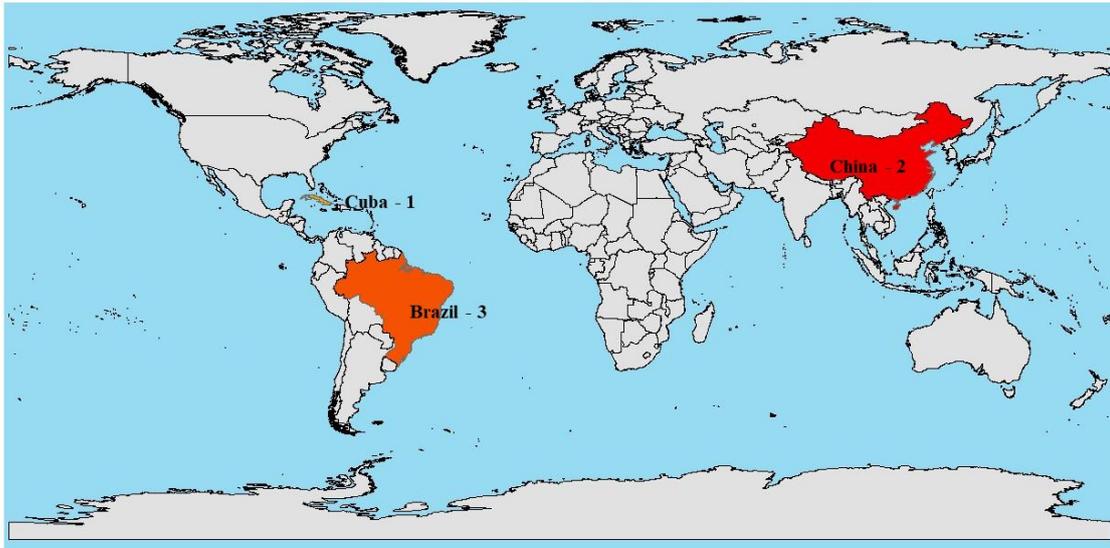
ANO	AUTORES	UNIVERSIDADES	PAÍSES	TÍTULO	SEGMENTOS	REVISTA
2020	DONG YANG	UNIVERSIDADE DE TECNOLOGIA DE QILU (ACADEMIA DE CIÊNCIAS DE SHANDONG) INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DE SHANDONG, JINAN, CHINA.	CHINA	LIFE CYCLE ASSESSMENT OF CLEANER PRODUCTION MEASURES IN MONOSODIUM GLUTAMATE PRODUCTION: A CASE STUDY IN CHINA	PRODUÇÃO DE GLUTAMATO MONOSSÓDICO	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
	MENGYUAN DANG					
	FENG HAN					
	FENG SHI					
	DONG YANG	ESCOLA DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ESTUDOS AMBIENTAIS, UNIVERSIDADE NAGOYA, NAGOYA, JAPÃO	JAPÃO			
	HIROKI TANIKAWA	LABORATÓRIO DE INTEGRAÇÃO DE PROCESSO SUSTENTÁVEL E SPIL, CENTRO NETME, FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA, UNIVERSIDADE DE TECNOLOGIA, BRNO, REPÚBLICA CHECA	REPÚBLICA CHECA			
	XUEXIU JIA					
JIRÍ JAROMÍR KLEMES						
2019	RONALD PANAMEÑO	PROGRAMA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL (PEI), UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA)	BRASIL	CLEANER PRODUCTION AND LCA AS COMPLEMENTARY TOOLS IN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT: DISCUSSING TRADEOFFS ASSESSMENT IN A CASE OF STUDY WITHIN THE WOOD SECTOR IN BRAZIL	INDÚSTRIA MADEIREIRA	SUSTAINABILITY
	CARLOS MARIO GUTIÉRREZ-AGUILAR					
	ASHER KIPERSTOK					
	SANDRO FÁBIO-CÉSAR					
	RONALD PANAMEÑO	FACULDADE DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, DEPARTAMENTO DE OPERAÇÕES E SISTEMAS, UNIVERSIDADE CENTRO-AMERICANA JOSÉ SIMEÓN CAÑAS (UCA)	EI SALVADOR			
	CARLOS MARIO GUTIÉRREZ-AGUILAR	FACULDADE DE ARTES E HUMANIDADES, DEPARTAMENTO DE DESIGN, INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM)	COLOMBIA			
	BEATRIZ ELENA ANGEL	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE BOLIVARIANA (UPB)	COLOMBIA			

2018	DIOGO A. LOPES SILVA	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ESCOLA DE GERENCIAMENTO E TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS.	BRASIL	LIFE CYCLE ASSESSMENT IN AUTOMOTIVE SECTOR: A CASE STUDY FOR ENGINE VALVES TOWARDS CLEANER PRODUCTION	AUTOMOTIVO	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
	JOSÉ AUGUSTO DE OLIVEIRA	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SÃO PAULO, CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA.	BRASIL			
	REMO AUGUSTO PADOVEZI FILLETI	PROGRAMA DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS E GESTÃO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS, DEPARTAMENTO DE ECONOMIA, UNIVERSIDADE CA'FOSCARI DE VENEZA	ITÁLIA			
	JOÃO FERNANDO GOMES DE OLIVEIRA	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	BRASIL			
	ERALDO JANNONE DA SILVA					
ALDO ROBERTO OMETTO						
2018	JULIANO LOPES	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA (IFBA) PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA)	BRASIL	COMBINING CLEANER PRODUCTION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT FOR REDUCING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IRRIGATED CARROT PRODUCTION IN BRAZILIAN SEMI-ARID REGION	AGRICULTURA	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
	DIEGO LIMA MEDEIROS	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA)	BRASIL			
	ASHER KIPERSTOK	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, SALVADOR	BRASIL			
2015	YUN ZHANG	LABORATÓRIO CHAVE DE ECOLOGIA INDUSTRIAL E ENGENHARIA AMBIENTAL, ESCOLA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLOGIA, UNIVERSIDADE DE TECNOLOGIA DE DALIAN	CHINA	LCA AS A DECISION SUPPORT TOOL FOR EVALUATING CLEANER PRODUCTION SCHEMES IN IRON MAKING INDUSTRY	INDUSTRIA SIDERÚRGICA	ENVIRONMENTAL PROGRESS & SUSTAINABLE ENERGY
	KAIMING LIANG					
	JINHUA LI					
	CHENCHEN ZHAO					
	DIANLI QU	ESCOLA DE MATERIAIS DE ALTA TEMPERATURA E ENGENHARIA DE RECURSOS DE MAGNESITA, UNIVERSIDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA LIAONING	CHINA			
2013	JUAN JOSÉ CABELLO ERAS	UNIVERSIDADE DE CIENFUEGOS, CARRETERA A RODAS, CIENFUEGOS	CUBA	IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF AN EARTHWORK PROJECT USING CLEANER PRODUCTION STRATEGIES	CONSTRUÇÃO	JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION
	ALEXIS SAGASTUME GUTIÉRREZ					
	DANNY HERNÁNDEZ CAPOTE	EXPANSÃO DA REFINARIA DA UNIDADE DE INVESTIDORES "CAMILO CIENFUEGOS"	CUBA			
	LUC HENS	INSTITUTO FLAMENGO DE PESQUISA TECNOLÓGICA (VITO)	BÉLGICA			
	CARLO VANDECASTEELE	DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA, K.U. LEUVEN	BÉLGICA			

**Figura 15:** Artigos de P+L & ACV

**Fonte:** Autor

A partir da figura acima, nota-se que houve uma cooperação de diferentes países no desenvolvimento dos artigos. Neste sentido, tendo como base a figura 16, conclui-se através dos documentos selecionados, que esse modelo de aplicação está sendo aplicado em empresas de países como Brasil, China e Cuba, o que responder à questão de pesquisa: (iv) quais são os países onde as técnicas de forma combinadas estão sendo aplicadas?



**Figura 16:** Países por publicação  
**Fonte:** Autor

Complementado a ideia acima exposta, pode-se, por conseguinte analisando a figura 15, observar que houve uma cooperação entre distintas universidades e países no desenvolvimento de alguns estudos. Pressupondo-se que, possa existir interesse pelo modelo de aplicação por outros países. O que abrange o escopo a resposta da pergunta (iv). Assim, não apenas podemos notar os países onde as técnicas estão sendo aplicadas, como as instituições e países que demonstram atenção pelo uso combinado das duas técnicas.

#### 4.2.2. REPRESENTAÇÃO GENÉRICA

Com base na literatura presente na pesquisa e no pressuposto de que, existe uma relação entre as técnicas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida e o atributo mitigação das emissões de carbono, foi possível construir uma base conceitual, e mediante essa base, fundamentar a formação de hipóteses para

evidenciar a técnica proposta. As hipóteses H1, H2, H3 e H4 formadas através dos estudos avaliados podem contribuir para o entendimento da dinâmica entre essas relações, e assim, auxiliar no entendimento da proposta do estudo que é propor o uso combinado dessas técnicas direcionando seus esforços para a mitigação das emissões de carbono.

Para a construção das hipóteses de pesquisa foi usado como referências (SEVERO *et al.*, 2015), (SEVERO *et al.*, 2017) e (DE GUIMARÃES *et al.*, 2018). Os autores analisam práticas ambientais para a formulação de hipóteses baseada na literatura e validam métricas na relação entres construtos. Como critério, esses estudos foram utilizados como referência em função do uso da validação de construtos de produção mais limpa. Contudo o presente estudo não tem o objetivo de investigar as relações pressupostas com essas hipóteses, apenas propor uma representação genérica, adaptando os conceitos utilizados por esses autores e assim destacar a forma conjugada dessas técnicas.

Conforme Hair *et al.* (2009), construto é um conceito latente que o pesquisador pode definir em termos teóricos, em alguns casos o pesquisador especifica uma correlação entres construtos independentes (acreditando que os construtos são correlacionados, mas não assume que um é dependente um do outro) sendo representadas por uma conexão via seta de dois sentidos, já os construtos dependentes são representados por setas retas que descrevem uma relação de dependência ( o impacto de um construto sobre o outro). As setas apontam do efeito antecedente (variável independente) para o subsequente ou resultado (variável dependente). Essa relação é adaptada na figura 17.

Diante disso, o detalhamento da formulação da primeira hipótese é direcionado a combinação das duas técnicas: P+L e ACV que combinadas promovem a sustentabilidade do processo e do produto, podem ajudar a gestão ambiental e apoiar uma bioeconomia destinada a acelerar a transição para uma sociedade pós-carbono, uma aplicação simultânea das duas ferramentas apoia a tomada de decisões, com bases em avaliações técnicas, econômicas e ambientais, baseado em princípios metodológicos internacionalmente reconhecidos que podem ser associadas a rotulagem ambiental (LOPES *et al.*,2018). A produção mais limpa deve considerar todo o ciclo de vida, como deve estender-se a jusante da fabricação, uso de um produto até seu descarte como resíduo, do lado da oferta e da poluição produzida na extração e processamento dos insumos de matérias-primas e produtos

semiacabados (HENS *et al.*, 2018). Todavia, a sinergia entre uma abordagem de P+L e ACV é aprimorada quando usada em combinação, pois a combinação dessas técnicas representam pontos de vista semelhantes ao avaliar a sustentabilidade de um sistema de produtos (PANAMEÑO *et al.*, 2019). Assim, ao avaliar o desempenho das ações de produção mais limpa, é necessário considerar os benefícios ambientais juntamente com os impactos sistemáticos de todas as fases do ciclo de vida (YANG *et al.*, 2020). O que leva a primeira hipótese de pesquisa:

**H1.** A Produção Mais Limpa e a Avaliação do Ciclo de Vida estão positivamente correlacionadas.

A P+L é uma maneira eficaz de obter melhor aproveitamento dos materiais, menos consumo de energia e menores níveis de emissão (KJAERHEIM, 2005). Além de orientar para a eliminação do uso de materiais tóxicos e a redução nas quantidades de toxicidade dos resíduos e emissões (SILVA; AMATO NETO, 2011). Assim, no decorrer da última década, houve uma ampliação do conceito de P+L devido às pressões de organizações não governamentais (ONGs), dos consumidores, da competição de mercado e de novos instrumentos de políticas públicas. Passando a incorporar novas variáveis, critérios e princípios incluindo questões sociais que estavam relegadas em relação às ambientais. Também contribuíram para isso as crescentes preocupações com o aquecimento global e alternativas ao modelo de produção e consumo vigente. Essa evolução do conceito de P+L passou incorporar a ideia de que uma produção mais limpa seja um padrão de que emite menos GEE (Gases do Efeito Estufa). Um novo paradigma rumo a uma produção de baixo carbono (MMA, 2020). Cabello Eras *et al.* (2013) utilizam a P+L para interpretação dos resultados e mitigação, de forma a definir a melhor abordagem para alcançar um melhor desempenho ambiental do projeto e Lopes *et al.* (2018) destacam a produção mais limpa atuando em cenários de melhorias e estratégias de mitigação. Originando a segunda hipótese orientada a P+L:

**H2.** A Produção Mais Limpa está positivamente relacionada a mitigação das emissões de carbono.

ACV é uma ferramenta de gerenciamento ambiental para avaliar os efeitos de um produto no meio ambiente durante todo o período de sua vida, desde a extração e processamento de matérias-primas, passando pelos processos de fabricação, embalagem, comercialização, uso, reutilização, manutenção do produto e sua eventual reciclagem ou descarte como resíduo no final de sua vida útil, emissões e o

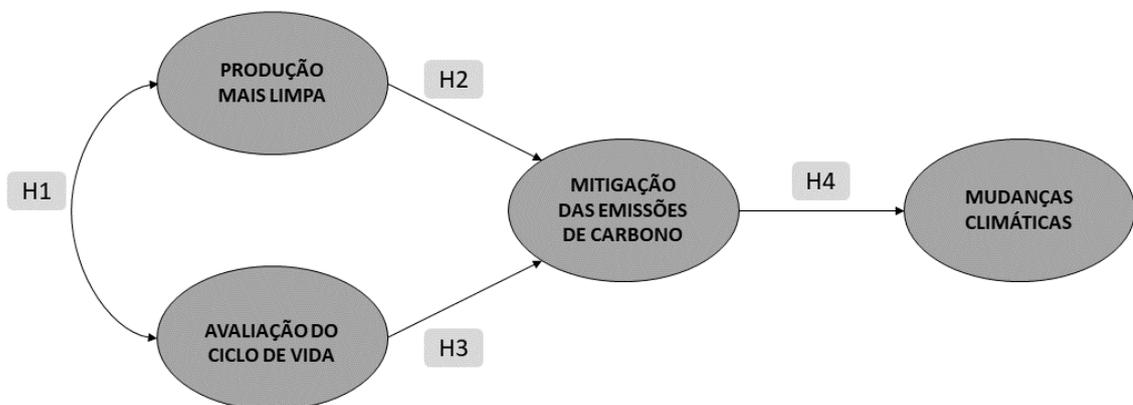
consumo de recursos também são avaliados em todas as etapas do ciclo de vida, com o objetivo de analisar os impactos ambientais de todo o ciclo de vida de produtos e serviços (STRAZZA *et al.*, 2011). A pesquisa de uma ACV pode apoiar a formulação de políticas baseadas em evidências, comparando e comunicando impactos ambientais, informando sobre o impacto das intervenções de mitigação e monitorando o progresso de um setor da economia em direção aos objetivos de desenvolvimento sustentável (GAVA *et al.*, 2020). Consequentemente, dando origem a terceira hipótese dirigida a ACV:

**H3.** Avaliação do Ciclo de Vida está positivamente relacionada a mitigação das emissões de carbono.

Contudo, observou-se durante a análise da literatura que compõe o estudo, que uma quarta hipótese poderia ser gerada para acrescentar a representação genérica. Com isso, H4 complementa o pressuposto inicial e resulta na hipótese voltada para a mitigação das emissões de carbono:

**H4.** A mitigação das emissões de carbono está positivamente relacionada as mudanças climáticas.

A figura 17 representa o diagrama de caminhos que compõe as 4 hipóteses baseadas na literatura pesquisada, como também os elementos chave da pesquisa. De acordo com Hair *et al.* (2009), o diagrama de caminhos é a representação visual de um modelo e do conjunto completo de relações entre os construtos (no caso da pesquisa as técnicas de P+L e ACV e o atributo mitigação das emissões de carbono), onde relações de dependência são representadas por setas retilíneas e setas curvas correspondem a correlações.



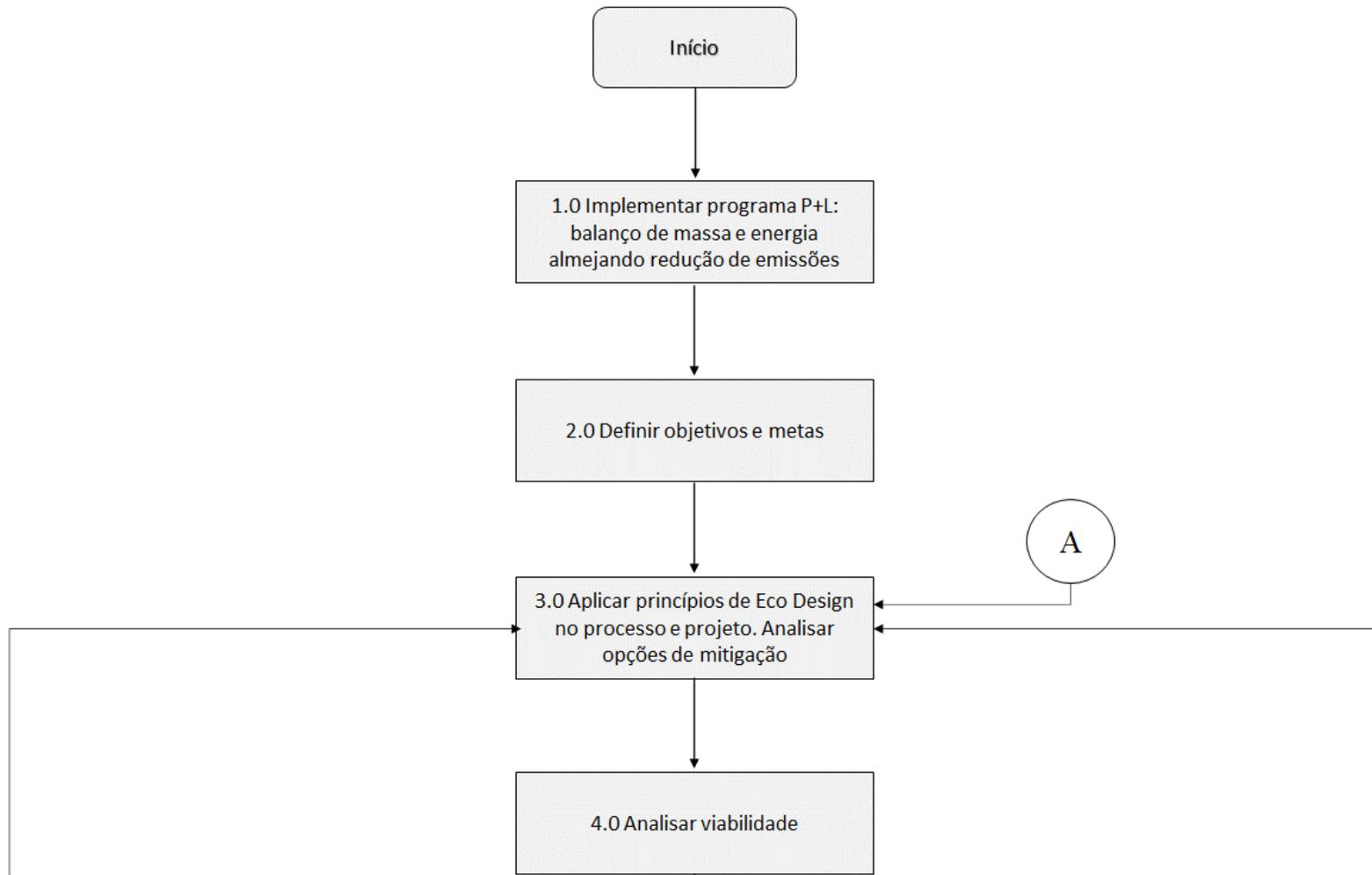
**Figura 17:** Representação genérica pelo diagrama de caminho  
**Fonte:** Autor

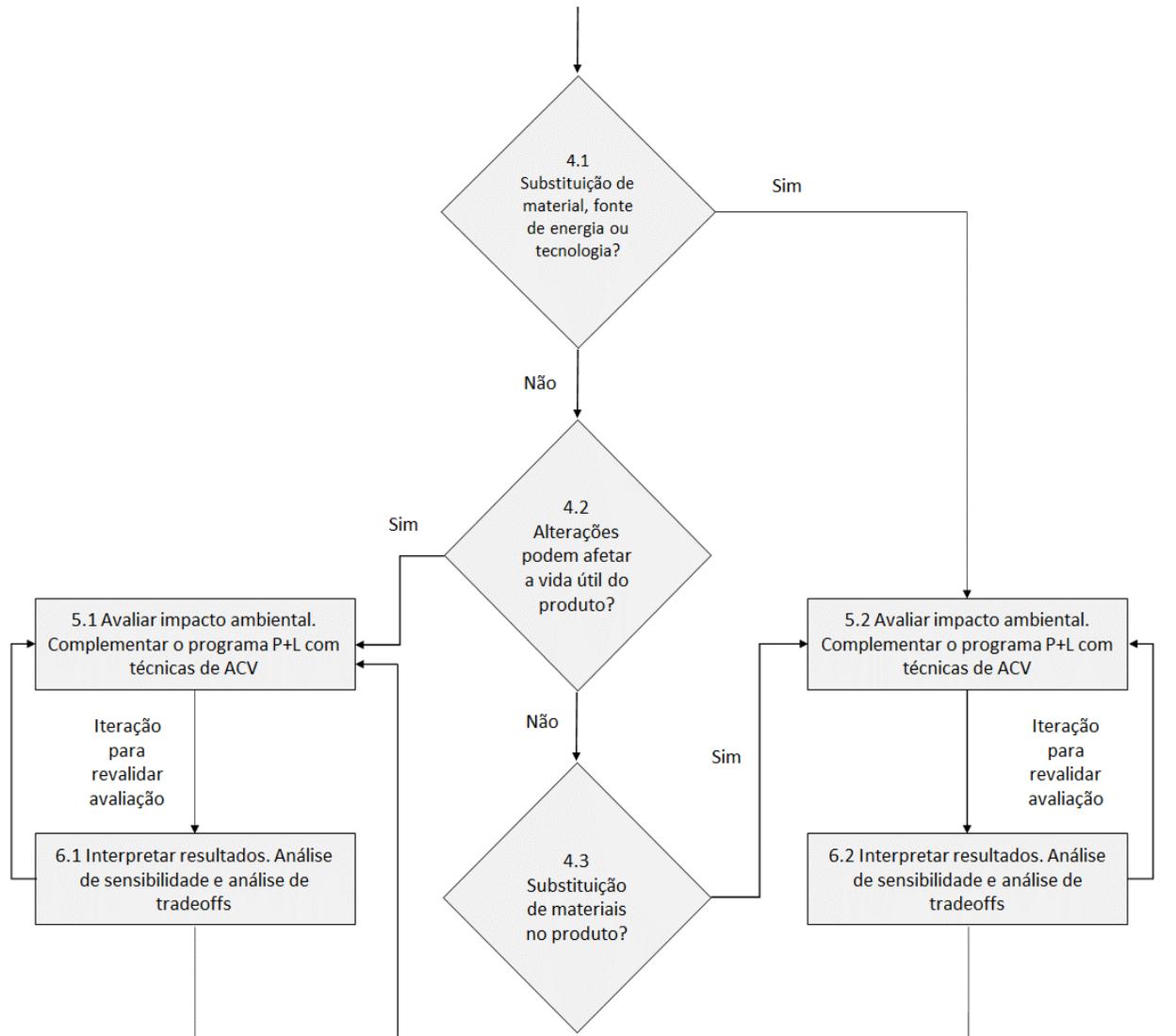
O diagrama de caminho da figura 17, ilustra uma correlação entre P+L e ACV representada pela conexão via seta curva de dois sentidos e uma relação de dependência dos atributos mitigação das emissões de carbono e mudanças climáticas representada por setas retilíneas.

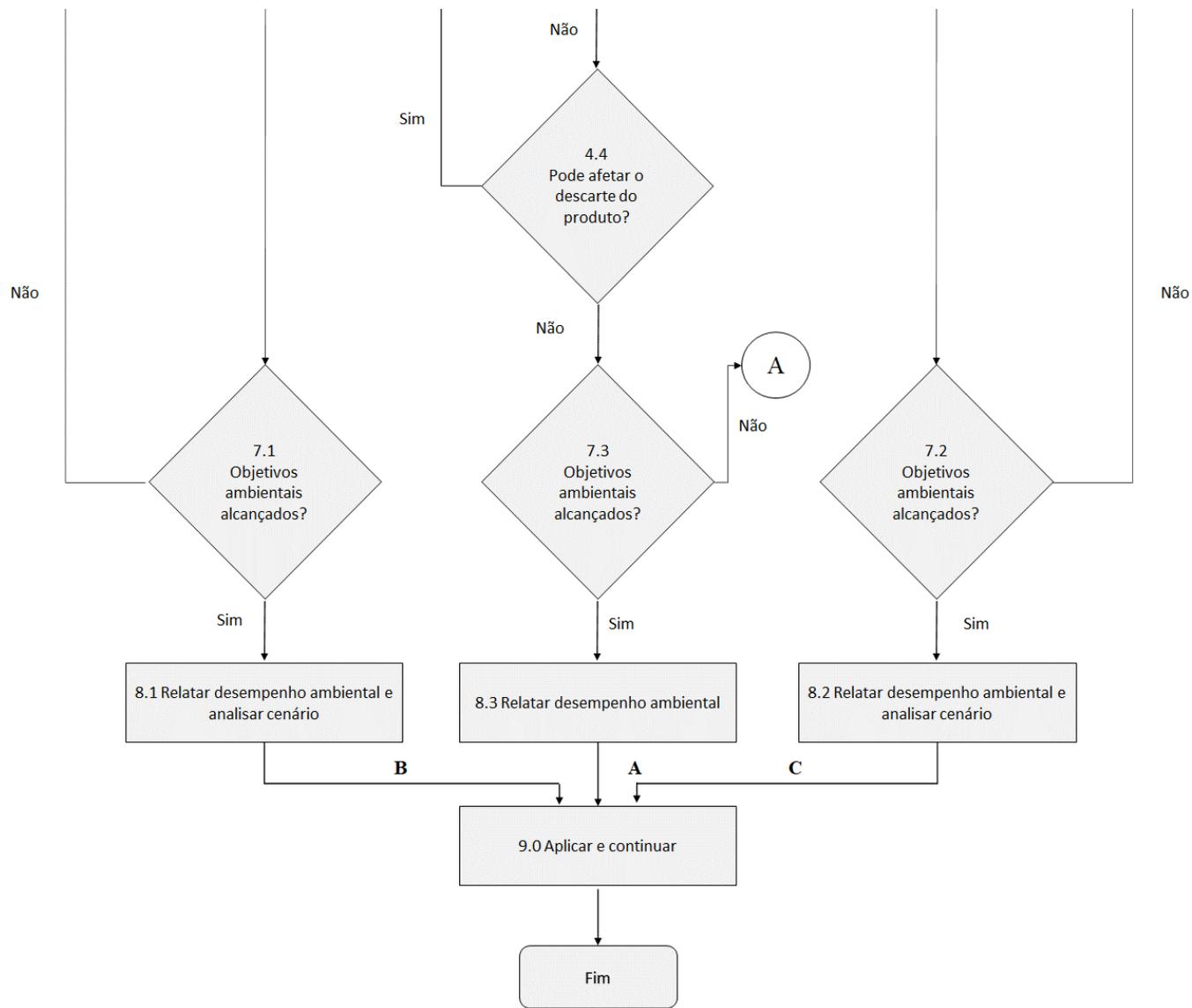
#### 4.2.3. MODELO TEÓRICO DE APLICAÇÃO PROPOSTO

O modelo teórico de aplicação proposto, segue os métodos recomendados por Panameño *et al.* (2019) e o trabalho de Lopes *et al.* (2018), seguido pela ACV de acordo com a ISO 14044 (2009) e SAIC (2006), como conforme a Série Manuais de produção mais limpa (CNTL, 2003). Seu objetivo principal é que a ACV avalie as ações durante a aplicação de P+L referentes as medidas tomadas para mitigação de emissões de carbono.

A figura 18, ilustra o modelo de aplicação da forma combinada dos programas de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida. O modelo traduz o objetivo principal da pesquisa, bem como contempla o escopo do estudo, tendo como premissa o pressuposto a qual foi fundamentado a ideia inicial da dissertação e suportado por seus capítulos. O modelo se encontra também no formato retrato em anexo.







**Figura 18:** Modelo teórico de aplicação de P+L & ACV.

**Fonte:** Adaptação de Panameño *et al.*, (2019), Lopes *et al.*, (2018), ISO 14044 (2009), SAIC (2006) e CNTL (2003).

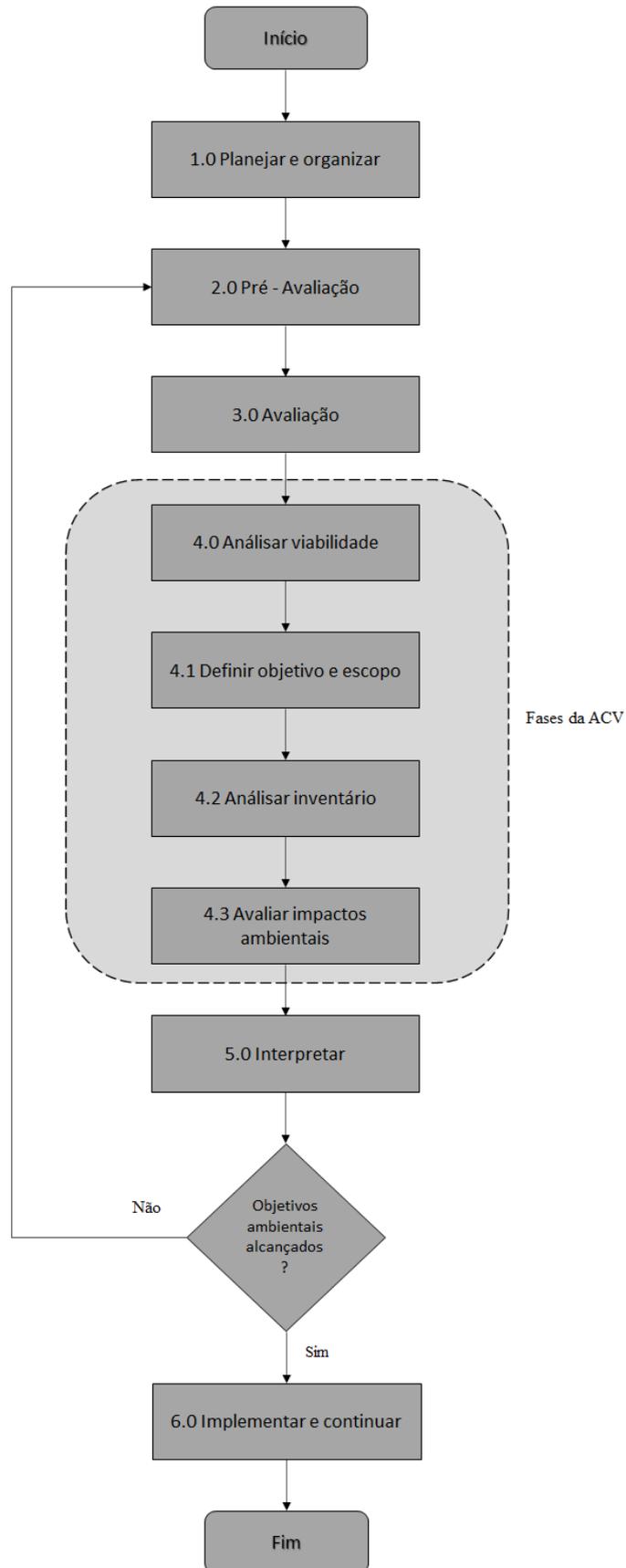
Os procedimentos descritos no modelo acima podem seguir as etapas das áreas A, B e C. As etapas de 1.0 a 4.0 representam um caminho comum que podem ser a apresentação do método de P+L: construção do fluxograma do processo de produção, inventário dos fluxos de materiais, *input* e *output* da empresa com os custos associados resultando em fluxograma de processo, assim, permitindo a identificação da origem de todas as fontes de geração de resíduo e emissões, diagnóstico preliminar e seleção do foco da avaliação (investigando os fatores que influenciam o volume e a composição dos resíduos e das emissões geradas). Complementação do diagnóstico preliminar e delimitação do cenário de acordo com as práticas do processo investigado. Elaboração do balanço de material e energia de todas as etapas do processo para a avaliação da importância relativa de cada uma das possíveis causas de geração de resíduos e emissões, identificação de desperdício, investigação de estratégias de mitigação, análise de viabilidade, implementação e continuação.

As decisões 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 representam *gateways* que podem ser avaliados durante a implementação de um programa de P+L. No caso de um desses *gateways* ter uma resposta afirmativa, o uso de uma abordagem de ACV é indicada para uma análise mais robusta, seguindo as fases de uma ACV conforme indicado: Definição do objetivo e escopo do estudo usando os resultados da fase de P+L, vinculação do inventário, avaliação dos impactos ambientais, análise das incertezas dos parâmetros do inventário, conclusão e recomendações com base na avaliação do inventário do ciclo de vida (ICV) e com base na avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV). Além disso, medir a pegada de carbono visando os gases de efeito estufa pela Iniciativa de Ciclo de Vida (*Life Cycle Initiative – LCI*). O caminho da área C é sugerido quando são feitas substituições de materiais, energia ou tecnologia, seu foco é a avaliação ambiental e análise de *trade-off* visando quantificar as diferenças relativas entre os impactos ambientais mais relevantes. O caminho da área B é semelhante ao da área C, e é sugerido quando o processo de produção ou vida útil é afetado pelo programa de P+L. Segundo CNTL (2003), no caso de mudanças no processo ou produto, as vantagens ambientais por todo o ciclo de vida do produto precisam ser estimadas.

Como no estudo de Panameño *et al.* (2019), é importante destacar que as áreas A, B ou C não representa qualquer hierarquia entre as estratégias ambientais ou entre o desempenho ambiental das ferramentas. É possível ter melhor desempenho ambiental em qualquer um deles. O que o caminho da área A destaca é que se não houver mudanças entre fontes de energia, materiais, tecnologia, processos e tempo de vida, pode ser não necessário realizar uma ACV porque é capaz de não haver compensações ambientais e, como resultado, os ganhos ambientais do programa de P+L podem ser implementados com confiança.

O modelo teórico proposto pode auxiliar a evitar custo e tempo desnecessário associados a implementação de uma ACV completa. Conforme Panameño *et al.* (2019), a realização de uma ACV desde o início pode estar fora do alcance de micros e pequenas empresas devido à necessidade de recursos financeiros e de equipes treinadas. Essa situação pode desencorajar a implantação de uma iniciativa de melhorias ambientais em um processo produtivo.

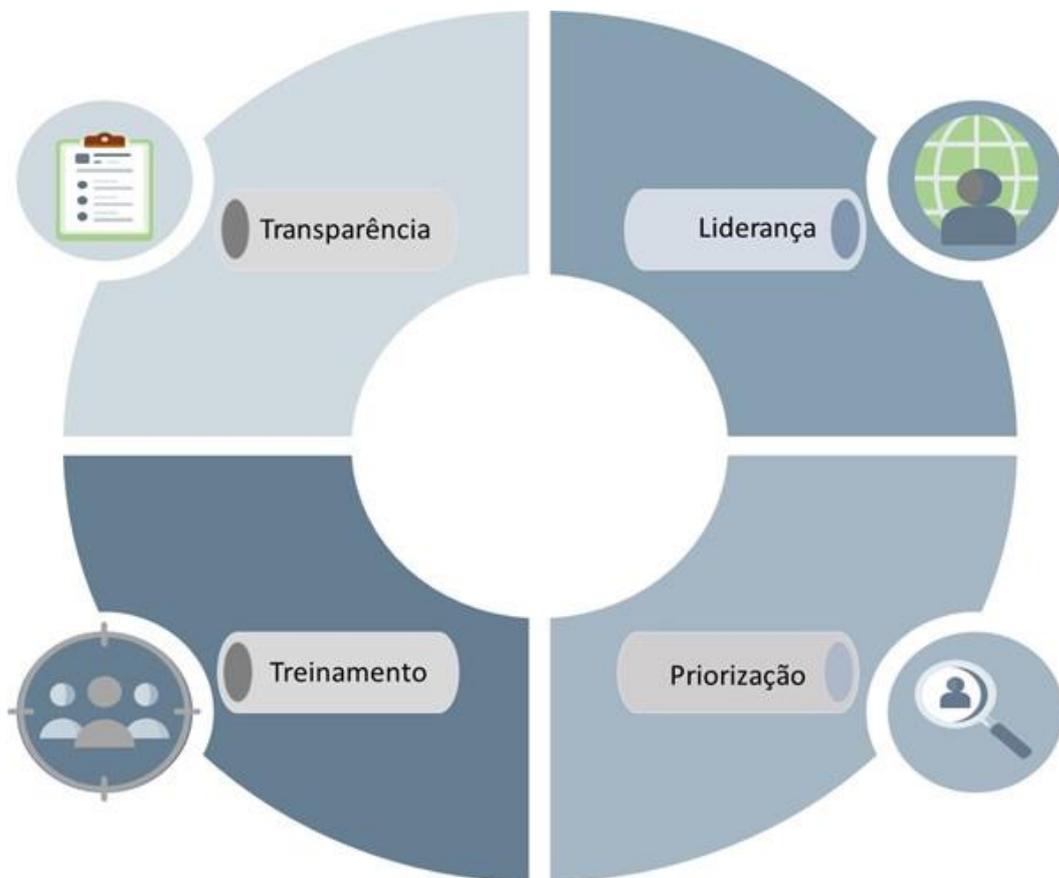
Para um melhor entendimento é ilustrado um fluxograma com as fases de aplicação dos programas de P+L e ACV combinados, conforme a figura 19:



**Figura 19:** Fluxograma otimizado  
**Fonte:** Adaptação de ISO 14044 (2009), SAIC (2006) e CNTL (2003).

No fluxograma da figura 19, as etapas de 1 a 3 representam os caminhos do programa de P+L, de 4 a 4.3 passos do programa de ACV. E a etapa 5.0 retorna para as técnicas de P+L. Os procedimentos de cada etapa podem ser seguidos conforme descrito no detalhamento das fases dos princípios de P+L e métodos de ACV no fluxograma anterior.

Assinala-se ainda que, é essencial que a aplicação de uma metodologia siga alguns princípios que permitam sua efetiva implementação, com uma divisão bem delimitada das responsabilidades e ordenamento das ações a serem adotadas. Nesse sentido, recomenda-se os 4 princípios básicos listados a seguir na figura 20, como princípios regentes para êxito da aplicação das abordagens de forma combinada:



**Figura 20:** Princípios para aplicação da Metodologia  
**Fonte:** Autor

**Transparência:** Clareza dos objetivos e embasamento das metas, tornando acessível aos membros das equipes as premissas e projeções adotadas ao longo do tempo;

**Liderança:** Estabelecer uma governança bem definida para gerir a implementação

de cada aspecto e junto aos membros das equipes analisar todas as opções para uma melhor tomada de decisão;

**Priorização:** Identificar as ações prioritárias para serem realizadas em cada etapa do horizonte de tempo na aplicação das abordagens de produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida;

**Treinamento:** Administrar treinamentos para todos os membros das equipes sobre os programas de produção mais limpa, avaliação do ciclo de vida e ações que podem ser direcionadas para a mitigação das emissões de carbono.

As ações descritas a cima são adaptadas para a aplicação do descrito modelo teórico de aplicação da figura 18 no estudo, porém seguem como base os princípios da implementação que são descritas nas Estratégias de Desenvolvimento de Baixo Carbono abordada pelo CEBDS (2017), portanto, tem suporte na literatura avaliada no estudo.

#### 4.2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a análise dos artigos foi possível identificar diferentes maneiras do uso da combinação das abordagens, como de Cabello Eras *et al.* (2013) que instalam uma ACV com o objetivo de descrever os impactos ambientais e as melhorias alcançadas com a introdução de estratégias de produção mais limpa. Zhang *et al.* (2016) utilizam a ACV para avaliar o desempenho ambiental dos planos de produção mais limpa demonstrando que os planos são economicamente viáveis. Lopes *et al.* (2018) que definem ACV como um método robusto para melhorar a tomada de decisão de P+L. Já Panameño *et al.* (2019) sugerem a ACV como uma ferramenta científica para quantificar os impactos ambientais das ações de um programa de P+L. No estudo de Yang *et al.* (2020) a qual os desempenhos ambientais de várias medidas de produção mais limpa são analisados usando a ACV, identificando os principais fatores contribuintes para os impactos ambientais. Contudo diferente dos autores anteriores, Lopes Silva *et al.* (2018), primeiro aplica uma ACV identificando *hotspots* ambientais e sugeri cenários de produção mais limpa para reduzir impactos ambientais. Assim, esses autores estão em consonância com as etapas do modelo teórico de aplicação das duas técnicas de forma combinadas, o que demonstra o embasamento teórico do método proposto.

Neste capítulo, foi ampliado o escopo da RSL ao que se refere ao uso das

duas abordagens combinadas, como resultado foi possível responder as questões de pesquisa referentes ao uso dessas técnicas, e concluir, que é possível atuar na aplicação dessas metodologias de forma combinadas de diferentes maneiras e que esse modelo está sendo aplicado em empresas de países como Brasil, China e Cuba. Porém, existe um interesse de distintas universidades como de outros países pelo desenvolvimento do método de aplicação.

Embasado na literatura avaliada foi possível a formação de hipóteses para relacionar o uso dessas técnicas a mitigação das emissões de carbono e representá-las no diagrama de caminhos, o que pode ajudar no entendimento da metodologia do estudo e destacar a aplicação conjunta da produção mais limpa e avaliação do ciclo de vida. Contudo o estudo não tem o objetivo de investigar essa relação, mas apenas apoiado na literatura abordada, propiciar a comunidade acadêmica o enquadramento dessas hipóteses para potencializar o uso desse método discutido no capítulo.

Em termos de aplicação das duas abordagens usadas de forma combinadas é proposto um modelo teórico de aplicação de um método robusto de avaliação com intuito de evitar custo e tempo desnecessário associados a implementação de uma ACV completa e identificar situações em que é necessário complementar o programa de P+L com uma ACV. Também, de avaliar estratégias de mitigação, simultaneidade das duas ferramentas como apoio a tomada de decisões, além de orientar para a eliminação de materiais tóxicos e a redução das emissões de carbono. Porém, como no uso de toda metodologia é essencial que aplicação siga alguns princípios que permitam sua efetiva implementação como transparência, liderança, priorização e treinamento.

O anseio é que este capítulo auxilie pesquisadores e empresas de distintos setores da economia em iniciativas do uso dessas técnicas de forma combinadas direcionadas na avaliação das mitigações e auxílio em uma tomada de decisão ao adotar um paradigma com uma perspectiva de uma economia de baixo carbono, o que pode vir a representar um modelo em conformidade com o Acordo de Paris.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO ESTUDO**

### **5.1. CONCLUSÃO**

A presente dissertação aponta a importância de usar um modelo robusto para

melhorias contínuas e caminhos para avaliar ações com o objetivo de mitigar as emissões de carbono. O estudo se propõe a este fim através de uma abordagem teórica e visa sintetizar as principais conclusões e desafios entre duas abordagens ecoeficientes que nasceram em momentos e paradigmas diferentes, porém podem dividir espaços no mesmo processo produtivo.

Para desenvolvimento do estudo foi utilizado uma RSL, seguindo procedimentos e métodos sistemáticos preestabelecidos para busca de documentos e análises de resultados.

Através do estudo foi possível identificar uma evolução dos conceitos de produção mais limpa, gerado pela transformação da sociedade ao longo do tempo. O que propiciou a metodologia levar em consideração as melhorias sociais e de mudanças climáticas. Concluindo-se que avaliar pontos de intensidades de emissões durante as diferentes fases do ciclo de vida de um produto durante seu processo de produção podem auxiliar a identificar pontos críticos de atividades intensivas emissoras de carbono. Assim, a ACV pode ser uma ferramenta promissora para uma rápida avaliação e seleção de alternativas mais sustentáveis, usada de forma integrada a P+L.

Por meio do estudo foi possível criar hipóteses através da literatura avaliada para melhor entendimento do modelo proposto no estudo e verificar que, a mitigação das emissões de carbono está positivamente relacionada as mudanças climáticas. E conceitualizar o fluxograma proposto de aplicação das duas abordagens utilizadas de forma combinadas. O que propõe um modelo mais robusto de avaliação, o que poderia evitar tempos desnecessário e custos ao aplicar uma ACV completa, uma vez que ações de P+L exigem investimentos menores, incluem índices de pegadas de emissões de carbono e potencial de aquecimento global. O que vem a ser a principal contribuição teórica deste estudo o fluxograma de aplicação apresentado na figura 18 para possível validação empírica.

Através da análise dos artigos selecionados, conforme o desenvolvimento dos capítulos foi possível replicar as questões de pesquisa que o estudo pretende responder com a RSL.

A primeira pergunta é direcionada a existência de uma lacuna inexplorada das técnicas de P+L e ACV ligadas a mitigação das emissões de carbono. Isto posto, por meio dos artigos selecionados foi possível verificar que sim, existe uma lacuna na literatura a ser explorada, concluindo-se que é necessária uma atenção ao tema,

visto que são técnicas que visam a melhoria contínua e podem trabalhar a favor de uma sociedade pós-carbono. Contudo com base na exploração dos documentos é possível identificar um gap na literatura para o uso combinado de P+L e ACV.

A segunda, pergunta se existe oportunidades de aplicação das duas abordagens de maneira combinada. Exposto isso, na avaliação dos artigos selecionados, observa-se distintas formas de aplicação da técnica para descrever desempenhos ambientais, melhorias alcançadas e recomendações. Apontando que, a maioria dos estudos primeiros aplicam métodos de P+L, e em seguida empregam o uso de ACV, como uma forma mais robusta de avaliação ambiental e de melhoria contínua. Desse modo, a resposta da pergunta é assessorada pela criação da hipótese H1, que ilustra a P+L e ACV como positivamente correlacionadas, como também é respondida através do fluxograma exposto no estudo que utiliza a combinação das metodologias.

A terceira é direcionada aos segmentos de mercado que estão utilizando as duas abordagens de forma conjugadas. Por meio da pesquisa foi possível identificar os segmentos: Construção, indústria siderúrgica, automotivo, agricultura, Indústria madeireira e produção de glutamato monossódico. Concluindo-se que a técnica pode ser utilizada em distintos seguimentos da economia.

A quarta e última pergunta refere-se aos países onde as técnicas de forma combinadas estão sendo aplicadas. Identifica-se nos documentos examinados, que o modelo de aplicação está sendo utilizados em empresas de países como Brasil, China e Cuba. Porém em uma análise mais robusta em função dos membros que compõe os estudos, pressupõe que existe interesse de outros países pelo desenvolvimento do método de aplicação: Bélgica, Itália, Japão, República Checa, El Salvador e Colômbia. Vale ressaltar que o Brasil corresponde a 50% de publicações de artigos publicados com o tema nos estudos avaliados.

A partir dos resultados do estudo, no atual cenário social, político e econômico não há como virar as costas para as mudanças no planeta, dessa forma além de propor um modelo mais robusto de produção com ações para avaliar mitigação das emissões de carbono, espera-se trazer uma efetiva contribuição para uma sociedade com menos poluição, mitigação as mudanças climáticas e redução de gastos públicos com saúde. Todas as considerações no escopo dessa pesquisa levam à necessidade de considerar a interação dessas ferramentas em distintos processos, para ampliar meios de avaliar ações com o intuito de mitigar as emissões de carbono,

além de proporcionar benefícios econômicos, criação medidas de adaptação as mudanças climáticas e de atender as agendas globais, dentre elas o Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

## 5.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Para trabalhos futuros investigar o modelo do diagrama de caminhos nas empresas com uso de modelagem de equações estruturais e realizar uma análise prática da aplicação da metodologia para verificar o potencial de mitigação das emissões de carbono do método.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT-NBR-ISO-14040-(2009a): *Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípio e Estruturas*.

ABNT-NBR-ISO-14044-(2009b): *Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações*.

AGHAEI CHADEGANI., AREZOO S., HADI MD Y., et al., 2013, “A comparison between two main academic literature collections: Web of science and scopus databases”, *Asian Social Science*, v. 9, n. 5, p. 18–26.

AMATON J., 2011, *Sustentabilidade e produção: teoria e prática para uma gestão sustentável*. São Paulo: Atlas.

ALMEIDA, C.M.V.B., AGOSTINHO, A., HUISINGH, D., GIANNETTI, B.F., 2017, “Cleaner Production towards a sustainable transition”, *Journal of Cleaner Production* 142 , p. 1-7.

ALVES, J.L.S., MEDEIROS, D.D., 2015, “Eco-efficiency in micro-enterprises and small firms: a case study in the automotive services sector”, *Journal of Cleaner Production* 108 , p. 595 – 602.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N., 2012, “Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana”. *Faculdade de Medicina da USP*. São Paulo, SP.

CABELLO ERAS, JUAN, J., G., ALEXIS, S., C., et al., 2013, “Improving the environmental performance of an earthwork project using cleaner production strategies”, *Journal of Cleaner Production*, v. 47, p. 368–376.

CETESB. (2012) *Tecnologia Ambiental*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia-ambiental/producao-e-consumo-sustentavel/80-programa>. Acessado em outubro de 2012.

CEBDS, (2017). Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável. *Estratégias de Desenvolvimento de Baixo Carbono para o longo prazo*. Rio de Janeiro, 2017.

CEBDS, 2019. Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável. *O que é o Acordo de Paris?* Disponível em: <https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#.YQHx5o5KjIU>. Acessado em julho de 2021.

CHARMONDUSIT, K.; GHEEWALA, S. H.; MUNGCHAROEN, T., 2016, "Green and sustainable innovation for cleaner production in the Asia-Pacific region", *Journal of Cleaner Production*, v. 134, n. Part B, p. 443–446.

CLABEAUX, RAEANNE, CARBAJALES-DALE., MICHAEL, L., et al., 2020, "Assessing the carbon footprint of a university campus using a life cycle assessment approach". *Journal of Cleaner Production*, v. 273.

CNTL, (2003) - Centro Nacional de Tecnologias Limpas. *Série Manuais de Produção mais Limpa, Cinco Fases da Implantação de Técnicas de Produção mais Limpa*. Senai – RS.

CONTADOR, JOSÉ CELSO. Coordenador, 2010, *Gestão de Operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa*. São Paulo: Blucher.

CONG, W.; SHI, L. 2019. "Heterogeneity of industrial development and evolution of cleaner production: Bibliometric analysis based on JCLP". *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 822–836.

COMITÊ GESTOR NACIONAL DE PRODUÇÃO E CONSUMO SUSTENTÁVEL. (2007). *Plano Nacional de Ação para a Produção e Consumo*. Outubro de 2007.

CRESWELL, J. W., 2010. *Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed.

DAHMEN, J., KIM, J., OUELLET-PLAMONDON, C., M., 2018, "Life cycle assessment of emergent masonry blocks", *Journal of Cleaner Production*, v. 171, p. 1622–1637.

DE GUIMARÃES, J., C., F., SEVERO, E., A., DE VASCONCELOS, C., R., M., 2018, "The influence of entrepreneurial, market, knowledge management orientations on cleaner production and the sustainable competitive advantage", *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 1653–1663.

DE KOCK, L., RUSSO, V., VON BLOTTNITZ, H., 2019, "Carbon intensive but decarbonising quickly? Retrospective and prospective Life Cycle Assessments of South African pome fruit", *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p. 139–150.

DONG, YAN, H., MICHAEL, S., et al., 2019, "Evaluating the monetary values of greenhouse gases emissions in life cycle impact assessment", *Journal of Cleaner Production*, v. 209, p. 538–549.

DREWS, J., CZYCHOLL, I., KRIETER, J., 2020, "A life cycle assessment study of dairy farms in northern Germany: The influence of performance parameters on environmental efficiency", *Journal of Environmental Management*, v. 273, n. August.

DUAN, HUABO, H., MINGWEI, Z., et al., 2015, "Quantification of carbon emissions of the transport service sector in China by using streamlined life cycle assessment", *Journal of Cleaner Production*, v. 95, p. 109–116.

ENGELBRECHT, DEBORAH, B., WAHIDUL, P., et al., 2015, "Integrated spatial technology to mitigate greenhouse gas emissions in grain production", *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 2, p. 44–55.

FAN, Y. VAN, CHIN H., H., et al., 2020. "Optimisation and process design tools for cleaner production". *Journal of Cleaner Production*, v. 247, p. 119181.

FLEURY AFONSO... [et al.], coordenação Paulo Augusto Cauchick-Miguel. 2018, *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*. -3. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier.

FURTADO, JOÃO SALVADOR., 2005. *Sustentabilidade empresarial: guia de práticas econômicas, ambientais e sociais*. Salvador: NEAMA/CRA, 2005. 177 p.: 23 cm.

GAVA, ORIANA, B., FABIO, V., et al., 2020, "Improving policy evidence base for agricultural sustainability and food security: A content analysis of life cycle assessment research", *Sustainability (Switzerland)*, v. 12, n. 3.

GEBLER, MALTE, C., JUAN, F., et al., 2020, "Life cycle assessment of an automotive factory: Identifying challenges for the decarbonization of automotive production – A case study"., *Journal of Cleaner Production*, p. 122330.

GIANNETTI, B. F., ALMEIDA, C. M. V. B., BONILLA, S. H., "Advances in Cleaner Production, Proceedings of the 2nd International Workshop", UNIP, São Paulo, SP, Brazil. May 20-22, 2009.

GIANNETTI, B. F., AGOSTINHO, F., CABELLO ERAS J. J., YANG Z., ALMEIDA C. M. V. B., "Cleaner production for achieving the sustainable development goals" . *Journal of Cleaner Production*, p. 122127, 2020.

GIL, A. C., 2008. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas.

GUO, YAOQI, Z., WENSONG, Y., et al., 2019, " Carbon reduction potential based on life cycle assessment of China's aluminium industry-a perspective at the province level". *Journal of Cleaner Production*, v. 239, n. 2019.

HAIR, J., J., F., BLACK, W., C., SANT'ANNA, A., S., et al., 2009, *Análise multivariada de dados* (6a. ed.). [s.l: s.n.]. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HENS, L., Block C., Cabello-Eras J., J., et al., 2018. "On the evolution of "Cleaner Production" as a concept and a practice". *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 3323–3333.

HERTWICH, E., G., 2005, "Life cycle approaches to sustainable consumption: A critical review", *Environmental Science and Technology*, v. 39, n. 13, p. 4673–4684.

HUNT, ROBERT G., FRANKLIN WILLIAM E., "Personal Reflections on the Origin and LCA in the USA". LCA- How it Came About , LCA history, 1996.

ILCD (2014) – Sistema Internacional de Referência de Dados do Ciclo de Vida de Produtos e Processos. *Guia Gerla para Avaliações do Ciclo de Vida Orientações Detalhadas*. Pag. 8-39.

IPCC. (2019) *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Industrial Processes and Product Use*. v. 3, p. 1–48.

IPCC (2018): *Aquecimento Global de 1,5°C*

JIANG, RUI, W., CHENGKE, S., et al., 2020, "Estimating carbon emissions from road use, maintenance and rehabilitation through a hybrid life cycle assessment approach – A case study", *Journal of Cleaner Production*, v. 277.

KAYO, C., NODA, R., 2018, "Climate change mitigation potential of wood use in civil engineering in Japan based on life-cycle assessment", *Sustainability (Switzerland)*, v. 10, n. 2.

KJAERHEIM, G., 2005, "Cleaner production and sustainability", *Journal of Cleaner Production*, v. 13, n. 4, p. 329–339.

LIBERATI, A., ALTMAN D., TETZLAFF J., et al., 2009. "The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: Explanation and elaboration", *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7.

LIU, X., BAKSHI, B., R., 2019, "Ecosystem Services in Life Cycle Assessment while Encouraging Techno-Ecological Synergies", *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 2, p. 347–360.

LLOW, BOBBI S., RIDLEY, MATT 1993. *Can Selfishness Save the Environment?*  
Disponível em: <https://www.theatlantic.com/past/docs/politics/environ/selfish.htm>  
Acessado em março de 2020.

LOPES, J., MEDEIROS, D. L., KIPERSTOK, A., 2018 "Combining cleaner production and life cycle assessment for reducing the environmental impacts of irrigated carrot production in Brazilian semi-arid region", *Journal of Cleaner Production*, v. 170, p. 924–939.

LOPES SILVA, D., OLIVEIRA, A., J., FILLETI, R., A., et al., 2018, "Life Cycle Assessment in automotive sector: A case study for engine valves towards cleaner production", *Journal of Cleaner Production*, v. 184, p. 286–300.

LOPES SILVA, DELAI, A., CASTRO., I., et al., 2013, "Quality tools applied to Cleaner Production programs: A first approach toward a new methodology", *Journal of Cleaner Production*, v. 47, p. 174–187.

MA, X., LI, C., LI, B., 2019, "Carbon emissions of China's Cement Packaging: Life cycle assessment". *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 20, p. 1–18.

MCCAY, A., T., FELIKS, M., E., J., ROBERTS, J., J., 2019, "Life cycle assessment of the carbon intensity of deep geothermal heat systems: A case study from Scotland", *Science of the Total Environment*, v. 685, p. 208–219.

MENG, WEN, X., QIAN, Z., et al., 2017, "Evaluation of cleaner production technology integration for the Chinese herbal medicine industry using carbon flow

analysis", *Journal of Cleaner Production*, v. 163, p. 49–57.

MMA- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - *Do conceito de P+L para o conceito de PCS*. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/do-conceito-de-pl-para-o-conceito-de-pcs.htm>. Acessado em março de 2020.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., et al., 2009, " Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement", *PLoS Medicine*, v. 6, n. 7.

MÜLLER, KÄTELHÖN, J., L., BACHMANN A., et al., 2020, "A Guideline for Life Cycle Assessment of Carbon Capture and Utilization", *Frontiers in Energy Research*, v. 8, n. February, p. 1–20.

NETO, G. C. O., CORREIA, J. M. F., SILVA, P. C., SANCHES, A. G. O., LUCATO, W. C., "Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals", *Journal of Cleaner Production* v. 228, 2019.

PACHAURI, R., K., ALLEN, M., R., BARROS V., R., et al., (2014), *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution*. [s.l: s.n.], IPCC, Geneva, Switzerland, 15i pp.

PANAMEÑO, R., GUTIÉRREZ-AGUIAR, ANGEL, M., C., et al., 2019, "Cleaner production and LCA as complementary tools in environmental assessment: Discussing tradeoffs assessment in a case of study within the wood sector in Brazil". *Sustainability (Switzerland)*, v. 11, n. 18.

PEINADO JURANDIR, GRAEML ALEXANDRE REIS, 2007, *Administração da produção. Operações industriais e de serviços*. Unicenp, Curitiba - PR, 750 p.

PRADO FILHO, H., R., *Responsabilidade social e sustentabilidade*. Revista Banas Qualidade. Brasil, Nº 215, p. 3, 2010.

RAHIM, R., RAMAN, A., A., A., 2015, "Cleaner production implementation in a fruit juice production plant", *Journal of Cleaner Production*, v. 101, p. 215–221.

RECPnet 2018. *The Global Network for Resource Efficient and Cleaner Production*. Disponível em: [https://www.recpnet.org/wp-content/uploads/2018/10/RECPnet-Brochure\\_1610.pdf](https://www.recpnet.org/wp-content/uploads/2018/10/RECPnet-Brochure_1610.pdf). Acessado em março de 2020.

RECPnet 2020. *Overview*. Disponível em: <https://www.recpnet.org/overview/>. Acessado em março de 2020.

RIBEIRO MASSOTE, C., H., MOURA SANTI, A., M., 2013, "Implementation of a cleaner production program in a Brazilian wooden furniture factory", *Journal of Cleaner Production*, v. 46, p. 89–97.

SAIC-Scientific Applications International Corporation (2006), *Life cycle assessment: principles and practice*. v. 4, n. 4, p. 650–654.

SANTOS, H., O., ALVES, J., L., S., MELO, F., J., C., DENISE, D., M., 2020, “An approach to implement cleaner production in services: Integrating quality management process”, *Journal of Cleaner Production* 246 ,118985.

SEVERO, E., A., GUIMARÃES J., C., F., DORION, E., C., H., et al., 2015, “Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: An empirical study in the Brazilian metal-mechanic industry”, *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 118–125.

SEVERO, E., A., GUIMARÃES, J., C., F., DORION, E., C., H., 2017, "Cleaner production and environmental management as sustainable product innovation antecedents: A survey in Brazilian industries", *Journal of Cleaner Production*, v. 142, n. January, p. 87–97.

SEVERO ELIANA ANDREA, GUIMARÃES JULIO CESAR FERRO, novembro de 2020, “O impacto da pandemia do covid-19 sobre a sustentabilidade ambiental e a responsabilidade social na percepção das diferentes gerações brasileiras”. *XXIII SEMEAD - Seminários em Administração*, ISSN 2177-3866.

SILVA GILANDER, AMATO NETO JOÃO. “Um modelo de produção sustentável”, *Opinião/Sustentabilidade* - Janeiro de 2011.

SILVA, M. L. P., “Porque vale adotar a produção limpa?” *Revista Banas Qualidade*. 1996.

STRAZZA, BORGHI C., D., GALLO, D., et al., 2011, "Resource productivity enhancement as means for promoting cleaner production: analysis of co-incineration in cement plants through a life cycle approach", *Journal of Cleaner Production*, v. 19, n. 14, p. 1615–1621.

SUDOLSKA A., LIS A., CHODOREK M., 2019, “Research Profiling for Responsible and Sustainable Innovations”, *Journal Sustainability*.11, 6553; doi:10.3390/su11236553.

UNITED NATIONS 2021. *Take Action for the Sustainable Development Goals*. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>. Acessado em abril de 2021.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) 2020. *Resource Efficient and Cleaner Production (RECP)*. Disponível em: <https://www.unido.org/our-focus/safeguarding-environment/resource-efficient-and-low-carbon-industrial-production/resource-efficient-and-cleaner-production-recp>. Acessado em março de 2020.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP) 2012. *Consumo sustentável e seção de produto*. Disponível em: <http://www.unep.fr/scp/cp/> acessado em: setembro de 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP) (2002). *Industry*

*and Environment*. Volume 25, Nº 3-4, julho- dezembro 2002.

UNEP, 2012, *Declaração Internacional Sobre Produção Mais Limpa*. Disponível em: < <http://www.unep.fr/scp/cp/network/pdf/portuguese.pdf>>. Acessado em: 19 set. 2012

VARGAS B., GLORIA M., VAGAS P., MARIÑO J. 2019, “Application of Resource Efficient and Cleaner Production through best management practice in a pallet manufacturer sawmill located in the city of Puyo-Ecuador. Maderas” *Ciencia y tecnología* 21(3): 367 – 380.

VAN BERKEL, R. 2010. "Evolution and diversification of National Cleaner Production Centres (NCPCs)". *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 7, p. 1556–1565.

VIEIRA, PEDRO SENNA, 2019, *Supply chain risk management in healthcare: identification, assessment and mitigation*. Tese\* (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) Centro Federal de Educação Tecnologia Celso Suckow da Fonseca, p 51. 2019, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

YANG, D., JIA X., DANG, M., et al., 2020 “Life cycle assessment of cleaner production measures in monosodium glutamate production: A case study in China”, *Journal of Cleaner Production*, v. 270, p. 122126.

YILMAZ, O., ANCTIL, A., KARANFIL, T., 2015, “LCA as a decision support tool for evaluation of best available techniques (BATs) for cleaner production of iron casting”, *Journal of Cleaner Production*.

YU, D., TAN, H., RUAN, Y., 2011 , "A future bamboo-structure residential building prototype in China: Life cycle assessment of energy use and carbon emission", *Energy and Buildings*, v. 43, n. 10, p. 2638–2646.

ZAMEER H., WANG Y., YASMEEN H., 2020, “Reinforcing green competitive advantage through green production, creativity and green brand image: Implications for cleaner production in China”, *Journal of Cleaner Production* 247 – 119119.

ZHANG YUN, LIANG K., LI J., et al., 2016, “LCA as a Decision Support Tool for Evaluating Cleaner Production Schemes in Iron Making Industry”, *Environmental Progress & Sustainable Energy* (Vol.35, No.1) DOI 10.1002/ep.

ZHOU YAN, ZHAO LIN., “Impact analysis of the implementation of cleaner production for achieving the low-carbon transition for SMEs in the Inner Mongolian coal industry”. *Journal of Cleaner Production*, v. 127, p. 418–424, 2016.

## ANEXO: Modelo teórico de aplicação de P+L & ACV

