



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
MESTRADO ACADÊMICO 2022-2024

**O MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO NO BRASIL: UMA ANÁLISE
CRÍTICA DA LITERATURA CIENTÍFICA**

PAULO AUGUSTO DA SILVA PEDROSO DE ALBUQUERQUE

Orientador: Diego Pereira Lindoso
Co-orientador: Saulo Rodrigues Pereira Filho

Dissertação de Mestrado

Brasília-DF
2024



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
MESTRADO ACADÊMICO 2022-2024

Dissertação de Mestrado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Território, Meio Ambiente e Sociedade.

Aprovada pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Diego Pereira Lindoso (CDS-UnB)
Orientador

Prof. Dr. Alexandre Betinardi Strapasson (CDS-UnB)
Examinador Interno

Prof. Dr. Renato de Aragão Ribeiro Rodrigues (Embrapa e Rede Clima)
Examinador Externo

Brasília - DF, janeiro de 2025

Ficha Catalográfica

Albuquerque, P. A.

O MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO NO BRASIL: UMA ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA CIENTÍFICA. Paulo Augusto da Silva Pedroso de Albuquerque.

Brasília, 2024.

98 p.: il.

Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento Sustentável.

Universidade de Brasília, Brasília.

1. Mudança do Clima 2. Mitigação 3. Mercado Voluntário de Carbono
4. Crédito de Carbono 5. Brasil

I. Universidade de Brasília. CDS.

II. Título

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Paulo Augusto da Silva Pedroso de Albuquerque

“Eu costumava pensar que os maiores problemas ambientais eram a perda da biodiversidade, o colapso do ecossistema e a mudança do clima. Eu pensei que com 30 anos de boa ciência poderíamos resolver esses problemas, mas eu estava errado. Os maiores problemas ambientais são o egoísmo, a ganância e a apatia - e para lidar com isso nós precisamos de uma transformação espiritual e cultural e nós, cientistas, não sabemos como fazer isso.”

James Gustave Speth

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Jesus Cristo e à Virgem Maria por iluminar e abençoar cada passo da minha vida;

Agradeço à minha esposa e melhor amiga Julia por compartilhar essa aventura que chamamos de vida;

Agradeço ao nosso filho Rafael por me inspirar e motivar a ser melhor a cada dia que passa;

Agradeço aos meus pais, avós, irmão, cunhada, sobrinhos, tios, tias, primos e primas por todo o carinho e suporte incondicional; especialmente minha avó Denize Elena por ser fonte de inspiração acadêmica e por me ajudar a melhorar a presente pesquisa;

Agradeço ao meu orientador Diego pela parceria, atenção e dedicação para tornar essa dissertação o mais coesa e precisa possível;

Agradeço ao meu co-orientador Saulo e aos demais professores do Centro de Desenvolvimento Sustentável da UnB por me ensinarem tanto.

RESUMO

O presente trabalho propõe uma análise da abordagem da literatura científica em relação ao mercado voluntário de carbono no Brasil, destaca a urgência das ações climáticas com ênfase na mitigação das emissões de gases de efeito estufa e ressalta os desafios para estabelecer o mercado voluntário de carbono como uma ferramenta efetiva para o enfrentamento da crise climática. O primeiro capítulo se dedica à consolidação dos principais conceitos que fundamentam a existência do mercado de carbono dentro da agenda da mudança do clima, como os principais tratados internacionais, o contraste entre o perfil de emissão mundial e do Brasil, os principais tipos de projetos de créditos de carbono no Brasil e as certificadoras utilizadas. Já o segundo capítulo se baseia em uma revisão integrativa da literatura, que examina a produção científica indexada na base de dados da Web of Science entre 2010 e 2023, especificamente na língua inglesa. Os resultados indicam que o Brasil é o sexto maior produtor de créditos de carbono e, sob a perspectivas de créditos aposentados, ocupa a quarta colocação. Mais de 90% dos projetos implementados no país são da certificadora Verra. Além disso, apesar do crescimento significativo na movimentação financeira global do mercado voluntário, acumulando quase \$11 bilhões de dólares transacionados até 2023, existem lacunas em sua governança e eficácia, que comprometem a geração de créditos de carbono de alta integridade, o que gera uma quebra de confiança dos investidores e potenciais compradores com compromissos voluntários. Ademais, ainda é incerto de que forma os créditos gerados no mercado voluntário serão integrados aos mercados regulados, presentes em 39 jurisdições. O trabalho conclui identificando as lacunas que devem ser preenchidas com pesquisas futuras, visando garantir que a produção científica apoie os projetos para contribuir efetivamente para a mitigação das mudanças climáticas.

Palavras-chave: Mudança do Clima; Mitigação; Mercado Voluntário de Carbono; Crédito de Carbono; Brasil.

ABSTRACT

This study proposes an analysis of the scientific literature's approach to the voluntary carbon market in Brazil. The research underscores the urgency of climate action, emphasizing the mitigation of greenhouse gas emissions, and highlights the challenges in establishing the voluntary carbon market as an effective tool to address the climate crisis. The first chapter focuses on consolidating key concepts that underpin the existence of the carbon market within the climate change agenda, including major international treaties, the contrast between global and Brazilian emission profiles, the main types of carbon credit projects in Brazil, and the certification bodies employed. The second chapter is based on an integrative literature review, examining scientific publications indexed in the Web of Science database between 2010 and 2023, specifically in the English language. The results indicate that Brazil is the world's sixth-largest producer of carbon credits and ranks fourth in terms of retired credits. More than 90% of the projects implemented in the country are certified by Verra. Furthermore, despite the significant growth in the global financial movement of the voluntary market, accumulating nearly \$11 billion in transactions by 2023, there are governance and effectiveness gaps that undermine the generation of high-integrity carbon credits, leading to a loss of confidence among investors and potential buyers with voluntary commitments. Moreover, it remains uncertain how credits generated in the voluntary market will be integrated into regulated markets, which currently exist in 39 jurisdictions. The study concludes by identifying gaps that should be addressed through future research, aiming to ensure that scientific production supports projects that effectively contribute to climate change mitigation.

Keywords: Climate Change; Mitigation; Voluntary Carbon Market; Carbon Credit; Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Os órgãos de governança independente da oferta e demanda do mercado voluntário de carbono.....	13
Figura 2 - Evolução do mercado voluntário de carbono.....	14
Figura 3 - Projetos que violaram pelo menos um dos critérios de qualidade de mitigação efetiva nos 50 projetos analisados.....	15
Figura 4 - Triangulação de dados.....	21
Figura 5 - Rótulo de campo, palavras-chave e operadores booleanos utilizados na pesquisa avançada do Web of Science.....	22
Figura 6 - Volume de créditos de carbono (unidades de créditos) emitidos no âmbito do MDL e pelas principais certificadoras independentes.....	35
Figura 7 - Aposentadoria dos créditos por natureza de projeto.....	36
Figura 8 - Dinâmica do mercado voluntário de carbono.....	36
Figura 9 - Certificadoras dos projetos implementados no Brasil.....	38
Figura 10 - Tipologia dos projetos implementados no Brasil.....	38
Figura 11 - Emissão e aposentadoria de créditos de carbono no Brasil.....	39
Figura 12 - Sumário da seleção de documentos.....	41
Figura 13 - Número de publicações selecionadas e seu respectivo ano de publicação.....	42
Figura 14 - Nacionalidade dos autores principais (número de autores por nacionalidade)...	43
Figura 15 - Afiliação dos autores principais	43
Figura 16 - Nacionalidade dos co-autores.....	45
Figura 17 - Afiliação dos co-autores.....	46
Figura 18 - As nove palavras-chave mais citadas pelos artigos revisados.....	46
Figura 19 - Nuvem de palavras obtida a partir da análise das palavras-chave utilizadas nos documentos revisados.....	47
Figura 20 - Fontes de financiamento das publicações selecionadas.....	48
Figura 21 - categoria dos projetos analisados nas publicações selecionadas.....	49
Figura 22 - Classificação territorial dos projetos.....	50
Figura 23 - Certificadoras dos créditos de carbono.....	51
Figura 24 - Menções dos stakeholders dos projetos.....	52
Figura 25 - Número de menções das Unidades Federativas do Brasil.....	53
Figura 26 - Número de menções de cada benefício anunciado.....	54
Figura 27 - Energias renováveis abordadas pela recorte da presente pesquisa no contexto do mercado voluntário de carbono (n=14).....	55
Figura 28 - Impactos socioambientais positivos abordados pela academia no contexto do mercado voluntário de carbono.....	56
Figura 29 - Menções das deficiências encontradas no desenho dos projetos.....	57
Figura 30 - Menções sobre as ineficiências na operação dos projetos de créditos de carbono no Brasil.....	58
Figura 31 - Menções sobre os desafios para implementação dos projetos de créditos de carbono no Brasil.	59
Figura 32 - Percentual dos tipos de projetos analisados nas publicações selecionadas	60
Figura 33 - Evolução histórica das menções de Floresta e Uso da Terra na literatura científica.....	61
Figura 34 - Unidade Federativa das instituições de afiliação dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Floresta e Uso da Terra.....	62
Figura 35 - Menções dos benefícios dos projetos de Floresta e Uso da Terra.....	62
Figura 36 - Impactos socioambientais dos projetos de Floresta e Uso da Terra.....	63
Figura 37 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Floresta e Uso da Terra. 63	

Figura 38 - Ineficiências na operação dos projetos de Floresta e Uso da Terra.....	64
Figura 39 - Menções dos desafios dos projetos de Floresta e Uso da Terra.....	64
Figura 40 - Evolução histórica das publicações sobre projetos da tipologia de Gestão de Resíduos na literatura científica.....	65
Figura 41 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Gestão de Resíduos.....	66
Figura 42 - Menções dos benefícios dos projetos de Gestão de Resíduos.....	67
Figura 43 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Gestão de Resíduos...	68
Figura 44 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Gestão de Resíduos....	68
Figura 45 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Gestão de Resíduos...	69
Figura 46 - Menções dos desafios dos projetos de Gestão de Resíduos.....	69
Figura 47 - Evolução histórica das menções de Energia Renovável na literatura científica.	70
Figura 48 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Energia Renovável.....	71
Figura 49 - Menções dos benefícios dos projetos de Energia Renovável.....	71
Figura 50 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Energia Renovável..	71
Figura 51 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Energia Renovável.....	72
Figura 52 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Energia Renovável....	72
Figura 53 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Energia Renovável..	72
Figura 54 - Evolução histórica das menções de Eficiência Energética / Troca de Combustível na literatura científica.....	73
Figura 55 - Benefícios dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	75
Figura 56 - Menções dos Impactos socioambientais dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	75
Figura 57 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	76
Figura 58 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	76
Figura 59 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.	77
Figura 60 - Evolução histórica das menções de Agricultura na literatura científica.....	77
Figura 61 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Agricultura.....	78
Figura 62 - Menções dos benefícios dos projetos de Agricultura.....	79
Figura 63 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Agricultura.....	79
Figura 64 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Agricultura.....	80
Figura 65 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Agricultura.....	80
Figura 66 - Evolução histórica das menções de Transporte na literatura científica.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Volume, preço e valor total das transações do mercado voluntário de carbono por categoria de projeto.....	15
Quadro 2 - Especificações da revisão integrativa da literatura.....	18
Quadro 3 - Critérios de inclusão e exclusão para seleção de documentos.....	18
Quadro 4 - Descrição e definição (quando necessário) dos benefícios e impactos socioambientais anunciados pelos desenvolvedores ou pesquisadores dos projetos em análise.....	19
Quadro 5 - Descrição e definição (quando necessário) das deficiências encontradas na concepção dos projetos.....	20
Quadro 6 - Descrição e definição (quando necessário) das ineficiências encontradas na implementação dos projetos.....	20
Quadro 7 - Descrição e definição (quando necessário) dos desafios encontrados na concepção e/ou implementação dos projetos.....	20
Quadro 8 - Relação entre a redação dos subitens 2.2 e as questões do Apêndice I.....	41
Quadro 9 - Editoras e revistas dos artigos selecionados para revisão final.....	43
Quadro 10 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Floresta e Uso da Terra.....	61
Quadro 11 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Gestão de Resíduos.....	66
Quadro 12 - Afiliação do(a) autor(a) principal dos projetos sobre Energia Renovável.....	70
Quadro 13 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	74
Quadro 14 - Afiliação do(a) autor(a) principal, sendo verde escuro do Brasil e verde claro de outro país.....	77

LISTA DE SIGLAS

ACR	American Carbon Registry
CBAM	Mecanismo de Ajuste Fronteiriço de Carbono (em inglês: <i>Carbon Border Adjustment Mechanism</i>)
CCPs	Princípios Fundamentais do Carbono (em inglês: <i>Core Carbon Principles</i>)
CERs	Certified Emission Reductions
COP	Conferência das Partes
DDT	Diclorodifeniltricloroetano
DF	Distrito Federal
EC	Comissão Europeia (em inglês: <i>European Commission</i>)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GS	Gold Standard
ICVCM	Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono (em inglês: <i>Integrity Council for the Voluntary Carbon Market</i>)
IIF	Institute of International Finance
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IUCN	União Internacional para Conservação da Natureza (em inglês: <i>International Union for Conservation of Nature</i>)
MVC	Mercado Voluntário de Carbono
ONG	Organização Não Governamental
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PQ	Protocolo de Quioto
TSVCM	Força-Tarefa para Ampliar o Mercado Voluntário de Carbono (em inglês: <i>The Taskforce on Scaling Voluntary Carbon Markets</i>)
UE	União Europeia
UnB	Universidade de Brasília
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (em inglês: <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
VCMI	Iniciativa Voluntária de Integridade dos Mercados de Carbono (em inglês: <i>Voluntary Carbon Markets Integrity Initiative</i>)
VCU	Verified Carbon Units
WEF	World Economic Forum

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	11
OBJETIVO GERAL.....	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO.....	18
SELEÇÃO DE DOCUMENTOS.....	22
ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....	23
CAPÍTULO 1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, MUDANÇA DO CLIMA E O MERCADO DE CARBONO.....	24
1.1 O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A MUDANÇA DO CLIMA.....	24
1.2 PERFIL DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - Mundo e Brasil.....	28
1.3 O MERCADO DE CARBONO.....	31
1.3.1 Contexto histórico.....	31
1.3.2 O Acordo de Paris.....	33
1.3.3 O mercado voluntário.....	35
1.3.3.1 Mercado Voluntário no Brasil.....	38
CAPÍTULO 2. O BRASIL E O MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO A PARTIR DA LITERATURA CIENTÍFICA.....	41
2.1 RESULTADOS.....	41
2.1.1 Data de publicação, autores e co-autores.....	42
2.1.3 Fontes de financiamento.....	48
2.1.4 Caracterização dos créditos de carbono.....	49
2.1.5 Benefícios e impactos socioambientais positivos anunciados, deficiências, ineficiências e desafios dos projetos estudados.....	54
2.1.5.1 Benefícios e impactos socioambientais positivos anunciados.....	54
2.1.5.2 Deficiências.....	57
2.1.5.3 Ineficiências.....	58
2.1.5.4 Desafios.....	59
2.2 ANÁLISE DA LITERATURA CIENTÍFICA POR TIPO DE PROJETO.....	60
2.2.1 Floresta e Uso da Terra.....	61
2.2.2 Gestão de Resíduos.....	65
2.2.3 Energia Renovável.....	70
2.2.4 Eficiência Energética / Troca de Combustível.....	74
2.2.5 Agricultura.....	77
2.2.6 Transporte.....	81
2.3 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS.....	82
CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	87

INTRODUÇÃO

No seu sexto relatório (AR6), publicado em 2023, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) apresentou evidências que apontam para a urgência da redução do nível das emissões antrópicas globais de gases de efeito estufa (GEE), além da necessidade do aumento de investimentos na construção da resiliência climática com ênfase na remoção de carbono da atmosfera. Nele, está clara a relação entre o aumento de aproximadamente 1,2°C da temperatura média da superfície terrestre nos últimos 150 anos e o aumento das concentrações de dióxido de carbono acima das 410 ppm (partes por milhão) (IPCC, 2023).

Neste contexto, os modelos climáticos projetam para as próximas décadas aumento na frequência de eventos climáticos extremos, como secas severas e intensas precipitações, que impactam negativamente a segurança hídrica e alimentar de populações humanas, sobretudo as mais vulneráveis - mesmo sendo as que menos emitem GEE. Segundo o AR 6, as consequências adversas das secas, como o estresse hídrico, estresse térmico e desertificação, atingiriam 950 milhões e 1,15 bilhões de pessoas, respectivamente, em cenários de aumento da temperatura média global entre 1,5°C e 2°C. Nos mesmos cenários, os custos com adaptação e danos residuais - em relação à segurança alimentar - atingiriam valores de US\$63 bilhões e US\$80 bilhões, respectivamente (IPCC, 2023).

Ademais, os ecossistemas marinhos já sofrem devido à combinação entre o aquecimento observado - o mais acelerado desde a última era glacial - e a acidificação dos oceanos em nível recorde dos últimos vinte e seis mil anos. Essa conjuntura foi gerada devido pela emissão de GEE que continua a aumentar a partir das atividades antrópicas e atingir recordes históricos, resultando, no ano de 2023, em uma emissão total de 57,1 GtCO₂e (IPCC, 2023; UNEP, 2024).

Para lidar com a mudança do clima, dois acordos multilaterais no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC no acrônimo em inglês) merecem destaque: o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris. O primeiro permitiu a pavimentação para uma proteção climática futura através dos mecanismos criados, como o comércio de emissões, o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e a implementação conjunta. Entretanto, obteve um impacto limitado no clima, considerando que os cortes de emissões ocorreram com pouco ou nenhum esforço, devido ao colapso das indústrias intensivas em GEE da Europa Oriental e à crise econômica global de 2008. Ao final do primeiro período de compromisso do Protocolo, em 2012, as emissões globais de GEE aumentaram 50% em relação à 1990, impulsionadas pelo crescimento econômico na China e em outras partes da Ásia, América do Sul e África, países que não estavam entre aqueles que assumiram metas de redução de emissões de GEE (Schiermeier, 2012).

Já o Acordo de Paris, adotado em 2015, busca manter o aumento da temperatura global, até 2100, abaixo dos 2°C acima dos níveis pré-industriais e perseguir os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C. Vale ressaltar que o Acordo de Paris permitiu que as nações estabelecessem as próprias metas de redução de emissão através das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, em inglês). Entretanto, mesmo que haja uma realização plena do que foi comprometido pelas nações até 2022 é esperado que as emissões globais ultrapassem os limites de emissões propostos, atualmente projetado para um aquecimento de 2,6°C até 2100 (Mor et al., 2023; IPCC, 2023).

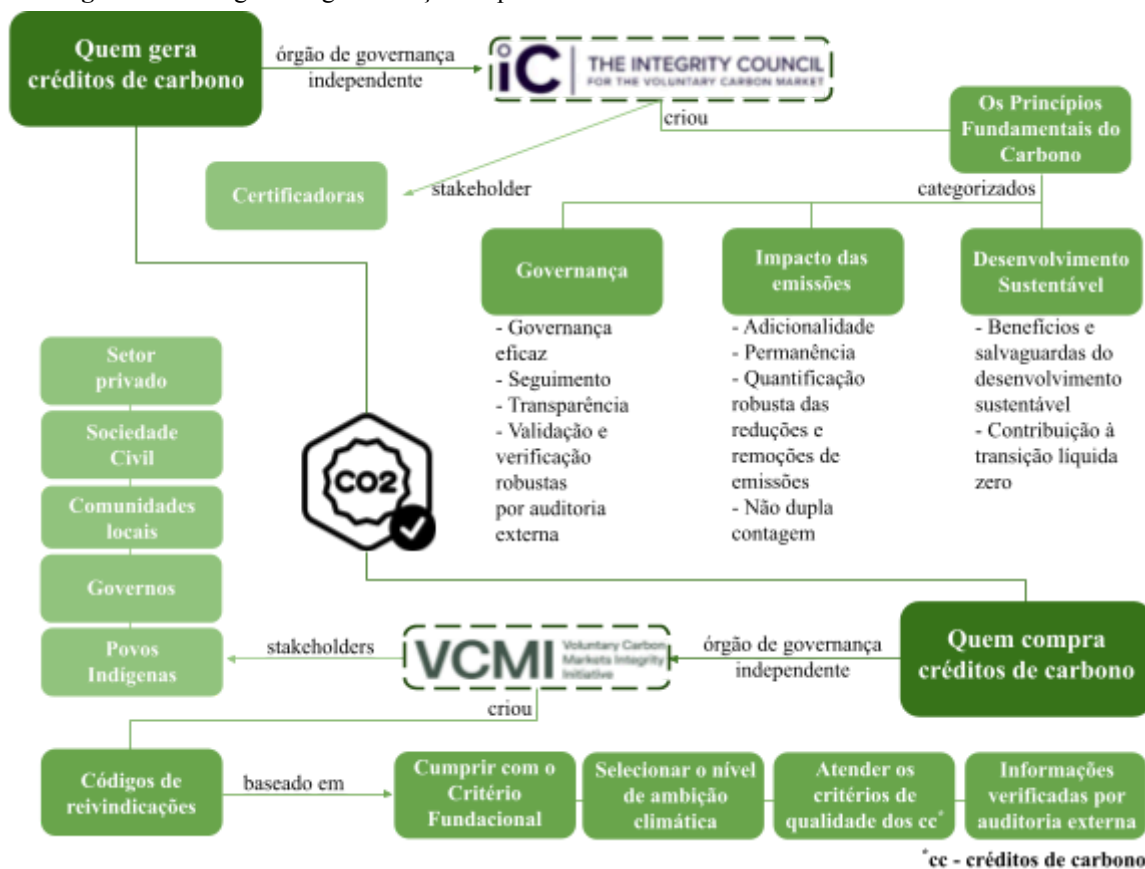
Em consonância com os acordos multilaterais, é importante ressaltar as três grandes estratégias financeiras criadas para lidar com a crise climática. O primeiro, objeto da presente pesquisa, é o mercado de carbono, que foi dividido entre o mercado regulado e o mercado voluntário. O segundo se fundamenta em cobranças de taxas, como, por exemplo, o Mecanismo de Ajuste Fronteiriço de Carbono da União Europeia. Já o terceiro opera com incentivos financeiros, como o “Fundo Amazônia”, no Brasil (Streck et al., 2021; EU, 2023; Fundo Amazônia, 2023).

Dando ênfase ao objeto central da pesquisa, deve-se distinguir o mercado regulado e o mercado voluntário de carbono. O regulado utiliza o mecanismo de *cap-and-trade*, no qual cada país, dentro do Acordo de Paris, tem a autonomia para limitar (*cap*) o seu nível de emissão de GEE de acordo com a sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, no acrônimo em inglês) e distribuir anualmente licenças de permissão de emissão entre as empresas das atividades econômicas mais intensivas em carbono conforme participação de mercado ou por meio de leilões. As organizações que emitirem menos que as licenças recebidas podem negociar (*trade*) as licenças remanescentes com as organizações que superaram o seu limite ou guardar para o ano seguinte, uma vez que o número de licenças emitidas pelo governo diminui gradualmente de acordo com a sua ambição climática (Godoy & Saes, 2015).

Já o mercado voluntário se manifesta em esquemas autônomos diversos, muitos dos quais locais e regionais, distribuídos em diversas partes do globo, de modo que existem vários mercados voluntários para compra e venda de créditos de carbono. Seu foco é permitir que as entidades privadas ou outras organizações emissoras financiem projetos que estimulam a redução ou remoção de GEE da atmosfera (UNEP, 2024).

Os créditos de carbono comercializados neste âmbito são gerados por emissoras independentes e, considerando que não é uma atividade regulada, é natural que surjam soluções de governança para estabelecer um sistema mais íntegro e eficiente. Como exemplo disso, é importante destacar a atuação de duas organizações: o Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono (ICVCM, no acrônimo em inglês) e a Iniciativa de Integridade Voluntária dos Mercados de Carbono (VCMI, no acrônimo em inglês) o (Figura 1).

Figura 1 - Os órgãos de governança independente da oferta e demanda do mercado voluntário de carbono.



Fonte: elaboração do autor a partir de ICVCM (2023b) e VCMI (2023).

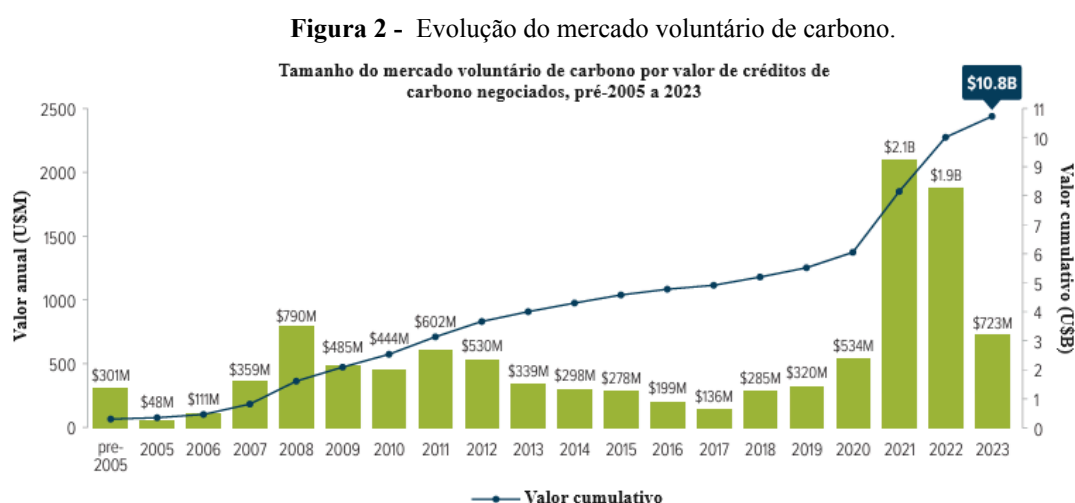
O ICVCM é um órgão de governança independente que nasceu a partir de uma Força-Tarefa para Ampliar o Mercado Voluntário de Carbono e propõe os Princípios Fundamentais do Carbono. Esses princípios proporcionam um meio confiável e rigoroso para identificar os créditos de carbono de alta integridade que geram um impacto climático real e verificável, baseado nos últimos avanços científicos (ICVCM, 2023a).

Por ora, é importante salientar dois princípios da categoria “impacto das emissões”: o da adicionalidade e o da permanência. O primeiro determina que as reduções ou remoções de emissões de gases de efeito estufa derivadas da atividade de mitigação deverão ser adicionais, ou seja, não haveriam sido produzidas na ausência do projeto. Já o segundo determina que as reduções ou remoções de emissões de GEE derivadas da atividade de mitigação deverão ser permanentes ou, quando existir risco de reversão, serão estabelecidas medidas para enfrentar tais riscos e compensar as reversões (ICVCM, 2023b).

Já a segunda organização, a Iniciativa da Integridade Voluntária dos Mercados de Carbono (VCMI, no acrônimo em inglês), aborda a integridade dos atores que compram créditos de carbono e estabelece um código de reivindicações para orientá-los sobre como podem fazer uso voluntário de

créditos de carbono como parte de seus compromissos climáticos e sobre as reivindicações associadas que eles podem fazer em relação a utilização desses créditos (VCMI, 2023). Seu objetivo, na essência, é gerar confiança entre os diversos atores da cadeia de valor do mercado voluntário através de uma consistência e transparência na execução da estratégia climática declarada.

Partindo para uma análise financeira do mercado voluntário de carbono, até 2005 foram movimentados U\$301 milhões. Deste período até 2023, o valor cumulativo atingiu a marca de U\$10.8 bilhões. A movimentação anual (em milhões de dólares) e o valor cumulativo (em bilhões de dólares) ao longo do tempo podem ser observados na Figura 2 (Forest Trend's Ecosystem Marketplace, 2024).



Fonte: Forest Trends' Ecosystem Marketplace (2024) adaptado pelo autor.

Vale destacar que os valores transacionados entre os anos 2020 e 2022 aumentaram expressivamente, com um salto de U\$520 milhões para quase U\$2 bilhões, respectivamente. Entretanto, esse aumento veio acompanhado de denúncias de falhas técnicas, comprometendo a integridade do mercado e a consequente perda de confiança. O reflexo disso está no encolhimento de 56% entre os valores negociados entre os anos de 2022 e 2023. Demonstrando essas falhas, The Guardian e Corporate Accountability (2023) analisaram os 50 maiores projetos em termos de valores de créditos de carbono negociados e demonstraram que 39 (78%) deles geraram créditos classificados como “falho”, representando mais de U\$1 bilhão em transações (The Guardian, 2023).

Nesta análise, a classificação de “falho” foi feita caso o crédito de carbono gerado pelo projeto houvesse apresentado, pelo menos: (i) evidências que indicassem um alto risco em relação à garantia da adicionalidade e da permanência dos cortes de emissão de GEE, (ii) evidências de vazamentos de emissões e/ou (iii) benefícios climáticos superestimados, conforme Figura 3 (The Guardian & Corporate Accountability, 2023).

Figura 3 - Número de projetos que violaram pelo menos um dos critérios de qualidade de mitigação efetiva nos 50 projetos analisados.

Por que os projetos foram classificados como prováveis ou potencialmente falho?

Os projetos foram avaliados com base nos critérios fundamentais necessários para garantir os cortes de emissões prometidos. Os projetos podem não atender a vários critérios.

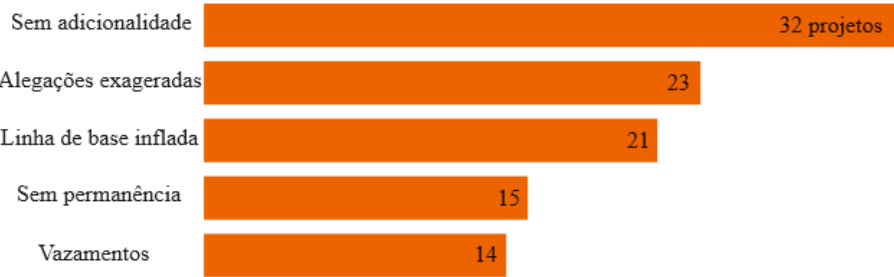


Gráfico The Guardian. Fonte: análise realizada por The Guardian & Corporate Accountability.

Fonte: The Guardian & Corporate Accountability (2023), adaptado pelo autor.

Além dessas profundas acusações dos jornalistas investigativos, alguns projetos de créditos de carbono no Brasil também passaram a ser análise de investigação, mas agora pelo poder público. No ano de 2023, no dia mundial do meio ambiente (05/06), a Polícia Federal realizou a Operação *Greenwashing* para desarticular uma organização criminosa acusada de comercializar R\$180 milhões de créditos de carbono emitidos de forma ilegal. Foi revelado um esquema de fraudes fundiárias, com duplicação e falsificação de títulos de propriedade, que usurparam 538 mil hectares de terras da União (BRASIL, 2024).

Considerando que a maior parte dos valores transacionados nos anos 2022 e 2023 são de projetos do tipo “floresta e uso da terra” (Quadro 1), essa é uma importante discussão para o mercado brasileiro. Sob uma perspectiva crítica, a partir da investigação mencionada, é necessário identificar quais projetos deste tipo no Brasil apresentam similaridade com os acusados de fraude fundiária. Já sob uma perspectiva otimista, este tipo de projeto pode ser uma grande solução para descarbonização do País, uma vez que a maior parcela de emissões do Brasil está relacionada com a Mudança de Uso da Terra e Floresta (Observatório do Clima, 2023).

Quadro 1 - Volume, preço e valor total das transações do mercado voluntário de carbono por categoria de projeto. Fonte: Forest Trends’ Ecosystem Marketplace (2024), traduzido pelo autor.

Categoria	2022			2023			Mudança percentual		
	Volume (MtCO ₂ e)	Valor (USD)	Preço (USD)	Volume (MtCO ₂ e)	Valor (USD)	Preço (USD)	Volume	Valor	Preço
Mudança do Uso da Terra e Floresta	113	\$1,1 B	\$10,14	36,2	\$351,3 M	\$9,72	-68%	-69%	-4%
Energia Renovável	92,7	\$386,1 M	\$4,16	28,6	\$111,1 M	\$3,88	-69%	-71%	-7%
Processos Químicos / Produção	13,3	\$68,5 M	\$5,14	12,2	\$50,2 M	\$4,10	-8%	-27%	-20%

Industrial									
Dispositivos Domésticos / Comunitários	9,1	\$77,6 M	\$8,55	9,9	\$76,6 M	\$7,70	+10%	-1%	-10%
Eficiência Energética / Troca de Combustível	6,6	\$35,6 M	\$5,39	9,4	\$34,4 M	\$3,65	+43%	-3%	-32%
Agricultura	3,8	\$41,7 M	\$11,02	4,7	\$30,6 M	\$6,51	+24%	-26%	-41%
Gestão de Resíduos	6,2	\$44,9 M	\$7,23	1,5	\$10,9 M	\$7,48	-77%	-76%	+3%
Transportes	0,18	\$770 K	\$4,37	-	-	-	-	-	-
Nota: EM não reportou um preço médio para créditos de Transportes em 2023 porque há confidencialidade nos dados fornecidos pelos respondentes									

Diante do exposto, o foco inicial do presente projeto visava perpassar pelos benefícios e impactos socioambientais anunciados, as deficiências, ineficiências e desafios enfrentados pelos projetos de créditos de carbono implementados (ou projetados) no Brasil com ênfase no mercado voluntário de carbono. Entretanto, dos 63 artigos selecionados para a revisão final, 39 publicações trataram sobre este mercado em uma perspectiva teórica e apenas 24 abordaram o mercado voluntário de carbono seguindo uma lógica prática de projetos.

Ademais, dentro deste pequeno universo, apenas 5 publicações fizeram uma análise *ex-post*, ou seja, existem poucos recursos para cumprir com a proposta inicial. Sendo assim, o presente estudo propõe uma análise da abordagem da literatura especializada sobre a gênese e evolução do mercado voluntário de carbono no Brasil, com base em uma revisão integrativa da literatura.

A motivação desta análise é contribuir para a reflexão sobre a importância em obter integridade e eficiência em termos de redução de emissões a partir do desenvolvimento do mercado voluntário de carbono, cada vez mais necessário para a mitigação da crise climática. Um elemento central da discussão é a transparência do mercado, uma vez que a sua plenitude ainda não se manifesta, seja pela ampla cadeia de parceiros para a elaboração e implementação dos projetos ou pela conduta duvidosa de iniciativas que se aproveitam dessa complexidade para camuflar os seus atos criminosos.

OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a abordagem da literatura científica em relação ao mercado voluntário de carbono no Brasil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Nesse sentido, o presente trabalho busca alcançar os seguintes objetivos específicos:

- i. Descrever a gênese, a evolução e as características do desenvolvimento do mercado voluntário de carbono no Brasil;
- ii. Analisar a abordagem e o perfil da produção científica sobre projetos de carbono e a sua relação com o mercado voluntário de carbono no Brasil.

MARCO TEÓRICO-METODOLÓGICO

A abordagem metodológica foi fundamentada no método da revisão integrativa da literatura, que consiste na análise de documentos de acordo com questões previamente determinadas, partindo de uma base de literatura com palavras-chave específicas, e idiomas e um recorte temporal determinado (Petticrew e Roberts, 2006). O foco é identificar, a partir de uma perspectiva sistematizada de artigos empíricos e teóricos, qual é a abordagem e papel da literatura acadêmica sobre o objeto central da presente pesquisa, que é o mercado voluntário de carbono. As especificações utilizadas no presente estudo podem ser observadas nos quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Especificações da revisão integrativa da literatura. Fonte: elaboração do autor.

Item	Especificação
Pergunta norteadora	Quais são os benefícios anunciados, deficiências, ineficiências e desafios para implementar projetos de créditos de carbono no Brasil com foco no mercado voluntário de carbono?
Base de dados	Web of Science
Palavras-chave	voluntary carbon market OR carbon offset OR carbon credit* AND Brasil OR Brazil
Idioma	Inglês
Recorte temporal	01/01/2010 - 19/08/2023

Quadro 3 - Critérios de inclusão e exclusão para seleção de documentos. Fonte: elaboração do autor.

Critérios		
	Inclusão	Exclusão
Fase 1	busca por palavras-chave em inglês	outros idiomas
	01/01/2010 a 19/08/2023	anterior a 2010
	indexados na Web of Science	indisponíveis na Web of Science
	do tipo artigo, anais de eventos, acessos antecipados e materiais editoriais.	do tipo "artigo de revisão"
Fase 2	análise do título, resumo e palavras-chave (leitura completa quando necessária para categorização)	
	Aborda o Mercado Voluntário de Carbono	Aborda apenas o Mercado Regulado de Carbono
	Analisa a participação do Brasil	Não analisa a participação do Brasil
	Considera créditos de carbono	Não considera créditos de carbono

O universo de publicações encontrado na primeira etapa da revisão foi submetido à uma triagem com base em critérios de inclusão e exclusão das publicações na última etapa. Os artigos incluídos foram apreciados na integralidade do documento, do qual ocorreu a extração de informações com base em um roteiro questionário padronizado (Apêndice I).

Considerando que o objeto do presente estudo é a dinâmica do mercado voluntário de carbono no Brasil, foi necessário lidar com os projetos que fornecem os créditos de carbono. Nesse sentido, a tipologia de projetos adotada foi fundamentada na sistematização utilizada pela iniciativa sem fins lucrativos Ecosystem Marketplace, da organização Forest Trends (Forest Trend's Ecosystem Marketplace, 2018).

Além disso, é importante descrever e, quando necessário, definir quais elementos foram considerados dentro da categorização adotada a partir dos benefícios e impactos socioambientais anunciados (quadro 4), as deficiências (quadro 5), ineficiências (quadro 6) e desafios (quadro 7) enfrentados pelos projetos de créditos de carbono implementados (ou projetados) no Brasil com ênfase no mercado voluntário de carbono. Cada categoria deve ser considerada como:

- Benefícios e impactos socioambientais anunciados: benefícios que promovem o desenvolvimento sustentável comunicados pelos desenvolvedores ou pesquisadores dos projetos em análise;
- Deficiências: equívocos ou falhas cometidas na concepção do projeto;
- Ineficiências: pontos frágeis observados na operacionalização do projeto;
- Desafios: barreiras mais amplas identificadas na concepção e/ou implementação do projeto.

Quadro 4 - Descrição e definição (quando necessário) dos benefícios e impactos socioambientais anunciados pelos desenvolvedores ou pesquisadores dos projetos em análise.

Benefícios e impactos socioambientais anunciados	Definição (quando necessário)
Geração de receita	Capacidade de retorno financeiro a partir da comercialização dos créditos de carbono
Recuperação energética de aterro sanitário	Redução das emissões a partir da queima do metano derivado da decomposição anaeróbica e utilização do calor para gerar energia elétrica
Estímulo à economia circular	
Estímulo à agricultura sustentável	
Valorização de espécie nativa com alta capacidade para sequestrar carbono	Quantificação da capacidade de assimilação de carbono e produção de biomassa de uma espécie nativa de um determinado território
Estímulo financeiro governamental	Garantia de compra governamental dos créditos de carbono gerados ou elaboração de políticas públicas que geram incentivos financeiros para elaboração de projetos de compensação
Desmatamento evitado	
Adequação à regulação não governamental de mercado	Melhorias operacionais almejadas ou alcançadas em prol do desenvolvimento sustentável a partir de um esquema proposto por organizações internacionais (como o CORSIA, por exemplo)
Redução do impacto em corpos hídricos	

Aumento do monitoramento de florestas	A partir das tecnologias e/ou metodologias necessárias para implementação do projeto em análise, ganha-se dados mais precisos e atualizados sobre o estado de conservação de uma floresta em uma determinada região
Sensibilização ambiental da comunidade local	
Empoderamento dos Povos e Comunidades Tradicionais	

Quadro 5 - Descrição e definição (quando necessário) das deficiências encontradas na concepção dos projetos.

Deficiências na concepção dos projetos	Definição (quando necessário)
Sem adicionalidade	As reduções ou capturas de GEE ocorreriam de qualquer maneira, ou seja, sem a implementação do projeto
Alegações exageradas	As reduções de emissões, capturas de carbono ou os valores dos créditos de carbono são superestimados
Linha de base inflada	Estimativa exagerada das emissões de GEE que um projeto ou atividade teria sem a implementação de medidas de mitigação, o que pode resultar na geração excessiva de créditos de carbono
Sem permanência	A quantidade de tempo que o carbono permanecerá sequestrado por meio de processos naturais ou atividades humanas é menor do que o período de tempo projetado na concepção do projeto
Sem participação da comunidade local	Não existe previsão de co-benefícios do projeto para as comunidades da região onde ele será ou foi implementado

Quadro 6 - Descrição e definição (quando necessário) das ineficiências encontradas na implementação dos projetos.

Ineficiências na implementação dos projetos	Definição (quando necessário)
Sem permanência (constatada)	A quantidade de tempo que o carbono permanecerá sequestrado por meio de processos naturais ou atividades humanas foi menor do que o período de tempo projetado na concepção do projeto
Vazamento de emissões	Os esforços para reduzir emissões em uma determinada região transferem emissões para outra região, fora do escopo do projeto, onde elas permanecem descontroladas ou não contabilizadas
Ausência ou baixa qualidade da participação social (prevista no desenho do projeto)	

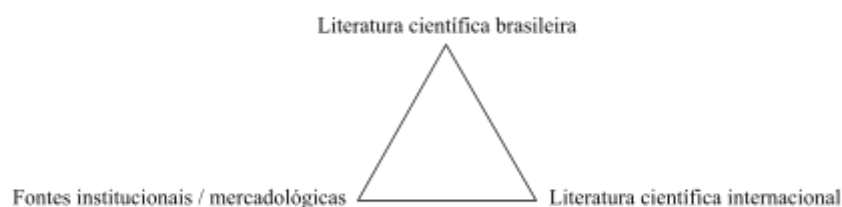
Quadro 7 - Descrição e definição (quando necessário) dos desafios encontrados na concepção e/ou implementação dos projetos.

Desafios na elaboração e/ou implementação dos projetos	Definição (quando necessário)
Complexidade regulatória	Há ausência ou baixa qualidade de uma estrutura regulatória sobre o mercado de carbono ou o setor da tipologia do projeto

Complexidade metodológica	A metodologia necessária para certificação do projeto de compensação é pouco conhecida ou não considerou especificamente as características do Brasil durante a sua elaboração
Complexidade operacional	As tecnologias necessárias para operacionalização do projeto são demasiadamente sofisticadas e/ou o número de atores envolvidos na cadeia de valor do projeto é grande e difícil de coordenar
Ausência de incentivos governamentais	

Uma observação a mais se faz necessária, uma vez que se trata da triangulação de dados, procedimento teórico metodológico utilizado em pesquisas de natureza qualitativa (descritiva e interpretativa), aqui, adotado para balizar os caminhos da presente dissertação e, sobretudo, para imprimir mais cientificidade à pesquisa. Conforme já discutido em Silva (1996), a triangulação de dados pode ser utilizada de maneira infinita, mas se refere, de modo específico, à utilização de dois ou mais métodos de coleta de dados. No caso do presente estudo, sempre de acordo com Silva (1996), resulta da escolha de diferentes amostras colhidas em contextos bibliográficos diferenciados, conforme ilustra a Figura 4 – Triangulação de dados exibida abaixo.

Figura 4 - Triangulação de dados



Fonte: elaboração do autor.

Por um lado, a triangulação na Figura 4 acima, mais que corresponder a uma forma icônica composta de três vértices de ângulos iguais, envolve, ainda que de maneira sucinta e, portanto, clara e objetiva, as principais categorias de informações da área no que concerne à descrição de eixos informativos sobre o mercado voluntário de carbono, discussão em que Brasil marca posição.

Por outro lado, o termo triangulação pode ser empregado em vários sentidos, embora se coadune, de modo especial, a perspectivas diferentes de recompilação e comparação de tipos de dados diferentes quanto ao gênero, seja um documento oficial, seja um artigo científico, ou um informativo proveniente de uma fonte institucionalizada, de natureza mercadológica. Essa diferença entre dados selecionados, além de enriquecer o procedimento em termos teórico-metodológicos, imprime um caráter de mais cientificidade a uma pesquisa de natureza qualitativa no âmbito das ciências ambientais, como é o caso do presente trabalho.

SELEÇÃO DE DOCUMENTOS

Para selecionar os documentos, foi realizada uma pesquisa na base de dados Web of Science utilizando o rótulo de campo “TS” (*Topic*), que filtra a busca pelas palavras-chave nos títulos, resumos e palavras-chave dos documentos presentes na base. As palavras-chave em inglês e os operadores booleanos utilizados podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 - Rótulo de campo, palavras-chave e operadores booleanos utilizados na pesquisa avançada do Web of Science.

TS = (voluntary carbon market OR carbon offset OR carbon credit) AND (Brasil OR Brazil)*

Fonte: Elaboração do autor.

Segundo a Climate Focus (2022), o mercado voluntário de carbono pode ser dividido em três fases: fase inicial (1980-2010), fase de consolidação (2010-2016) e fase de formalização (2016-até o presente). Assim, optou-se pelo período de análise após a fase inicial, ou seja, a partir de janeiro de 2010 até o momento da pesquisa na base de artigos durante a primeira fase da revisão integrativa da literatura (agosto de 2023). Ademais, a base de dados utilizada foi a Web of Science, uma ferramenta de pesquisa comumente aplicada na revisão da produção científica e em estudos de avaliação de tendências de pesquisa em diversas disciplinas no campo do desenvolvimento sustentável (Tsay, 2013).

Como resultado, foram encontrados 243 documentos, sendo 208 artigos publicados, 21 artigos de revisão, 12 anais de eventos e 2 materiais editoriais. Destes, todos serão submetidos à revisão integrativa da literatura, menos os artigos de revisão, que mesmo não sendo incluídos, servirão como referências complementares para a estruturação da pesquisa.

Sendo assim, os 222 documentos restantes foram abordados a partir do título, resumo e palavras-chave e foram incluídos aqueles que adequaram-se aos critérios de inclusão temática (Quadro 2). Os artigos excluídos foram categorizados a fim de se obter uma análise mais precisa do que não fez parte da revisão final.

É importante ressaltar que a ordem de análise foi do mais antigo (01/01/2010) até o mais recente (19/08/2023). Essa abordagem foi eleita para analisar a evolução do que foi discutido na literatura científica desde 2010 sobre o desenvolvimento do mercado voluntário de carbono no Brasil, ou seja, desde o início da fase de consolidação deste mercado global (Climate Focus, 2022).

O objetivo central da presente pesquisa é a análise da evolução do mercado voluntário de carbono no Brasil e do papel da literatura especializada na governança desse tipo de mecanismo climático-financeiro. Sendo assim, foram excluídos os documentos que abordam apenas o mercado regulado ou que não envolvem o Brasil na análise ou não citam “créditos de carbono” e nem sinônimos.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

No primeiro capítulo, são abordados os conceitos mais relevantes para fundamentação da presente pesquisa, que é a contextualização do surgimento da agenda da sustentabilidade e da mudança do clima a partir da Rio-92 e da criação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC na sigla em inglês).

Na sequência, será descrita a elaboração do sistema de comércio de emissões proposto pelo Protocolo de Quioto e as metas de descarbonização previstas no Acordo de Paris, com ênfase no Artigo 6, que trata sobre os mecanismos previstos no Acordo, incluindo o mercado de carbono. Posteriormente, será realizada a distinção entre o mercado regulado e o mercado voluntário, dando ênfase ao segundo, uma vez que é o foco central da análise.

No contexto do mercado voluntário será abordado o inventário dos projetos das principais emissoras globais e os principais gargalos identificados neste mercado até outubro de 2024. Importante destacar que estas informações serão coletadas em materiais da produção científica internacional - como a Berkeley Carbon Trading Project - e de natureza institucional e mercadológica, ou seja, de fontes como a Comissão Europeia, autoridades climáticas e financeiras de países mais ativos na discussão do mercado de carbono, de instituições financeiras globais (World Bank) e de ONGs internacionais (Ecosystem Marketplace, Allied Offsets, Climate Focus, etc).

Com esse conhecimento consolidado, o segundo capítulo será dedicado aos resultados da revisão integrativa da literatura especializada, que busca identificar os principais benefícios anunciados, deficiências, ineficiências e desafios na implementação de projetos de créditos de carbono no Brasil. Este capítulo será dividido em duas partes.. A primeira será a descrição dos resultados obtidos por meio do questionário padronizado (Apêndice I), aplicado em cada artigo selecionado pelos critérios de inclusão para a revisão final.

Dessa forma busca-se compreender quais são as principais contribuições da ciência para o desenvolvimento do mercado voluntário de carbono no Brasil e identificar qual é a perspectiva da academia em relação a um mercado tão dinâmico. A partir disso, a segunda parte do capítulo 2 será dedicada à descrição dos principais eixos teóricos em cada categoria de projeto, indicando ao leitor quais temas e discussões são mais apreciados pela academia e onde o Brasil é mais atuante.

Finalmente, a conclusão aponta para as convergências e divergências entre os documentos da literatura especializada internacional e de fontes institucionais/mercadológicas e a literatura científica brasileira. Além disso, também será realizada uma discussão sobre o papel da ciência nacional na governança dos mercados de carbono.

CAPÍTULO 1. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, MUDANÇA DO CLIMA E O MERCADO DE CARBONO

1.1 O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A MUDANÇA DO CLIMA

A agenda da sustentabilidade e da mudança do clima são agendas complexas que se desenvolveram ao longo das últimas décadas, moldado por uma série de eventos históricos nos campos político e científico, gerando transformações na percepção pública sobre os impactos antropogênicos no meio ambiente.

Um dos marcos iniciais dessa jornada ocorreu em 1962 a partir da publicação do livro “Primavera Silenciosa” da bióloga norte americana Rachel Carson, onde foram documentados os danos ambientais do uso indiscriminado de pesticidas para expor a interconexão entre as práticas agrícolas e o funcionamento dos ecossistemas (Carson, 1962). Esta obra inspirou o movimento ambientalista moderno, derivando na criação da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos e na reversão das políticas nacionais sobre o uso do inseticida organoclorado DDT.

Dez anos após a publicação do livro (1972), ocorreu a Conferência de Estocolmo, o primeiro grande encontro internacional dedicado às questões ambientais e que catalisou a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Este evento enfatizou a interdependência entre o desenvolvimento econômico e a proteção ambiental, culminando na Declaração de Estocolmo que reconheceu a responsabilidade coletiva em relação à proteção do meio ambiente (UN, 2024).

Em 1987, a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento introduziu o conceito de “desenvolvimento sustentável”, materializado a partir do Relatório de Brundtland, definindo-o como aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem as suas próprias (World Commission on Environment and Development, 1987).

Essa definição ampliou o entendimento sobre as relações entre pobreza, padrões de consumo e degradação ambiental, promovendo uma abordagem integrada para enfrentar o que conhecemos hoje como crise climática. Ainda no mesmo ano, a humanidade obteve sucesso na cooperação internacional a partir da adoção do Protocolo de Montreal, no qual os cientistas e a classe política convergiram para a redução significativa do uso de clorofluorcarbonetos (CFCs) e a consequente regeneração da camada de ozônio (UNEP, 2022).

No ano seguinte, em 1988, foi dado um passo crucial na estruturação da agenda climática global a partir da gênese do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). Neste âmbito foi confiada a avaliação científica sobre mudanças climáticas e seus impactos, reunindo

especialistas de diversas nações para compilar e analisar dados que subsidiam o processo de formulação de políticas públicas para combate à mudança do clima (IPCC,2024).

A partir disso, foram compiladas evidências científicas relacionando as emissões antrópicas de GEE à intensificação da mudança do clima global, o que despertou preocupação pública. Como resposta, a Assembleia Geral das Nações Unidas estabeleceu, em 1990, o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção-Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC) (UNFCCC, 2023). Este Comitê preparou a redação da Convenção e a adotou em maio de 1992, na sede das Nações Unidas, em Nova York. No mesmo ano, foi realizada a Cúpula da Terra no Rio de Janeiro (RIO 92) onde a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) foi aberta para assinatura e adesão, estabelecendo a pedra fundamental da agenda das mudanças climáticas.

A Convenção entrou em vigor em 1994. Foi neste âmbito que se estabeleceram os fóruns internacionais deliberativos sobre o tema, conhecidos como Conferência das Partes (COP), que teve sua primeira edição em Berlim, no ano de 1995. Vale ressaltar que na gênese da UNFCCC, mais especificamente no artigo terceiro, foram estabelecidos cinco importantes princípios para o combate da mudança do clima, dentre eles destaque para o princípio da responsabilidade comum porém diferenciadas entre as Partes e o princípio da precaução (Ministério da Ciência e Tecnologia, 1996).

É nesse contexto que foi pavimentado o caminho para a negociação na COP-3, em 1997, do Protocolo de Quioto, no qual foram estabelecidas metas de redução de emissões para os países desenvolvidos, de industrialização precoce, referidos no protocolo como países Anexo I, e introduzidos mecanismos inovadores, como o Sistema de Comércio de Emissões e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (UNFCCC, 2022a).

Com isso, foi permitido que estes países investissem em projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento como forma de compensar as emissões não mitigadas por medidas em seus territórios. Mesmo que durante o período de implementação do Protocolo tenha ocorrido o aumento do nível global de emissões de GEE, esses mecanismos foram fundamentais para o desenvolvimento do que conhecemos hoje como mercado de carbono. Importante destacar que uma das principais críticas em relação ao Protocolo de Quioto foi a não adesão dos Estados Unidos (principal emissor global à época) e a imposição de metas que infringiram o princípio da responsabilidade comum, porém diferenciadas (Mor et al., 2023).

A evolução da agenda climática internacional ocorreu de forma paralela e interdependente ao debate sobre desenvolvimento sustentável pós-Rio 92 e às críticas associadas ao modelo de desenvolvimento orientado exclusivamente ao crescimento econômico. O economista indiano Amartya Sen, Prêmio Nobel de Economia e um dos proponentes do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) publicou, em 1999, o livro “Desenvolvimento como Liberdade” cujo principal

argumento está baseado no fato que o verdadeiro desenvolvimento não deve ser medido apenas pela análise do crescimento econômico, mas sim avaliado pela capacidade dos seres humanos de realizar ações que consideram valiosas. Ou seja, o autor defende que a liberdade é tanto um objetivo quanto um meio para o desenvolvimento, enfatiza a interconexão entre diferentes tipos de liberdade (política, social e econômica) e oferece uma abordagem multidimensional que permite uma compreensão mais rica dos desafios enfrentados pela sociedade contemporânea.

Em uma crítica mais estrutural da dinâmica econômica, o também economista francês Serge Latouche apresenta uma crítica contundente ao paradigma do crescimento econômico contínuo, usando o argumento que a lógica da produção e consumo incessante aproxima a humanidade de um colapso social e ambiental (Latouche, 2003). O autor ressalta a perspectiva de uma “sociedade de decrescimento”, na qual a produção e o consumo são reorientados para atender às reais necessidades humanas, ao invés dos desejos artificiais criados pela publicidade e pela cultura do consumo. O autor também aborda as implicações éticas da busca incessante pelo crescimento, argumentando que essa mentalidade está enraizada em uma visão utilitarista da vida humana.

O relatório Stern (2007) é outro marco importante. Encomendado pelo governo britânico, é um dos primeiros esforços em avaliar o impacto das mudanças climáticas e o custo da inação nas diversas dimensões do desenvolvimento. O relatório argumenta que se a sociedade se comprometer a resolver a crise climática imediatamente - em termos de alocação de recursos financeiros, capital humano, tempo de pesquisa e etc - seria possível não apenas evitar uma catástrofe ambiental, mas também obter esse resultado a um custo relativamente pequeno.

O autor aponta que uma regulação imediata e agressiva pode estimular um rápido desenvolvimento tecnológico capaz de reduzir as emissões de GEE visando estabilizá-los em 550 partes por milhão de CO₂e e comprometer, no melhor dos cenários, apenas 1% do PIB global (Mendelsohn, 2007). Entretanto, este relatório foi publicado há quase duas décadas e não houve uma regulação tão agressiva quanto recomendado e, portanto, o atual custo para resolução da crise climática certamente depende de uma contribuição mais significativa da riqueza humana.

Em 2009, um grupo de cientistas do Stockholm Resilience Centre, liderado por Johan Rockström, apresenta o conceito de “limites planetários”, e a partir do qual estabelece uma estrutura crítica para entender os limites dentro dos quais a humanidade deve operar para garantir a estabilidade e a resiliência do sistema terrestre (Rockstrom et al., 2009).

Os limites são apresentados em nove categorias. Entre elas, a mudança do clima, que se soma a outras também importantes como a perda da biodiversidade, a alteração nos ciclos biogeoquímicos e outros. A relevância deste conceito reside na sua capacidade de fornecer um referencial científico que delimita as condições necessárias para a manutenção da vida no planeta.

A economista inglesa Kate Raworth amplia a análise em seu modelo da “Economia do Doughnut”, que busca integrar as necessidades sociais e os limites ecológicos (Raworth, 2012). Dessa forma, a economista redefine a visão tradicional do sucesso econômico, ou seja, ao invés de medir o progresso apenas pela expansão econômica, a autora enfatiza a necessidade de garantir que todos os indivíduos tenham acesso às suas necessidades básicas enquanto se respeitam os limites do planeta e oferece uma nova estrutura teórica para entender os desafios contemporâneos.

A evolução de ambas as agendas no âmbito internacional culmina, em 2015, no estabelecimento dos dois instrumentos mais importantes de cooperação internacional até o momento no âmbito da ONU. O primeiro foi a criação da Agenda 2030 na Assembleia Geral da ONU, responsável por estabelecer os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e suas 169 metas que devem ser alcançadas até 2030, ratificadas pelos 193 Estados-membros.

Essa Agenda é ampla e trata de forma integrada sobre os desafios sociais, ambientais e econômicos enfrentados pelo ser humano. Surgiu como um processo de reflexão sobre as conquistas e limitações dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), estabelecida no ano 2000 e com 15 anos de prazo para execução. O estabelecimento dos ODS foi um marco importante para padronização de uma linguagem sobre o desenvolvimento sustentável, incentivando parceria entre governos, iniciativa privada e sociedade civil. O desafio climático, ausente nos ODM, passa a contar com um ODS próprio (ODS 13 - Ação Climática), com 5 metas específicas (UN, 2023).

O outro instrumento, negociado no âmbito da Convenção do Clima, na COP-21, e com a adesão das 196 Partes, foi o Acordo de Paris, sob influência das recomendações do IPCC sobre os riscos do aumento da temperatura a partir de 1,5 °C em relação ao período pré-industrial. Neste instrumento histórico foram determinados 29 artigos que norteiam a estratégia global para combate às mudanças climáticas.

É importante destacar que a principal inovação do Acordo são as Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs, no acrônimo em inglês), as submissões voluntárias das Partes que apresentam os seus esforços nacionais para alcançar o principal objetivo de limitar o aquecimento global bem abaixo dos 2°C em relação ao período pré-industrial.

Mesmo com esses importantes instrumentos de cooperação internacional, fundamentados no conhecimento científico consolidado em seis relatórios do IPCC e os alertas vindos do aumento da frequência e magnitude dos desastres climáticos que assolam a humanidade, as promessas de mitigação ainda são incapazes de reduzir as emissões de GEE a patamares seguros. De acordo com a UNEP (2024), no melhor dos cenários, com a implementação integral das últimas NDCs apresentadas pelos países signatários, chegaremos em 2100 com um aquecimento de, pelo menos, 2,6 °C em relação ao período pré-industrial.

1.2 PERFIL DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA - Mundo e Brasil

Em 2023, a humanidade atingiu o recorde histórico de emissões com um total de 57,1 GtCO₂e, um crescimento de 1,3% em relação a 2022. Essa taxa de crescimento é maior que o crescimento médio das emissões de 0,8%/ano da década anterior (2010-2019). A tendência é que novos recordes sejam atingidos nos próximos anos, considerando que ainda não atingimos uma tendência de crescimento negativa e as emissões absolutas não estão abaixo do recorde histórico.

A maior parcela das emissões é derivada do uso de combustível fóssil no setor energético, que inclui a produção de energia (23%), o uso dos transportes (15%), o gasto energético industrial (11%), a produção de combustíveis (10%) e a construção civil (6%), representando cerca de 68% do total das emissões globais de 2023. A segunda maior parcela, com 18% das emissões totais, é compreendida pelo setor de agricultura, silvicultura e outras mudanças no uso do solo. Já a terceira parcela é representada pelos processos industriais, com 9% das emissões totais. Finalmente, 4% das emissões totais são derivadas dos resíduos gerados pelo consumo humano (UNEP, 2024a).

Sob a perspectiva das emissões totais, o G20 tem um papel fundamental para o atingimento do *net zero*, uma vez que suas emissões somadas representam 77% do total de 2023. Ainda referente a este ano, e excluindo as emissões derivadas da mudança do uso do solo, a China lidera as emissões com 30% do total e em segundo lugar se encontra os Estados Unidos com 11%. Na sequência temos a Índia (8%), a União Europeia (6%), a Rússia (5%) e o Brasil (2%). Se considerar as emissões derivadas da mudança do uso do solo, o Brasil representa 4% (Tsai et al., 2023).

É importante destacar, além do registro anual de emissões, quais países detêm a maior responsabilidade pelas emissões históricas de CO₂. Nesse sentido, ao analisar o período de 1850 a 2022, e incluindo as emissões derivadas da mudança do uso do solo, os Estados Unidos são os maiores responsáveis pelas emissões de GEE, representando 20% de todas as emissões desde o período pré-industrial. Em segundo lugar, a China está empatada com a União Europeia, onde cada uma representa 12% do total das emissões nesse mesmo período. O terceiro lugar é ocupado pela Rússia, com 7% das emissões históricas e, finalmente, o Brasil encontra-se em quarto lugar, com 5% das emissões históricas (Crippa et al, 2024; UNEP, 2024a).

Tão importante para a análise do perfil de emissões são as emissões *per capita*. Sob essa perspectiva e excluindo as emissões derivadas da mudança do uso do solo, o ano de 2023 foi liderado pela Rússia, com uma emissão de 19 tCO₂e *per capita*. Na sequência, encontram-se os Estados Unidos, com 18 tCO₂e *per capita*. Em terceiro lugar podemos observar a China, com 11 tCO₂e/capita. Se considerar a União Europeia como um único território, então o terceiro lugar seria ocupado por ela com 7,3 tCO₂e *per capita*. Se não, essa posição seria ocupada pelo Brasil, com 6

tCO₂e *per capita*. Vale ressaltar que a emissão *per capita* do Brasil está subestimada, uma vez que a sua maior parcela de emissão foi removida do cálculo segundo a metodologia adotada por Crippa et al. (2024). Se formos considerar a mudança de uso da terra neste cálculo, o Brasil assume a terceira posição, com 11,4 tCO₂e *per capita* (Tsai et al., 2023).

De qualquer maneira, independente da abordagem adotada, Crippa et al. (2024) e Grassi et al. (2022) destacam que os maiores emissores de GEE na história são os Estados Unidos, a China, a União Europeia, a Rússia, a Índia e o Brasil. Curiosamente, todos os países citados apresentam o setor energético como responsável pela maior parcela das emissões, menos o Brasil, cuja maior parcela está associada à mudança do uso do solo e o perfil de emissões será detalhado na próxima seção.

Em 2022, o Brasil emitiu 2,3 GtCO₂e sendo que 48% das emissões foram derivadas da devastação de todos os biomas brasileiros, consideradas formalmente na categoria de Mudança de Uso da Terra e Floresta. A segunda maior parcela (27%) é representada pelo setor agropecuário, seguida pelo setor energético (18%), resíduos (4%) e, finalmente, processos industriais (3%). Sob a perspectiva dos GEE, o total das emissões brasileiras pode ser dividida entre o gás carbônico (67%), o metano (24%) e o óxido nitroso (8%) (Tsai et al. 2023).

Mais especificamente, as emissões derivadas da Mudança de Uso da Terra foram o reflexo, sobretudo, do desmatamento na Amazônia e no Cerrado, representando cerca de 90% do total do setor, com significativa predominância do desmatamento do primeiro bioma. Esse contexto reflete as emissões das Unidades Federativas (UFs) que abrigam esses biomas, apresentando como as que mais emitiram dentro dessa categoria o Mato Grosso, Pará, Roraima, Amazonas e Maranhão. Em 2022, as alterações de uso da terra representaram 93% das emissões do setor, seguida pelas queimadas associadas ao desmatamento (5%) e de alterações no estoque de carbono orgânico no solo (2%) (Tsai et al. 2023).

Já sobre as emissões do setor agropecuário, a pecuária representa 80% das emissões contra 20% da agricultura, sendo que os subsetores predominantes foram a fermentação entérica (64,6% do total) e os solos manejados (29% do total). As cinco UF's que mais emitiram neste setor foram o Mato Grosso (15%), Goiás (11%), Minas Gerais (9%), Pará (8%) e Rio Grande do Sul (7,6%) (Tsai et al. 2023).

Considerando as emissões do setor energético, a maior parcela (44%) é derivada dos transportes, sobretudo pela dependência do Brasil em relação ao uso de transporte terrestre na logística interna e as longas distâncias das estradas brasileiras. A segunda maior parcela (29%) é representada pelo gasto energético das atividades industriais, aqui também consideradas as emissões dos processos industriais. De forma periférica, figuram a produção de combustíveis (9%), a geração

de eletricidade (8%), a energia utilizada nas edificações (6%) e na agropecuária (4%). É importante destacar a baixa emissão de GEE no processo de geração elétrica no Brasil, influenciada pelo uso substancial de hidrelétricas com apoio de outras fontes renováveis como biomassa, eólica e solar.

A queda no uso de fontes fósseis foi uma consequência das condições climáticas observadas em 2022, com altos níveis de chuvas, o que favoreceu o uso das hidrelétricas. Entretanto, a demanda por eletricidade no Brasil cresce ano após ano e não seria improvável que o perfil das fontes de geração hidrelétrica sofresse alterações no futuro, o que gera, nesse sentido, um risco para a manutenção da relativa baixa emissão do setor. Ademais, um outro ponto de atenção são as políticas públicas aprovadas no país, uma vez que as leis 14.182/2021 e 14.299/2022 (além do PL 4.653/2023) favorecem o uso de termelétricas a gás natural e carvão mineral, contradizendo a preferência por fontes renováveis e geram um risco em relação ao aumento de emissões no setor elétrico, da poluição do ar e das tarifas de eletricidade (Tsai et al. 2023).

Por fim, as emissões do setor de resíduos se mantiveram estáveis no triênio 2020-2022, com cerca de 91 milhões de toneladas de CO₂e/ano. A maior parcela (65,5%) das emissões está associada à disposição final de resíduos sólidos em aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Mesmo com uma política pública robusta nessa área (Política Nacional de Resíduos Sólidos), ainda não foi possível a erradicação integral dos lixões. Entretanto, estima-se que 72% dos resíduos são dispostos em aterros sanitários, o que representa 48% das emissões totais de todo o setor de resíduos.

Vale ressaltar que o progresso na adoção de aterros sanitários permitiu o aumento da recuperação de biogás, culminando na recuperação de 526 mil toneladas de metano em 51 aterros sanitários no ano de 2022, representando cerca de 20% de todo o metano gerado na disposição final. A segunda maior parcela das emissões deste setor estão associadas ao tratamento de efluentes domésticos (26,6%), dividido entre os efluentes coletados e tratados (12%), os efluentes não coletados (6%), soluções individuais (4,5%) e os efluentes que são coletados, mas não tratados (4,1%). A terceira maior parcela são derivadas do tratamento de efluentes líquidos industriais (6,1%), altamente influenciados pela produção de leite cru (2,6%), de celulose (1,2%) e de carne bovina (1%) (Tsai et al. 2023).

Partindo para uma análise territorial, o Centro Oeste brasileiro é a região que mais emite, representando quase 30%. Em segundo lugar encontra-se a região Norte com 28%, seguida pelo Sudeste (18%), Nordeste (13%) e Sul (11%). Já as cinco UF's que mais emitem representam mais do que 50% das emissões do Brasil, sendo elas: Mato Grosso (17,3%), Pará (15,6%), Minas Gerais (7,3%), Rondônia (6,6%) e São Paulo (6,5%). As emissões das UF's citadas compreendidas pelo Norte e Centro Oeste do Brasil são influenciadas pelo desmatamento e intensa atividade pecuária. Já

as emissões das UFs citadas compreendidas pelo Sudeste são influenciadas pelo setor energético (especialmente o transporte) e, no caso mineiro, também pelo gado de leite (Tsai et al. 2023).

1.3 O MERCADO DE CARBONO

1.3.1 Contexto histórico

No campo teórico, o acadêmico canadense John Dales (1968) propôs em sua obra “Poluição, propriedade e preços: um ensaio sobre formulação de políticas e economia”, o conceito de sistema de comércio de emissões, demonstrando que seria possível induzir a redução da poluição a um custo plausível a partir do uso de um valor fixo e agregado de licenças de um poluente específico. Já na prática, o primeiro caso bem sucedido a aplicar este conceito foi o programa americano estabelecido em 1990 para controlar a chuva ácida, tendo como foco controlar as emissões de dióxido de enxofre (SO₂) (Ellerman et al., 2000).

Nesta mesma década, em 1990, surgiu o conceito prático do mercado de carbono, mais especificamente no artigo 4.2 do texto que deu origem à UNFCCC, o qual prevê a regra de implementação conjunta de soluções para mitigação de GEE por vários países (UNFCCC, 1992). Diante da visão oposta entre países industrializados e em desenvolvimento sobre a aplicação deste tipo de mecanismo, foi proposto, na COP 1, em 1995, a elaboração de uma fase piloto das Atividades Implementadas em Conjunto (AIJ, no acrônimo em inglês) que durou até 2000 sem a geração de créditos de emissão (Michaelowa et al., 2019).

Reforçando o caráter vanguardista do Brasil dentro da agenda climática, o nascimento do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo se deu a partir da proposta brasileira do Fundo de Desenvolvimento Limpo e este conceito foi lapidado em conjunto entre Brasil e Estados Unidos nas semanas anteriores à Conferência das Partes de Quioto, em 1997. A partir desse encontro, foi adotado o Protocolo de Quioto (PQ), que impôs metas específicas de redução de emissões para 38 países industrializados e economias em transição, classificadas como os países Anexo I do Protocolo, adotando uma estratégia *top-down* (Michaelowa et al., 2019; IPAM, 2005).

O PQ materializou três mecanismos fundamentais para a agenda climática: o Comércio de Emissões, a Implementação Conjunta e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O primeiro previa que os países Anexo I que emitissem menos o respectivo limite de emissões poderiam comercializar o seu excedente de licenças com países do Anexo I cujas emissões ultrapassassem o limite proposto (UNFCCC, 2022b). Uma das principais corretoras para negociar as emissões foi a *European Climate Exchange*.

Já o segundo mecanismo - Implementação Conjunta - permitia que os países do Anexo I unissem esforços para o atingimento das metas impostas pelo PQ, oferecendo uma maneira flexível e econômica para um país atingir suas metas de redução financiando projetos em um projeto de mitigação em outro país Anexo I que se beneficiaria do investimento estrangeiro e da transferência de tecnologia.

Finalmente, o terceiro mecanismo - MDL - permitia a implementação de projetos de redução de emissões em países em desenvolvimento que não tinham metas de redução de emissões sob o PQ. Esses projetos podiam ser convertidos em Reduções Certificadas de Emissões (CERs, no acrônimo em inglês) e ser negociadas com países que tinham metas de redução de emissões sob o PQ. Os projetos de MDL podiam ser implementados nos setores de energia, transporte e floresta.

Nesse contexto, Michaelowa et al. (2019) propõem que a evolução do mercado de carbono pode ser dividida, entre a COP 3 (1997) até a COP 21 (2015), em três fases. A primeira, bastante influenciada pelo Protocolo de Quioto, foi compreendida entre 1997 e 2004, representando a gênese do mercado de carbono.

A segunda, de 2005 a 2011, foi intitulada como a “corrida do ouro”, uma vez que houve um forte crescimento dos mercados internacionais de carbono a partir da decisão da União Europeia sobre a “diretiva de vinculação” que permitiu o uso de créditos gerados no MDL e na Implementação Conjunta para conformidade sob o *EU Emission Trading Scheme (ETS)*.

Já a terceira fase, de 2012 a 2014, foi definida como a “fragmentação dos mercados de carbono” e foi marcada pela queda na demanda e crescimento da oferta de créditos de carbono, o que gerou o colapso do preço dos créditos de carbono, já previsto no trabalho de Bellassen et al. (2011).

Vale ressaltar que a queda na demanda se deu a partir do momento que a emissão dos créditos começou a atingir os limites quantitativos previstos no ETS, limites estes determinados para garantir que pelo menos metade das reduções de emissões necessárias sob o PQ seriam alcançadas domesticamente.

Vale destacar também que, segundo Michaelowa et al. (2019), desde a criação dos mercados de carbono já havia sinalizações da academia sobre diversos riscos, como a baixa demanda e baixo preço dos créditos de carbono, a necessidade de capacitação e sistemas adequados para a coleta de dados, o risco de vazamento de emissões e a necessidade de monitoramento, reporte e verificação.

Além disso, dois elementos regulatórios amplamente discutidos na literatura especializada são a determinação da linha de base e a adicionalidade dos projetos. A linha de base é o cenário de referência que é identificado como o mais provável na ausência do projeto proposto, em relação ao qual a redução de emissões pode ser calculada e reivindicada. Já o princípio da adicionalidade exige que o projeto não teria ocorrido de qualquer forma na ausência da receita da venda dos créditos de

carbono. Estes conceitos se tornaram uma das questões mais contestadas para as atividades de MDL desde o período inicial (Michaelowa et al., 2019).

Em suma, segundo UNEP (2024b), os mercados de carbono são mecanismos de precificação de carbono que permitem que governos e atores não estatais negociem créditos de emissão de GEE. O objetivo é atingir metas climáticas e implementar ações climáticas de forma econômica. Além disso, existem dois tipos de mercados de carbono: regulado e voluntário.

Em mercados regulados, como esquemas nacionais ou regionais de comércio de emissões, os participantes agem em resposta a uma obrigação estabelecida por um órgão regulador. Já nos mercados voluntários de carbono, os participantes não têm obrigação formal de atingir uma meta específica. Em contrapartida, as empresas, cidades ou regiões buscam compensar voluntariamente suas emissões para atingir metas de mitigação. Atualmente, o principal instrumento internacional que regula os mercados de carbono é o Acordo de Paris e, diante da sua importância, será descrito na próxima seção.

1.3.2 O Acordo de Paris

Segundo a UNFCCC (2020), o Acordo de Paris é um tratado internacional juridicamente vinculante sobre mudanças climáticas, adotado por 196 Partes em dezembro de 2015 na COP21, em Paris, e entrou em vigor em novembro de 2016. Seu objetivo é manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-industriais e busca esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais. O Acordo de Paris é um marco no processo multilateral de mudança climática porque, pela primeira vez, um acordo vinculante reúne todas as nações para combater a mudança climática e se adaptar aos seus efeitos.

É importante ressaltar que a maior diferença entre o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris é a mudança significativa de abordagem: o primeiro estabelecia metas vinculantes apenas para os países desenvolvidos do Anexo I, enquanto o segundo envolve a participação global a partir de metas de mitigação definidas voluntariamente por cada Parte signatária, que também podem identificar os instrumentos e medidas para alcançá-las. Sendo assim, o regime climático internacional mudou o seu caráter de uma abordagem de cima para baixo, baseada em compromissos obrigatórios de emissões, para um sistema de baixo para cima de promessas governamentais voluntárias (Michaelowa et al., 2019).

Antes de tratar especificamente sobre o mercado de carbono, que está contemplado no seu artigo 6, é importante observar a estrutura geral do Acordo. Em suma, ele apresenta um triângulo central de obrigações, sendo elas: (i) os países comprometem-se a tomar medidas nacionais determinadas, quantificáveis e progressivas para a mitigação e adaptação climática para manter o

aquecimento abaixo de 2 °C, esforçando-se para atingir 1,5 °C (Artigos 2 a 4, 6 a 8), (ii) essas ações são incentivadas por mudanças nos fluxos financeiros e transferência de tecnologia relacionada, capacitação, educação, diálogo facilitador e outras medidas cooperativas (Artigos 9 a 12) e (iii) a implementação é alcançada através da transparência e da comunicação, da revisão por pares, do balanço periódico, da participação pública e dos mecanismos de conformidade (Artigos 13 a 15) (Cambridge, 2024).

Dito isto, a fim de incentivar a colaboração internacional e melhorar a eficácia econômica da implementação das NDCs, o Artigo 6 do Acordo de Paris fornece uma série de mecanismos de mercado e não-mercado.

Mais especificamente, o Artigo 6.2 define Abordagens Cooperativas que envolvem a transferência de “resultados de mitigação transferidos internacionalmente” (ITMOs, no acrônimo em inglês) que podem ser usados para o atingimento das metas previstas na NDC de um país. O mecanismo está sujeito à orientação da UNFCCC, mas não à supervisão internacional direta.

Já o Artigo 6.4 estabelece um novo mecanismo de mercado para geração de créditos de emissões - também chamado de “Mecanismo de Crédito” - que é governado centralmente por um órgão da UNFCCC e também tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento sustentável em países anfitriões. Quase uma década após a adoção do Acordo de Paris, em outubro de 2024, o órgão de supervisão do Artigo 6.4, responsável por criar o mercado de carbono da ONU dentro do Acordo de Paris, adotou dois padrões, sendo um com os requisitos para desenvolver e avaliar projetos sob esse mecanismo e outro para projetos que removem GEE da atmosfera.

Finalmente, o Artigo 6.8, em contraste com os outros dois, reconhece a importância de abordagens não mercadológicas para promover mitigação e ambição de adaptação, aumentar a participação dos setores público e privado e permitir oportunidades de coordenação entre instrumentos e arranjos institucionais relevantes. Este artigo pode se tornar uma estrutura para fluxos de financiamento climático público (Michaelowa et al., 2019; UNFCCC, 2024).

Diante do exposto, as principais características relativas ao mercado de carbono após a adoção do Acordo de Paris são, ainda, os baixos valores do preço do crédito de carbono e a limitada atividade nos mercados internacionais de carbono, aquém da ambição necessária para atingir os objetivos do Acordo.

Segundo World Bank (2024), existem 75 esquemas de comércio de emissões e taxas de carbono em operação no mundo e estima-se que 24% das emissões globais são compreendidas pelo mercado regulado. Além disso, também afirmam que permanece uma lacuna de implementação entre os compromissos dos países e as políticas implementadas. As receitas de precificação de carbono em

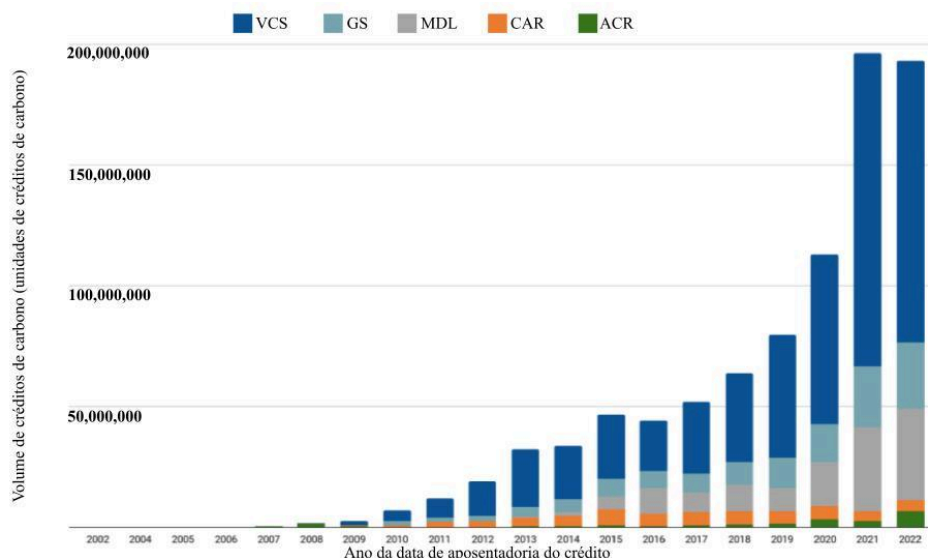
2023 ultrapassaram US\$ 100 bilhões pela primeira vez, mas, apesar da receita de precificação de carbono atingir recordes, sua contribuição para os orçamentos nacionais dos países continua baixa.

1.3.3 O mercado voluntário

O nascimento do mercado voluntário de carbono foi influenciado pelo Protocolo de Quioto, mesmo que seu foco tenha sido o mercado regulado. Este marco na agenda climática criou um ambiente propício para iniciativas voluntárias, à medida que as empresas buscavam demonstrar seus compromissos socioambientais. À medida que o mercado evoluiu, passou a enfrentar desafios relacionados à credibilidade e integridade ambiental. A proliferação de diferentes padrões e metodologias para a geração de créditos de carbono levou a preocupações sobre a qualidade das compensações, provocando apelos por maior transparência (Kreibich e Hermwille, 2021).

Desde o início deste mercado, quatro certificadoras independentes se destacaram, junto com os créditos emitidos no âmbito do MDL (CERs), sendo elas: Verra (VCS), Gold Standard (GS), American Carbon Registry (ACR) e Climate Action Reserve (CAR). Em termos numéricos, o volume de créditos emitidos no tempo pode ser observado na Figura 6. O padrão Verra representa 66% do mercado voluntário de carbono (Allied Offsets, 2023).

Figura 6 - Volume de créditos de carbono (unidades de créditos) emitidos no âmbito do MDL e pelas principais certificadoras independentes.



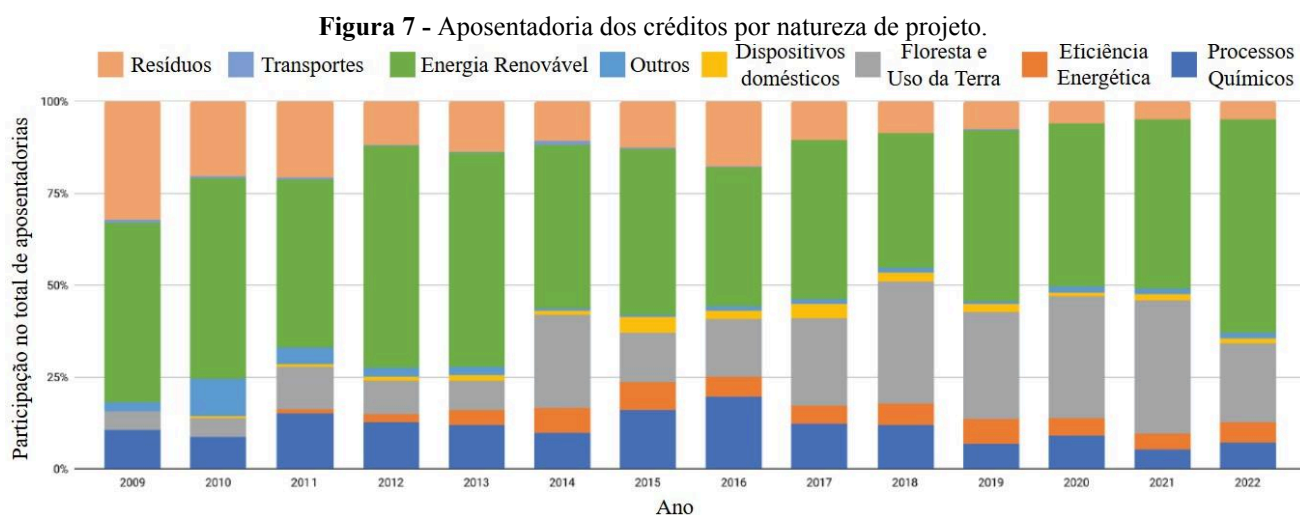
Fonte: Allied Offsets (2023) traduzido pelo autor.

É importante destacar a dinâmica da emissão e uso dos créditos de carbono no âmbito do mercado voluntário. O primeiro passo é a elaboração de um projeto que evita a emissão ou remove GEE da atmosfera e cada tonelada evitada ou removida representa um crédito de carbono. Para a emissão dos créditos de carbono, o projeto deve ser submetido a um processo de certificação, normalmente de uma das certificadoras expostas na Figura 5. Após a conclusão (bem sucedida) desse

processo, os créditos são gerados e tornam-se disponíveis para comercialização. A partir do momento que alguma empresa ou pessoa física adquire um crédito de carbono para compensar suas emissões, esse crédito é aposentado, ou seja, é retirado de circulação e não pode mais ser comercializado/utilizado (Trouwloon et al., 2023).

Além disso, segundo World Economic Forum (2024), a partir da adoção do Acordo de Paris, o número de empresas que apresentaram promessas para atingir emissões líquidas zero tem crescido significativamente. A maioria das empresas que prometem neutralidade dependem de alguma forma de compensação das emissões derivadas de suas atividades produtivas por meio de compensação. Considerando que o Acordo de Paris entrou em vigor no final de 2016, essas promessas podem explicar o forte impacto no mercado voluntário de carbono observado a partir de 2017. Ainda assim, apesar de 3.400 empresas espalhadas pelo mundo anunciarem compromissos com o *net-zero*, apenas 188 investiram em remoção de dióxido de carbono em 2023 (World Economic Forum, 2024).

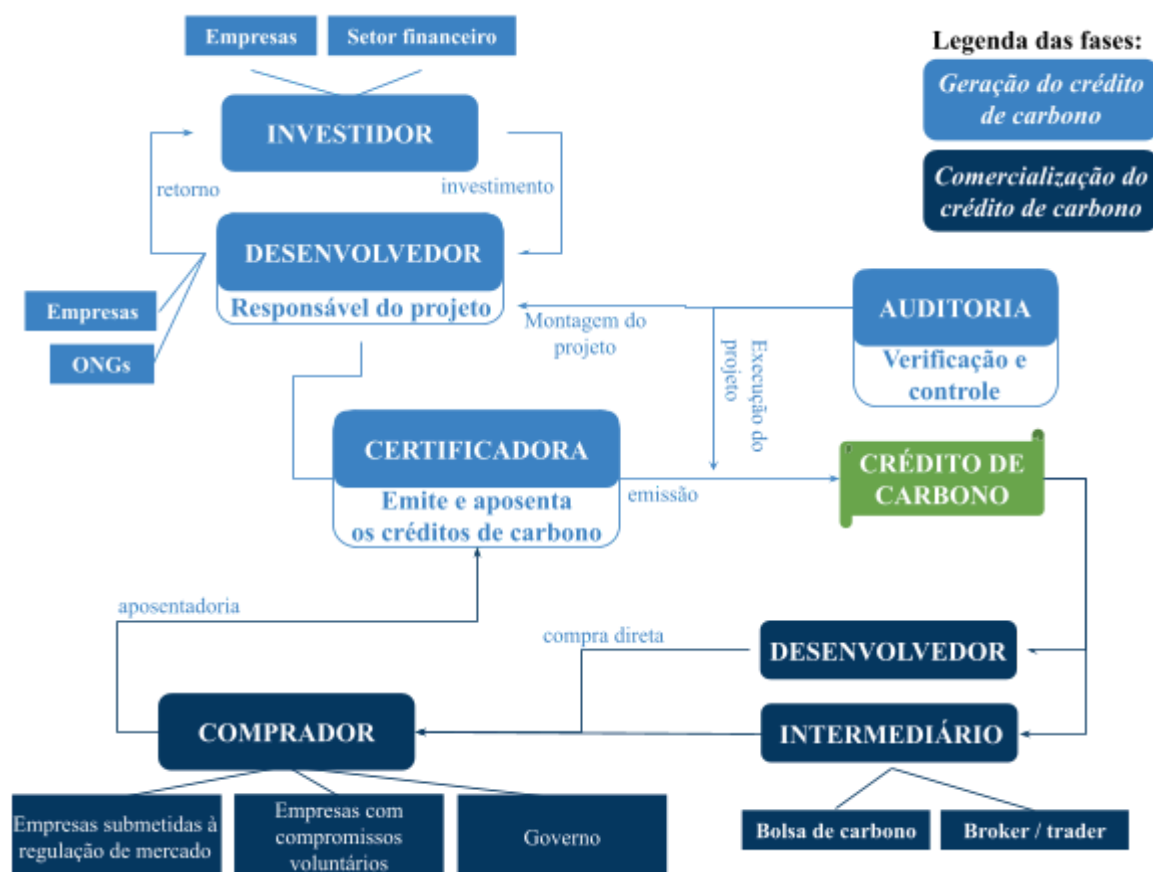
Em termos setoriais, desde 2009 o mercado voluntário tem sido dominado pelos projetos de Energia Renovável. A partir de 2014 o setor de Floresta e Uso da Terra também se tornou uma parte importante do mercado, representando entre 25% e 33% do total de aposentadorias por ano (Figura 7). Já sob a perspectiva geográfica, o Brasil ocupa a quarta posição em relação aos créditos aposentados, com quase 67 milhões de créditos. O país está atrás da Índia (177 milhões), China (108 milhões) e Estados Unidos (98 milhões).



Fonte: Allied Offsets (2023) traduzido pelo autor.

De modo geral, a dinâmica do mercado voluntário é determinada pela relação entre investidores, desenvolvedores, certificadoras, compradores e auditores. Esses atores estão distribuídos em duas grandes etapas, sendo a primeira na geração dos créditos de carbono e a segunda na sua comercialização e aposentadoria (Figura 8).

Figura 8 - Dinâmica do mercado voluntário de carbono.



Fonte: elaboração do autor.

Segundo Kreibich e Hermwille (2021), os principais desafios identificados em relação ao mercado voluntário de carbono incluem a falta de transparência nas transações e o fluxo de informações entre os diversos atores do mercado. A opacidade em torno dos intermediários - que desempenham um papel crucial na facilitação da compra e venda de créditos - dificulta a compreensão das dinâmicas financeiras e pode gerar desconfiança entre os participantes.

No mesmo sentido, o World Economic Forum (2024) aponta que, além desses desafios, a credibilidade dos créditos de carbono é frequentemente questionada devido a informações não confiáveis sobre projetos de remoção de carbono, muitas vezes resultantes da aplicação inconsistente e da falta de práticas rigorosas de MRV. Ademais, o papel que este mercado desempenhará na obtenção de metas líquidas zero e sua compatibilização com as NDCs no âmbito do Acordo de Paris ainda permanece incerto. Mesmo assim, o WEF reforça a importância deste mercado, uma vez que é uma das poucas opções de financiamento de transição que aborda a necessidade urgente de remoção de CO₂ em larga escala.

1.3.3.1 Mercado Voluntário no Brasil

Com base nos dados disponíveis até setembro de 2024 e sob a perspectiva de projetos, o Brasil ocupa a sexta colocação mundial, com 312 projetos, representando 3,3% de todos os projetos já implementados no mercado voluntário. O país está atrás da Índia (1.667), Estados Unidos (1.600), China (1.479), Turquia (548) e México (343). Vale ressaltar que, conforme descrito na seção anterior, o Brasil ocupa a quarta posição mundial em relação ao número de créditos de carbono aposentados. Dentro desse universo, quase 90% dos projetos implementados no Brasil foram certificados pela Verra (Figura 9). Ademais, é importante destacar que 16 deles foram cancelados, retirados ou estão inativos (Haya et al., 2024).

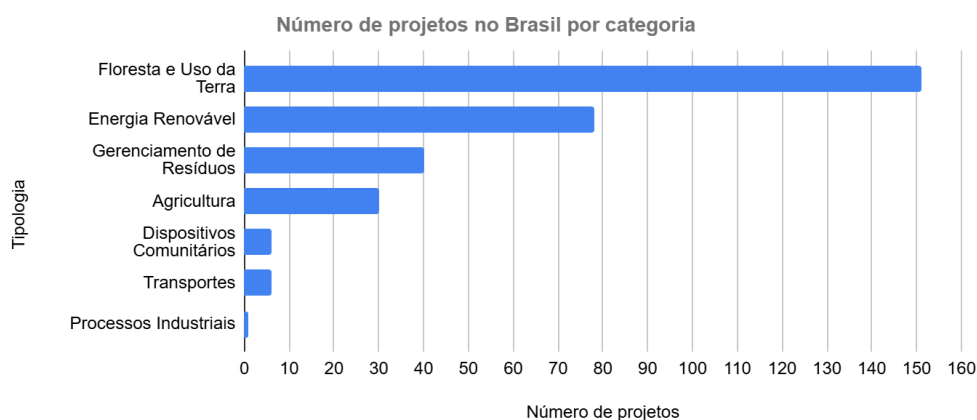
Figura 9 - Certificadoras dos projetos implementados no Brasil.



Fonte: adaptado de Haya et al. (2024)

Além disso, até setembro de 2024, quase 50% dos projetos implementados no Brasil são de Floresta e Uso da Terra, predominantemente de REDD+. Em segundo lugar, estão os projetos de Energia Renovável com predominância de hidrelétricas e biomassa. Já em terceiro, estão os projetos de gerenciamento de resíduos, basicamente a partir da queima do metano em aterros sanitários (Figura 10) (Haya et al., 2024).

Figura 10 - Tipologia dos projetos implementados no Brasil.



Fonte: elaboração do autor a partir de Haya et al. (2024).

Em termos de créditos emitidos e aposentados até setembro de 2024, o Brasil emitiu quase 130 milhões de créditos e aposentou quase 67 milhões. As emissões e aposentadorias ao longo do tempo podem ser observadas na Figura 11.

Figura 11 - Emissão e aposentadoria de créditos de carbono no Brasil.



Fonte: adaptado de Haya et al. (2024).

Segundo Vargas et al. (2021), as duas regiões brasileiras com maior número de projetos de créditos de carbono são o Sudeste e o Norte, com 29% e 26% do total de projetos, respectivamente. Todavia, apesar da liderança do Sudeste nesse aspecto, o volume de créditos de carbono gerados por essa região é o menor do país, representando apenas 4% do total de créditos de carbono emitidos até 2021. Em contraste, a região norte lidera o volume de créditos de carbono emitidos no mesmo período, representando mais de 60%. Essa divergência ocorre, sobretudo, devido às diferentes naturezas dos projetos de cada região. A maior parte dos créditos gerados no norte do país são de origem florestal, enquanto o sudeste depende de projetos relacionados à energia ou gestão de resíduos.

Partindo para uma análise crítica, Vargas et al. (2022) destacam os fatores limitantes para a expansão do mercado voluntário de carbono no Brasil a partir de três eixos: estrutural, técnico e científico-tecnológico. O primeiro é marcado por três características: desconexão entre a oferta e a demanda da economia nacional, sistemas de trocas e concentração de mercados.

A primeira, retratada na Figura 10, ocorre porque, sob a perspectiva da demanda, considerando o atraso na regulamentação nacional (definida em novembro de 2024) que acarreta na demora da implementação de exigências regulatórias e a presença de regulação em outros países, uma parte significativa dos compradores de créditos de carbono gerados no Brasil são oriundos do mercado internacional.

Sendo assim, os projetos acabam sendo negociados em dólar e a demanda nacional cria uma dependência da variação cambial. Ademais, a produção brasileira está diretamente ligada às atividades dos setores agrícola e industrial, mas esses setores são pouco representativos no mercado voluntário de carbono. Já o sistema de trocas destaca a informalidade do atual arranjo de trocas no mercado voluntário, uma vez que não existe um sistema centralizado onde os potenciais compradores podem analisar todas as opções de créditos disponíveis segmentados por categoria de projeto, região, etc.

As negociações são feitas de forma bilateral (compradores - desenvolvedores), sem uma Figura sólida de intermediários. Finalmente, a última característica que define o eixo de desafios estruturais trata sobre a concentração de mercado, uma vez que existem poucas empresas desenvolvedoras de projetos com conhecimento técnico sobre o processo de certificação. De forma geral, todas as etapas do processo de geração e compra (incluindo auditoria) são marcadas por poucas empresas.

Já o eixo técnico é marcado por duas características: capacidade gerencial e burocracias e morosidades. A primeira retrata o limite técnico-gerencial dos projetos no Brasil, uma vez que a maior parte dos produtores rurais desconhecem o processo de geração e comercialização de créditos de carbono. Dessa forma, na maioria das vezes, a iniciativa para o desenvolvimento e implementação de projetos parte das empresas desenvolvedoras e, no fim, acaba sendo orientada por elas.

O segundo gargalo técnico está diretamente relacionado à baixa concorrência e a ausência de regulação. Ou seja, quem acaba determinando a dinâmica do mercado são as certificadoras, sobretudo a Verra. É a partir das suas metodologias que o mercado se adequa para a emissão dos créditos (Vargas et al., 2022).

Finalmente, o eixo científico-tecnológico também se divide em dois: conhecimento sobre as metodologias de medição e fixação de carbono no solo e domínio das tecnologias de medição e monitoramento das atividades geradoras de créditos de carbono. Dentro do campo das metodologias, é necessário ressaltar que a maior parte delas foram desenvolvidas no hemisfério norte e, para o caso brasileiro, com potencial para emissão de créditos de carbono de natureza agropecuária, não há uma boa aplicabilidade para seus sistemas tropicais de cultivo, uma vez que as metodologias utilizam fatores de emissão que foram calibrados para sistemas de produção e tipos de solos de outros países, sobretudo os Estados Unidos, Austrália e Canadá (Oldfield et al., 2021).

Já no âmbito das tecnologias, os desenvolvedores de projetos ainda se deparam com custos elevados para verificar a permanência de carbono capturado e estocado no solo, considerando a robustez do sistema de monitoramento e verificação. Diante do exposto, Vargas et al. (2022) afirma que é de suma importância tornar a medição de carbono mais acessível e escalável.

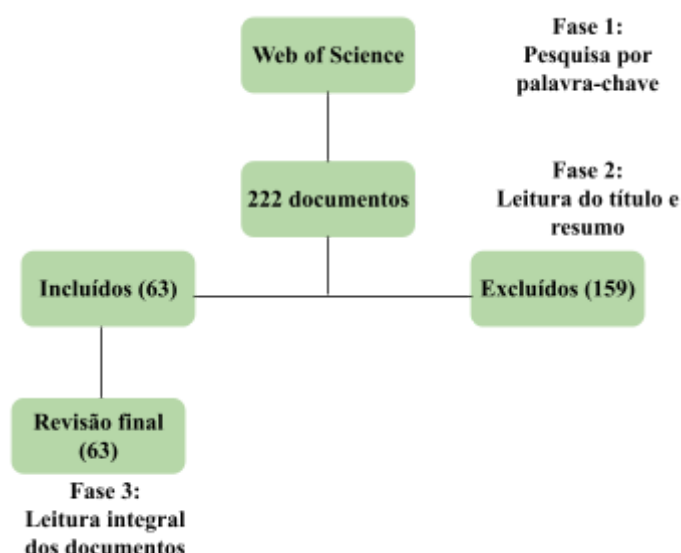
CAPÍTULO 2. O BRASIL E O MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO A PARTIR DA LITERATURA CIENTÍFICA

O presente capítulo está fundamentado na Revisão Integrativa da Literatura (RIL) para avaliar a produção científica produzida sobre mercado voluntário de carbono desenvolvido no Brasil a partir de 2010. O capítulo está dividido em três seções, sendo a primeira dedicada ao detalhamento da metodologia utilizada e a segunda reservada para a descrição completa das respostas obtidas a partir da aplicação do questionário descrito no Apêndice I. Já a terceira seção será reservada para um aprofundamento na análise da literatura científica por tipo de projeto, mais especificamente a “Q11” do Apêndice citado.

2.1 RESULTADOS

Os resultados da primeira e segunda fase podem ser observados na Figura 12.

Figura 12 - Sumário da seleção de documentos.



Fonte: elaboração do autor.

Os 63 documentos tratam da dinâmica do mercado de carbono voluntário no Brasil. Alguns citam os tipos de projetos, a abrangência geográfica, as emissoras utilizadas e outras informações. No quadro abaixo é possível observar a correlação entre as perguntas do espelho utilizado e a redação do item 2.2.

Quadro 8 - Relação entre a redação dos subitens 2.2 e as questões do Apêndice I.

Item	Questões Apêndice I
2.2.1 Data de publicação, autores e co-autores	Q1, Q4 a Q8
2.2.2 Palavras-chave	Q3

2.2.3 Fontes de financiamento	Q9
2.2.4 Caracterização dos créditos de carbono	Q10 a Q16
2.2.5 Benefícios e impactos socioambientais anunciados, deficiências, ineficiências e desafios dos projetos estudados	Q17 a Q21

2.1.1 Data de publicação, autores e co-autores

A distribuição temporal da publicação dos documentos selecionados pode ser observada na Figura 13. O menor e maior valor foram, respectivamente, 2 e 7 publicações selecionadas referente a um mesmo ano.

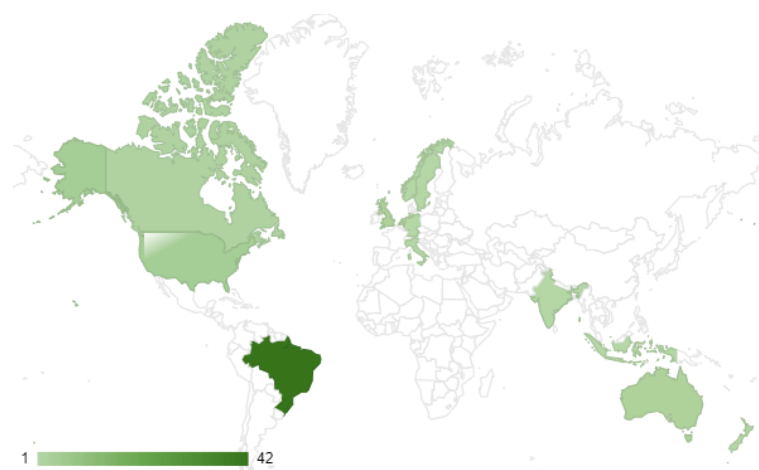
Figura 13 - Número de publicações selecionadas e seu respectivo ano de publicação.



Fonte: elaboração do autor.

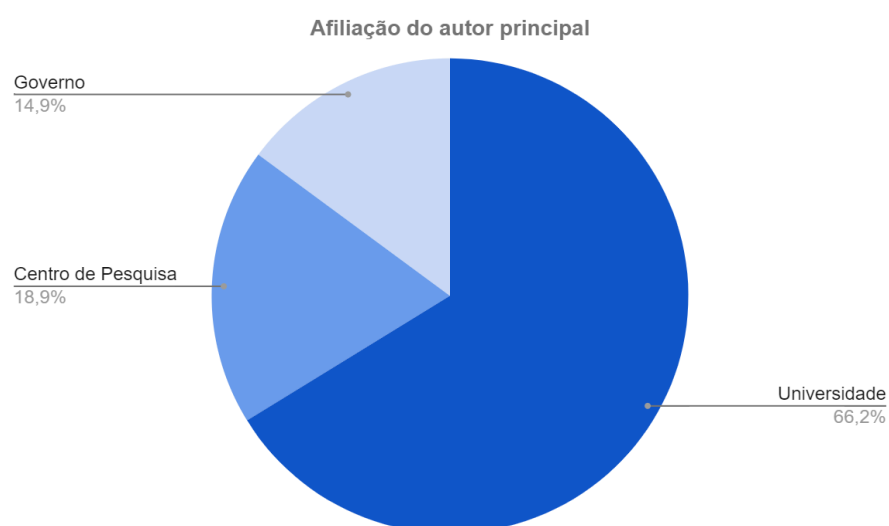
Todos os documentos apresentam primeiros autores distintos, menos cinco publicações que são de autoria de um mesmo pesquisador - o biólogo norte americano e radicado no Brasil, Philip M. Fearnside (Fearnside, 2011; 2013a; 2013b; 2014; 2015). Brasil, Estados Unidos, Austrália e Inglaterra representam 84% das publicações, sendo a maior parcela (67%), com autores principais brasileiros (Figura 14). Já sobre a afiliação institucional dos autores principais, a Universidade é a predominante, seguida pelos Centros de Pesquisa e Governo (Figura 15).

Figura 14 - Nacionalidade dos autores principais (número de autores por nacionalidade).



Fonte: elaboração do autor.

Figura 15 - Afiliação dos autores principais.



Fonte: elaboração do autor.

Ademais, sob a ótica das revistas de onde os documentos selecionados foram extraídos, as três principais editoras detêm 64% das publicações selecionadas (n=63). A Elsevier desponta com 28 publicações distribuídas em 18 periódicos, seguida da Springer com 5 periódicos e a MDPI com 3 (quadro 9).

Quadro 9 - Editoras e revistas dos artigos selecionados para revisão final. Fonte: elaboração do autor.

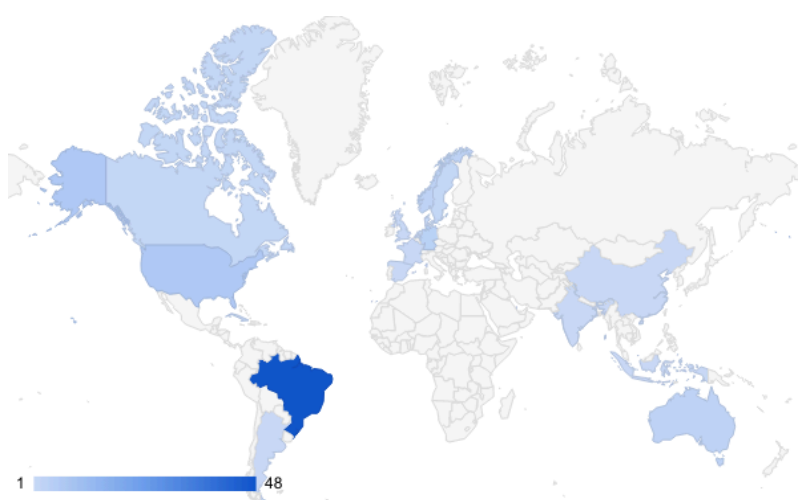
Nome	Periódico	Número de publicações
Elsevier	Cleaner Production	5
	Resources, Conservation and Recycling	3

	Renewable Energy	2
	Energy Conversion and Management	2
	Ecological Economics	2
	Land Use Policy	2
	Energy for Sustainable Development	1
	Forest Ecology and Management	1
	Environmental Management	1
	Energy	1
	Waste Management	1
	Applied Energy	1
	Forest Policy and Economics	1
	World Development	1
	Biomass and Bioenergy	1
	Ecological Indicators	1
	Computers and Chemical Engineering	1
	Environmental Technology & Innovation	1
Springer	Climatic Change	2
	Mitig Adapt Strateg Glob Change	1
	Clean Technologies and Environmental Policy	1
	Environment, Development and Sustainability	1
	Operations Research Proceedings	1
MDPI	Sustainability	4
	Energies	1
	Forests	1
John Wiley & Sons	Biofuels, Bioproducts & Biorefining	2
	Urban and Regional Research	1
	Antipode	1
SAGE Publications	Environment & Development	1
	Energy & Environment	1
Frontiers	Forests and Global Change	1
	Environmental Science	1
Macmillan Publishers	Nature Climate Change	2
Ciência Rural	-	1
Silva Fennica	The Finnish Society of Forest Science	1
Earthscan	Climate Policy	1
Blackwell Publishing	Global Ecology and Biogeography	1
Future Science	Carbon Management	1
The Italian Association of Chemical	Chemical Engineering Transactions	1

Engineering		
Plos One	-	1
Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação	Ecology Conservation	1
Revista Brasileira de Política Internacional	-	1
Emerald Publishing	Management Decision	1
Nativa, Sinop	Pesquisas Agrárias e Ambientais	1
Wiley Periodicals	Review of European, Comparative & International Environmental Law	1
CERNE	Forest Ecology	1

De 63 publicações, apenas 7 (11%) foram sem co-autoria, enquanto 89% (n=56) das publicações contaram com co-autoria de cientistas de 18 países (Figura 16). Nitidamente, o Brasil representa 60% dos co-autores, seguido pelos Estados Unidos (9%), Alemanha (5%), Austrália (4%) e Noruega (4%).

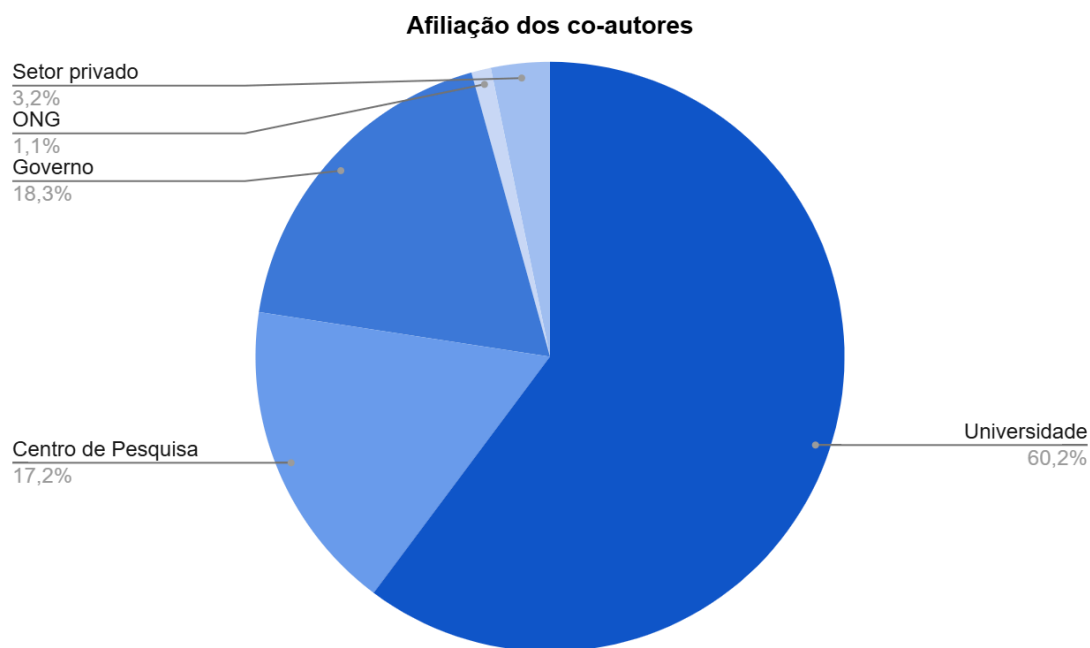
Figura 16 - Nacionalidade dos co-autores.



Fonte: elaboração do autor.

Já sobre a afiliação dos co-autores, observa-se um padrão semelhante ao dos autores, mantendo a predominância da Universidade, seguida pelos Centros de Pesquisa e Governo (Figura 17). A única diferença é uma tímida participação do setor privado (3,2%) e do terceiro setor (1,1%) entre as co-autorias. .

Figura 17 - Afiliação dos co-autores.

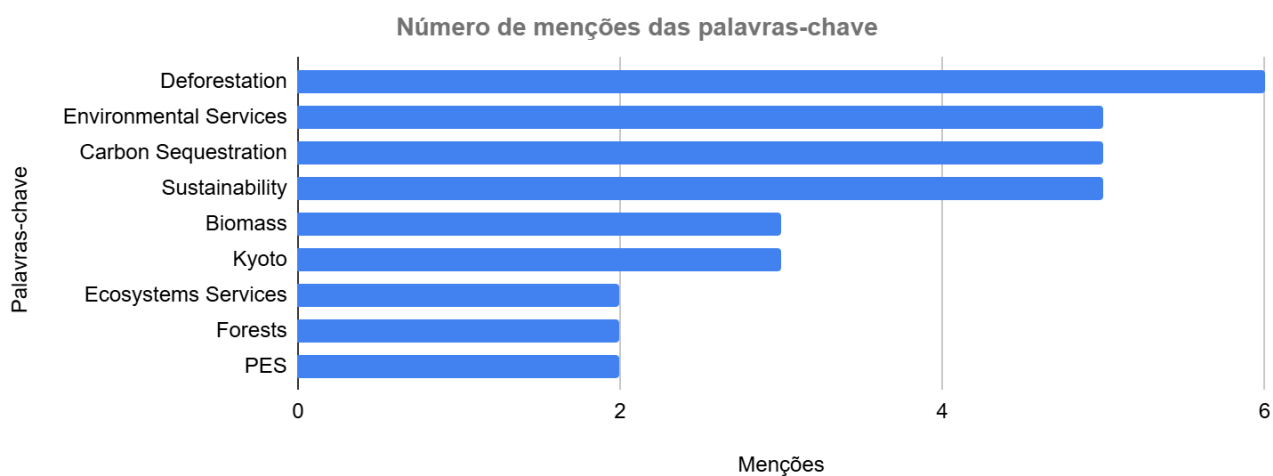


Fonte: elaboração do autor.

2.1.2 Palavras-chave

As dez palavras-chave mais mencionadas podem ser observadas na Figura 18.

Figura 18 - As nove palavras-chave mais citadas pelos artigos revisados. PES = Payment for Environmental Services.



Fonte: elaboração do autor.

Essas palavras retratam a centralidade da geração de créditos de carbono florestais na produção científica brasileira. A investigação sobre a mudança do Uso da Terra reforça a problemática do desmatamento, a mais relevante parcela das emissões brasileiras, e suas consequências, ou seja, as ameaças aos serviços ecossistêmicos derivadas desse processo. Além disso, é possível destacar o interesse da academia sobre o funcionamento das florestas, mais especificamente a quantificação de biomassa, cuja motivação torna-se clara na nuvem de palavras (Figura 19).

Figura 19 - Nuvem de palavras obtida a partir da análise das palavras-chave utilizadas nos documentos revisados.



Fonte: elaboração do autor.

Sobre a motivação para quantificação da biomassa, a partir da nuvem de palavras é possível verificar o interesse da academia brasileira na compreensão do processo de sequestro de carbono, tanto na capacidade de armazenamento de carbono na vegetação quanto no solo. Além disso, também analisam a biomassa que compõem o ciclo produtivo de biocombustíveis e seus impactos na redução de emissões.

Em paralelo, a academia demonstra interesse nos impactos socioambientais dos projetos, além de analisar a participação do Brasil no MDL (na nuvem aparece a sua sigla em inglês, CDM). Não obstante, Quioto se destaca devido à contribuição do Protocolo que leva seu nome e pavimentou o caminho para o comércio de emissões.

De forma periférica, mas não menos importante, constata-se a representação de projetos relacionados com a gestão de resíduos, como a avaliação do ciclo de vida (na nuvem aparece a sigla

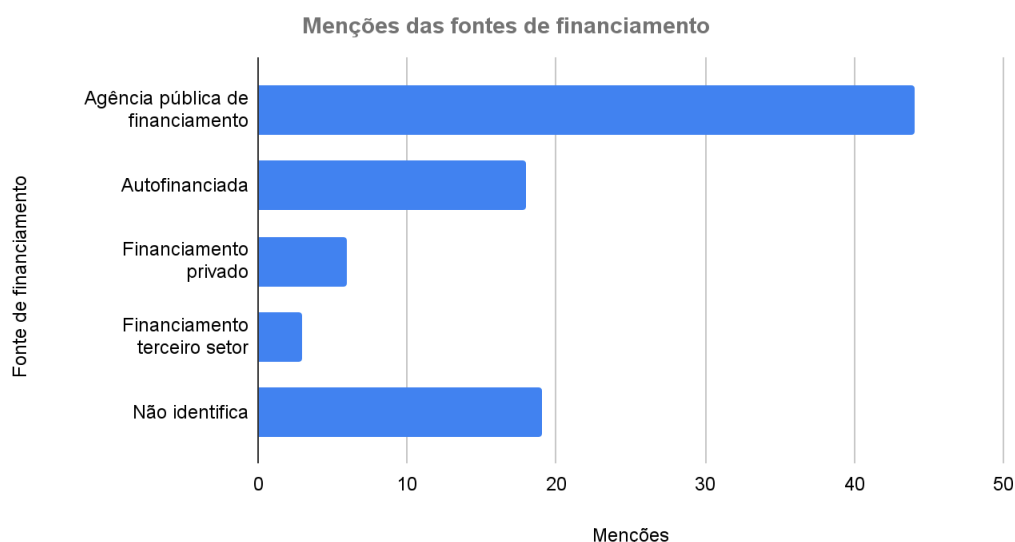
em inglês LCA, i.e, Life Cycle Assessment) e sistemas de Resíduos-para-Energia (na nuvem aparece a sua sigla em inglês WTE, i.e, Waste-to-Energy).

Finalmente, o programa RenovaBio também atraiu a atenção dos cientistas brasileiros, não só por tratar sobre uma política pública que apoia o Brasil no cumprimento da sua NDC através da geração de créditos de descarbonização, mas também devido aos impactos econômicos significativos no ciclo produtivo do biocombustível brasileiro.

2.1.3 Fontes de financiamento

Dentro do universo de publicações selecionadas (n=63), 70% (n=44) foram financiadas de alguma forma e 30% (n=19) não identificaram qualquer tipo de financiamento. Dentro do primeiro grupo (n=44), todas contaram com apoio de agências públicas de financiamento e 18 publicações foram autofinanciadas. Além disso, apenas seis publicações contaram com financiamento do setor privado (Leme et al., 2014; Luz et al., 2015; Aba et al., 2022; Petrielli et al., 2023; Guimarães et al., 2023 e Deuber et al., 2023) e três com financiamento do terceiro setor (Deuber et al., 2023; Telles et al., 2023 e Morales et al., 2023) (Figura 20). Vale destacar que o fluxo financeiro privado para essa área de pesquisa parece ter ganhado tração apenas nos últimos anos, com base na data das publicações financiadas pelo primeiro e terceiro setor.

Figura 20 - Fontes de financiamento das publicações selecionadas.



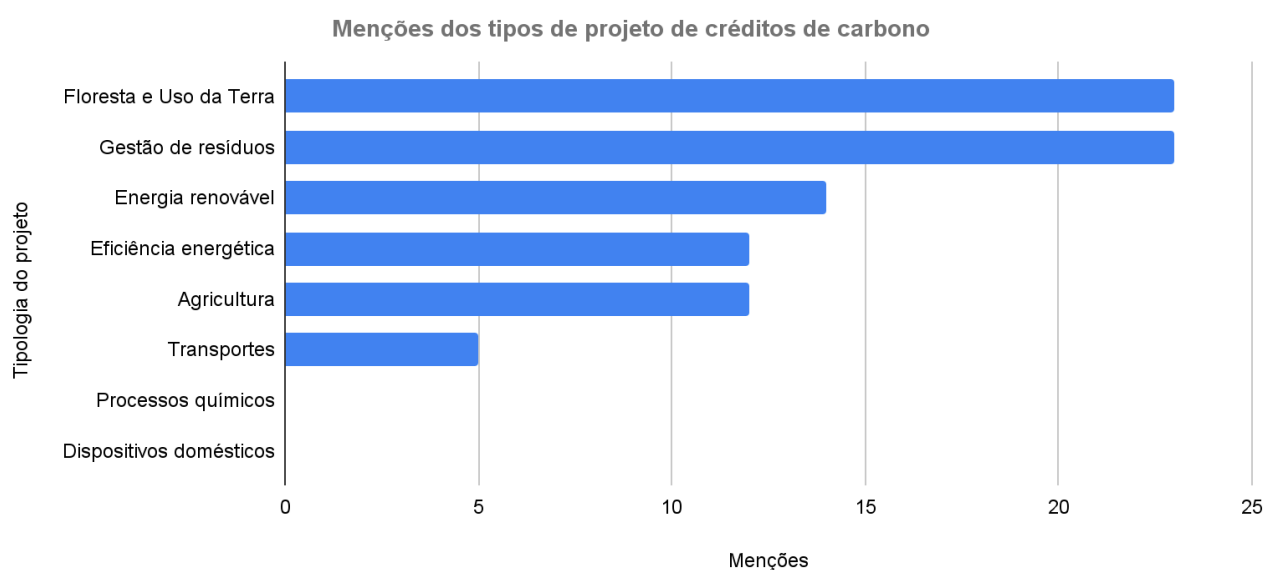
Fonte: elaboração do autor.

Diante do exposto, vale ressaltar que nenhuma publicação declarou financiamento de empresas emissoras. Sendo assim, não há evidências de conflito de interesses ou vieses entre fomento e pesquisa, sugerindo que a temas ou projetos do seu próprio interesse, sem grandes interferências mercadológicas ou institucionais.

2.1.4 Caracterização dos créditos de carbono

Sobre os detalhes dos créditos de carbono, a maior parte dos artigos (n=57) tratou sobre créditos a serem emitidos, ou seja, avaliou o potencial de alguma atividade que pode gerar créditos. Apenas quinze publicações trataram sobre créditos já emitidos e três artigos (Giraçol et al., 2011; Telles et al., 2023; Mesquita et al., 2023) tratam sobre as oportunidades que poderiam ser aproveitadas, mas não foram, ou seja, os créditos estudados em um determinado período de tempo foram perdidos. Esses resultados desafiam a abordagem elaborada no início da pesquisa, uma vez que a expectativa era ter acesso a mais estudos sobre projetos que já emitiram créditos, mas isso não se confirmou. Portanto, a presente pesquisa buscou padrões, semelhanças e diferenças nas abordagens dos autores em relação a cada tipo de projeto. Para classificar os projetos por tipologia, utilizou-se a categorização conforme o Ecosystem Marketplace (2018) e ordenado por ordem decrescente de número de publicações na Figura 21.

Figura 21 - categoria dos projetos analisados nas publicações selecionadas.



Fonte: elaboração do autor.

A produção científica sobre créditos de carbono no contexto brasileiro demonstrou grande interesse em projetos de Floresta e Uso da Terra e Gestão de Resíduos. Juntos, representaram 76% das publicações. No primeiro caso, provavelmente pela vocação natural para projetos de emissão evitada e reflorestamento nos cinco importantes biomas distribuídos no grande território brasileiro para emitir créditos dessa natureza.

Dentre os 23 documentos sobre esta tipologia, a maior parte (63%) abordou projetos de REDD+ e a outra parte (37%) discutiu sobre projetos de reflorestamento. No caso dos da Gestão de Resíduos, não só envolveram projetos em aterros sanitários e queima do metano para produção de

energia elétrica, mas principalmente sobre a possibilidade de gerar biocombustível a partir de óleo de cozinha utilizado nos centros urbanos. O terceiro tipo de projeto mais frequente foi sobre Energia Renovável, com grande ênfase no uso de biomassa.

Na sequência, destacam-se os projetos de Eficiência Energética / Substituição de Combustível, sobretudo a partir do uso de biocombustível e, de forma periférica, a substituição do carvão mineral pelo carvão vegetal. O quinto tipo de projeto mais citado pelos autores trata sobre Agricultura, variando entre projetos baseados em resíduo agrícola da cana de açúcar (Fairbairn et al., 2010; Moraes et al., 2013; Souza et al., 2018; Oliveira et al., 2019), silvicultura (Venturoli et al., 2015; Medeiros et al., 2020; Souza et al., 2023; Morales et al., 2023) e produção do óleo de macaúba (Salvador et al., 2022).

O último tema abordado foram os projetos de Transporte, sobretudo relativos ao transporte aéreo a partir da corrida tecnológica em torno do Combustível Sustentável da Aviação (Guimarães et al., 2023; Deuber et al., 2023) e uso de biodiesel em frotas de ônibus (Silva Filho et al., 2014). Finalmente, nenhuma publicação abordou projetos de Processos Químicos/Produção Industrial e Dispositivos Comunitários.

Em relação à classificação territorial no qual os projetos são implementados, o que mais se destacou foi o contexto rural, presente na metade dos documentos. Já o contexto urbano apareceu em 30% e o contexto natural em apenas 20%. Esses resultados preliminares já indicam a amplitude dos projetos que dão origem aos créditos de carbono, ou seja, estão presentes desde centros urbanos até em ambientes naturais, sendo a maior parte focada no contexto rural (Figura 22).

Figura 22 - Classificação territorial dos projetos.



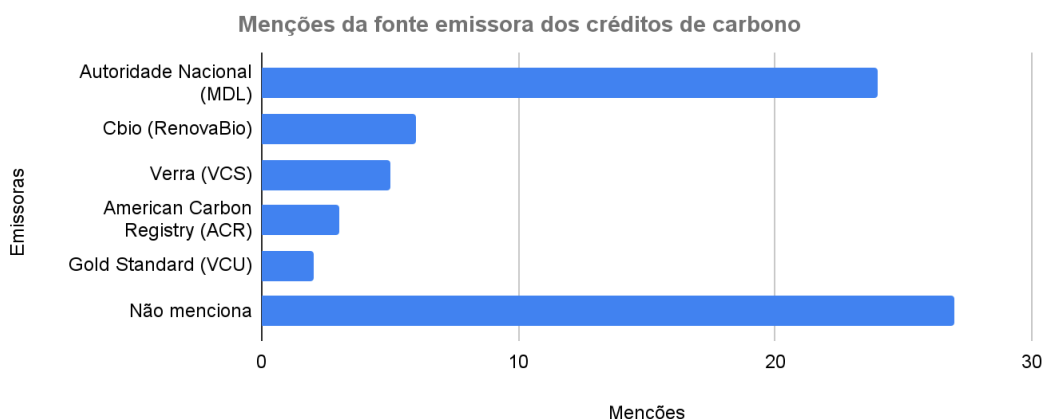
Fonte: elaboração do autor.

Cerca de 40% (n=25) das publicações não mencionam qual a fonte emissora dos créditos de carbono ou um mercado preferencial para a comercialização do crédito (Figura 23), refletindo, uma tendência importante de publicações com análises mais teóricas sobre a geração de créditos de carbono, descontextualizada de mercados preferenciais.

Ao olhar para as emissoras dos créditos de carbono citadas nos documentos, a maior parte das publicações (n=28) tratam para créditos gerados fora do mercado voluntário, sobretudo através do MDL e do Programa RenovaBio. Por outro lado, os créditos emitidos por certificadoras, normalmente comercializadas no mercado voluntário, representam apenas 15% (n=10) dos documentos revisados (Figura 23).

Essa discrepância pode ser explicada devido ao fato dos projetos do MDL terem surgido dentro de um mercado regulado internacional, no âmbito da ONU, antes de 2010. Já o mercado voluntário passou a ganhar uma musculatura mais robusta a partir de 2018 e não contam com grandes incentivos para suas publicações, vide as fontes de financiamento descritas no item 2.1.3.

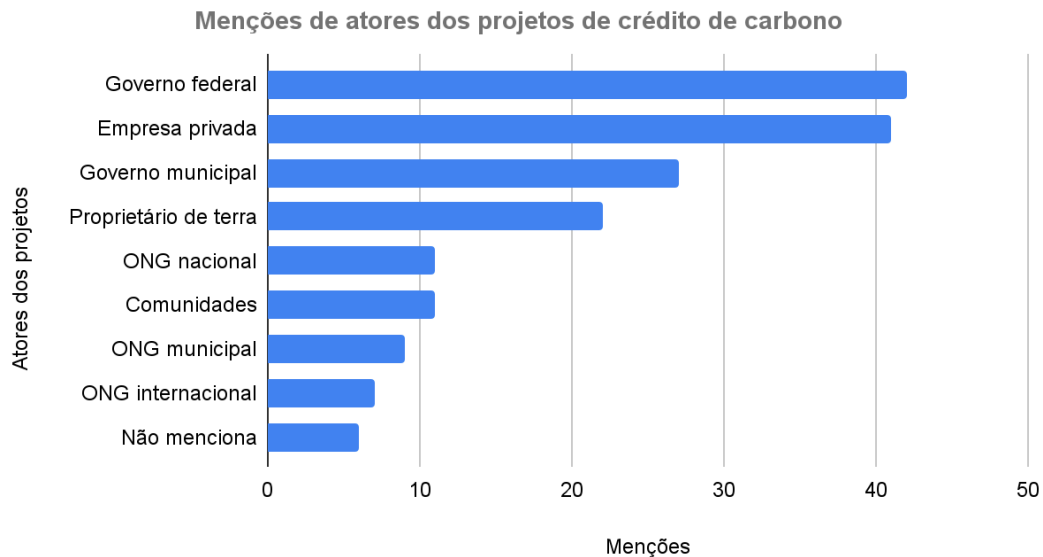
Figura 23 - Certificadoras dos créditos de carbono.



Fonte: elaboração do autor.

Conforme exposto na seção 1.3.3.1, os créditos de carbono gerados no mercado voluntário brasileiro são predominantemente emitidos pela Verra (VCS) com uma tímida participação da Gold Standard (VCU). Já no contexto global, 96% do mercado voluntário é dominado por essas duas certificadoras e o American Carbon Registry (ACR) (Vargas et al., 2021; Climate Focus, 2022). No que diz respeito à governança dos projetos de créditos de carbono, uma perspectiva abordada pelas publicações é a participação dos diferentes atores (Figura 24).

Figura 24 - Menções dos stakeholders dos projetos.



Fonte: elaboração do autor.

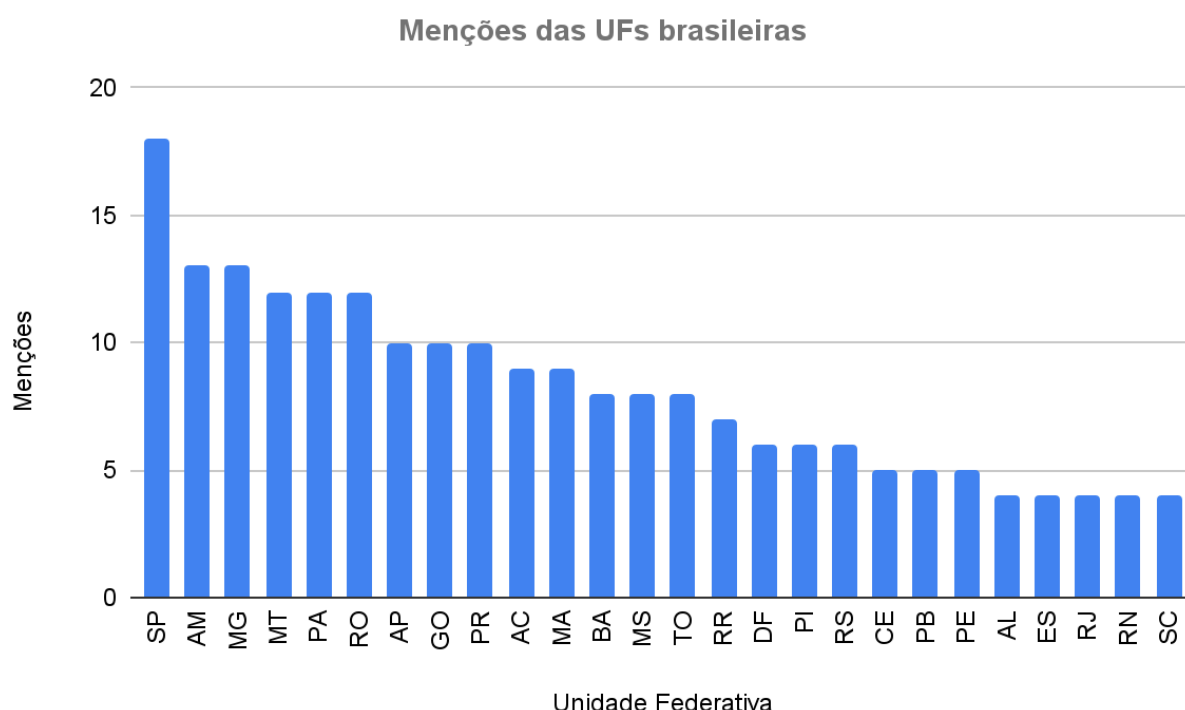
Considerando que a maior parte das publicações trata sobre créditos de carbono no âmbito do mercado regulado, é natural que o Governo Federal apareça em destaque. Em termos de citação, tão importante quanto este ator, são as empresas privadas, uma vez que figuram como demandantes ou responsáveis pela aquisição dos créditos de carbono. Em quase metade das publicações também foi discutido o envolvimento do governo municipal, refletindo uma necessidade de coordenação pública em diferentes níveis para a operacionalização deste tipo de mercado.

Por um lado, quase um terço das publicações trataram sobre a participação de proprietários de terra (pessoa física) na geração de créditos de carbono, sobretudo no recorte territorial mais abordado (rural). Afinal, esse processo está intrinsecamente relacionado à questão fundiária, sendo impossível gerar créditos de carbono sem estar vinculado a uma propriedade. De forma periférica aparecem o terceiro setor e as Comunidades Tradicionais e, nas poucas aparições, os autores discutem o risco quanto à falta de envolvimento desses dois grupos no planejamento de projetos de créditos de carbono, comprometendo o atingimento de benefícios sociais para além dos benefícios climáticos anunciados.

Por outro lado, cerca de 10% das publicações não citaram qualquer ator, ou seja, contribuíram para a discussão de forma teórica, sem qualquer menção aos atores envolvidos na governança dos projetos. Por fim, também foi analisada a distribuição dos projetos por região a partir de duas abordagens, uma a nível global e outra a nível federativo no Brasil (Figura 25).

Por definição já apresentada, “Brasil” foi uma das palavras-chave eleita e, naturalmente, a América do Sul esteve presente em todos os documentos selecionados para revisão final. Tirando isso, considerando que algumas publicações apresentam análises comparativas entre regiões do mundo (Unnikrishnan e Singh, 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Toledo et al., 2012; Sonter et al., 2015; Hoff et al., 2015; Ickowitz et al., 2017; Schindler e Kanai, 2018; Souza et al., 2018; Gonçalves e Anselmi, 2019; Horn, 2023), o único continente que se destacou, com sete menções (11%), foi a Ásia, sobretudo pela sua notável participação no MDL e a predominância deste assunto no universo de documentos revisados. Residualmente, os outros continentes foram citados, em média, em menos de 3% das publicações.

Figura 25 - Número de menções das Unidades Federativas do Brasil.



Fonte: elaboração do autor.

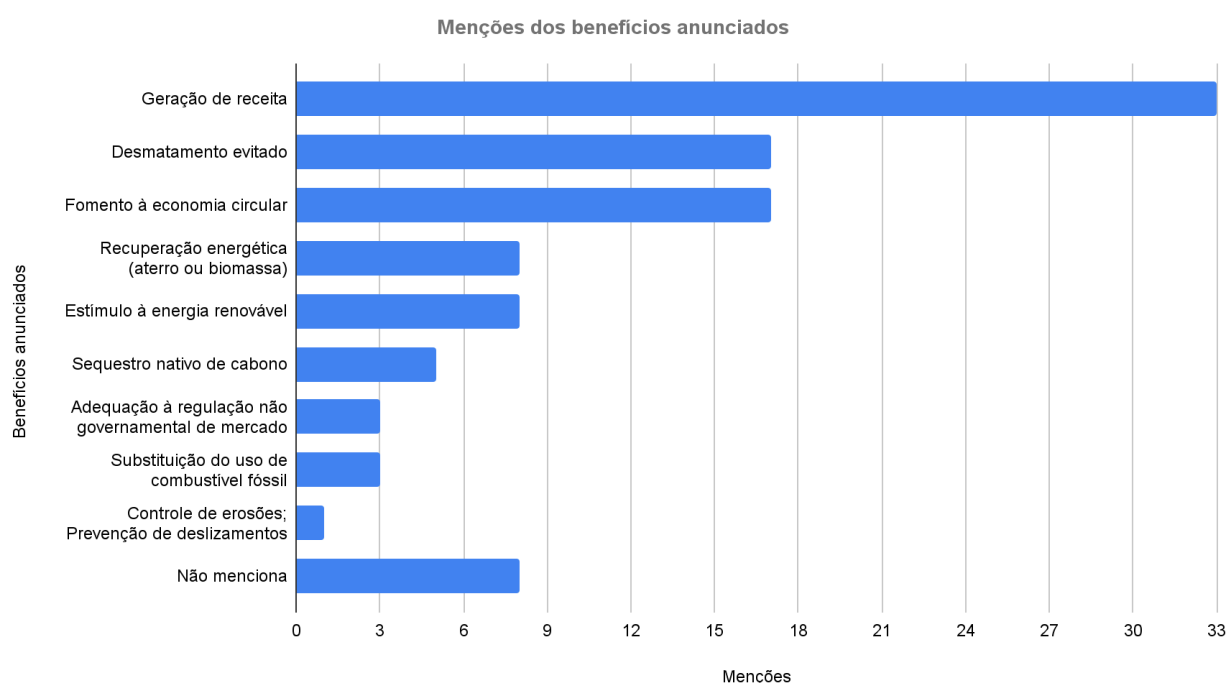
Referenciando o exposto no item 1.3.3.1, a região sudeste lidera o número de menções devido ao grande número de projetos já realizados e à forte presença de autores vinculados à Universidades e centros de pesquisa de São Paulo e Minas Gerais. Além disso, é possível observar um interesse por projetos de créditos de carbono nos estados Amazônicos. As regiões brasileiras menos citadas foram o sul e o nordeste.

2.1.5 Benefícios e impactos socioambientais positivos anunciados, deficiências, ineficiências e desafios dos projetos estudados

2.1.5.1 Benefícios e impactos socioambientais positivos anunciados

Entende-se os benefícios anunciados como aqueles comunicados ou esperados pelos autores das publicações e/ou indicados pelos desenvolvedores dos projetos em análise. É importante ressaltar que não significa que eles foram alcançados, o que também vale para os impactos socioambientais, ainda mais porque a maior parte dos estudos apreciou cenários prévios à implementação dos projetos. Os principais benefícios e o número de menções sobre cada um podem ser observados na Figura 26.

Figura 26 - Número de menções de cada benefício anunciado.



Fonte: Elaboração do autor.

O principal benefício anunciado está relacionado com a potencial geração de receita derivada da comercialização dos créditos de carbono. Inicialmente este benefício havia sido incluído nos impactos socioambientais sob a redação “geração de renda”, esperando que os trabalhos destacassem o impacto econômico nas comunidades locais. Entretanto, após a leitura dos documentos selecionados, houve a necessidade de alterar a redação, uma vez que os autores estavam mais interessados em analisar a viabilidade econômica dos projetos do que na geração de renda para comunidades locais.

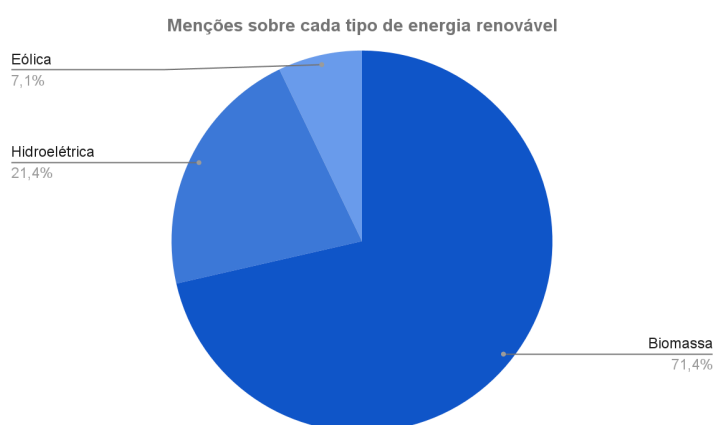
Além disso, considerando o exposto no item 2.2.4, a principal tipologia de projeto abordada pelos documentos revisados foi Floresta e Uso da Terra, o que fundamenta a segunda posição, em termos de número de publicações, do benefício “desmatamento evitado”, o pilar central do conceito de REDD+.

Curiosamente, empatado na segunda posição, destaque para a intersecção entre projetos de créditos de carbono e o estímulo à economia circular, buscando possibilidades para reaproveitamento de resíduos, seja a nível urbano, industrial ou rural. No primeiro caso, muitos estudos analisaram ou projetaram o aproveitamento energético dos resíduos gerados nos centros urbanos, sobretudo a produção de biodiesel a partir do reaproveitamento de óleo de cozinha (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2014; Silva Filho et al., 2018; Santana et al., 2021).

Já no segundo caso, as publicações trataram, principalmente, sobre as possibilidades de reutilização dos rejeitos da cana de açúcar, como o reaproveitamento da vinhaça (Moraes et al., 2014; Araujo & Oliveira, 2020) e também do minério de ferro na produção de tijolos (Freitas et al., 2018). Finalmente, no contexto rural, foi analisada a possibilidade de reaproveitar os dejetos da suinocultura para geração de energia elétrica (Cirino et al., 2017; Pereira et al., 2022).

O segundo grande grupo de benefícios citados provém de projetos de recuperação energética a partir da biomassa ou aterros sanitários e da área de energia renovável, que também abordaram de forma significativa o uso da biomassa (Figura 27). Vale ressaltar que as publicações relativas às hidrelétricas (Fearnside, 2012; Fearnside, 2013; Fearnside, 2015) e à produção de energia eólica (Aquila et al., 2016) são mono autorais.

Figura 27 - Energias renováveis abordadas pela recorte da presente pesquisa no contexto do mercado voluntário de carbono (n=14).



Fonte: elaboração do autor.

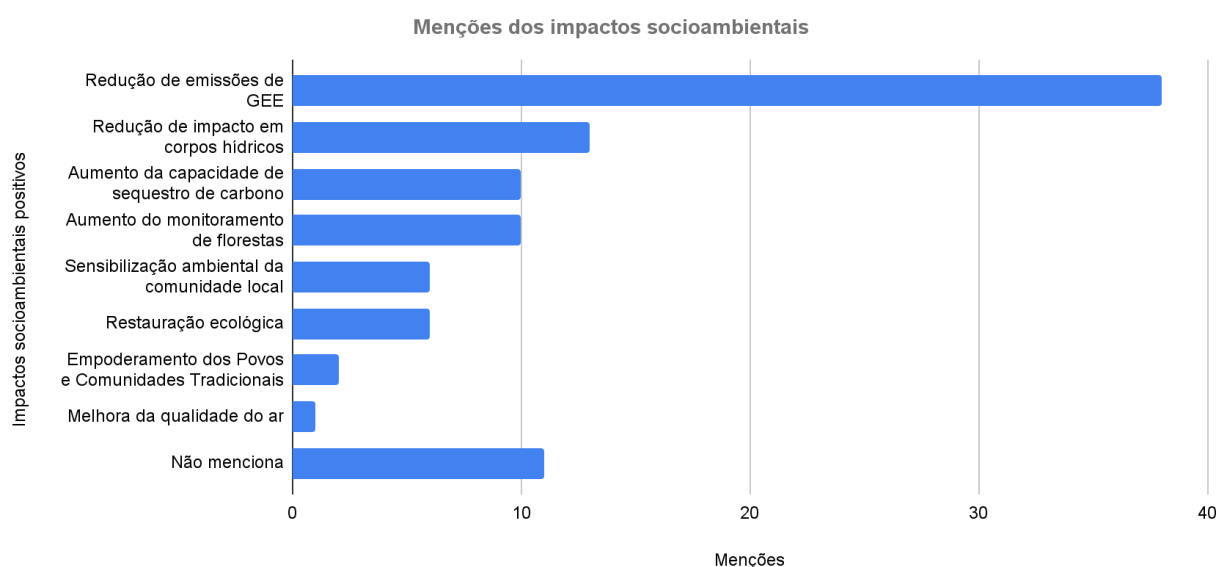
Em um número equivalente, existem as publicações que não mencionaram nenhum tipo de benefício climático anunciado ou esperado, uma vez que apresentam uma discussão mais teórica ou

técnica que está dentro da agenda climática, mas sem o olhar específico para a elaboração de projetos de crédito de carbono.

De forma periférica, os estudos também abordam projetos que valorizam espécies de plantas nativas para sequestro de carbono (Mello et al., 2012; Toledo et al., 2012; Moraes Junior et al., 2019; Souza et al., 2023), adequação à regulamentação não-governamental (sobretudo vinculado ao CORSIA¹), alternativas para diminuição do consumo de combustível fóssil (Moraes et al., 2022; Petrielli et al., 2023; Guimarães et al., 2023) e controle de erosões a partir da restauração de estoques de carbono próximos às rodovias (Fernandes et al., 2018).

Já sobre os impactos socioambientais positivos anunciados e o número de menções sobre cada um podem ser observados na Figura 28.

Figura 28 - Impactos socioambientais positivos abordados pela academia no contexto do mercado voluntário de carbono.



Fonte: elaboração do autor.

Nitidamente a redução de emissões de GEE foi o impacto positivo mais citado, resultado esperado por ser o objetivo central da geração de créditos de carbono. A pesquisa científica também demonstrou um interesse significativo na avaliação da capacidade dos projetos em gerar receita a partir da venda dos créditos de carbono.

Considerando que mais da metade das publicações revisadas abordaram essa temática, vale ressaltar que a receita gerada pela venda dos créditos de carbono foi tratada como algo periférico ou adicional, ou seja, em nenhuma publicação estimou a receita gerada a partir da possível venda dos créditos de carbono como uma parcela relevante para viabilização dos projetos.

¹ CORSIA - é o programa da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) para a redução e compensação de emissões de CO₂ provenientes dos voos internacionais. Seu objetivo é atingir o crescimento neutro de carbono, ou seja, que as emissões sejam estabilizadas nos níveis observados em 2020, sem comprometer o crescimento do setor (ANAC, 2024).

Outro fato que deve ser ressaltado é a ausência de estudos sobre projetos que gerem renda para comunidades locais. Todas as publicações abordam a geração de renda como um ativo para aumentar a rentabilidade ou reduzir o custo de implementação de um projeto. O terceiro impacto mais citado está relacionado com parte dos projetos que tratam sobre gestão de resíduos e a consequente redução esperada do impacto nos corpos hídricos.

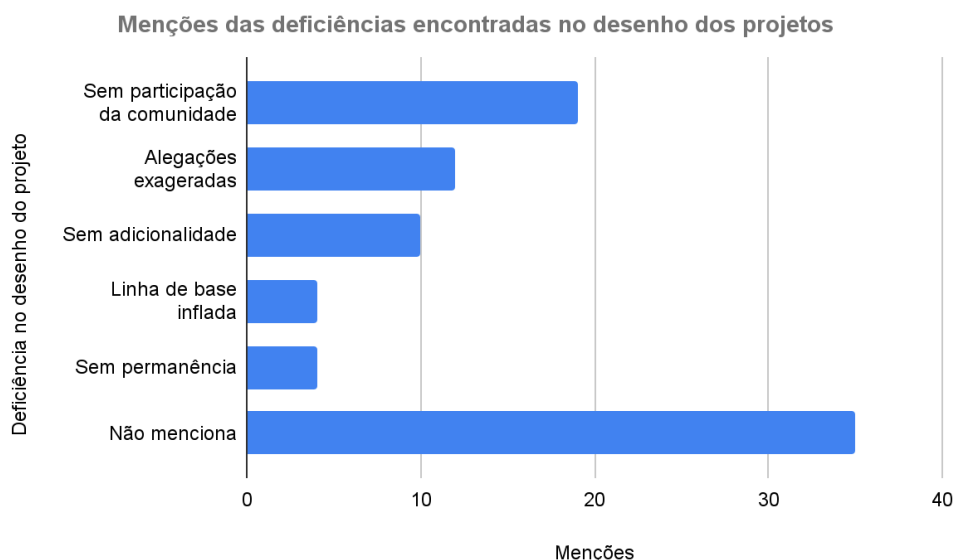
Uma parcela significativa das publicações (n=22) não abordaram qualquer tipo de impacto socioambiental dos projetos, reforçando o foco das pesquisas no aspecto técnico dos projetos em si e/ou no potencial de mitigação, sem avançar na análise das externalidades socioambientais.

De forma adjacente, alguns impactos socioambientais dos projetos florestais foram destacados pela literatura, como o ganho da capacidade de sequestro de carbono (através do reflorestamento) ou o ganho em termos de governança da gestão da informação e a melhoria no monitoramento de florestas a partir do uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), fundamental para o MRV (Monitoramento, Reporte e Verificação) desses projetos.

2.1.5.2 Deficiências

Entende-se como deficiências os equívocos ou falhas cometidas na concepção do projeto, antes do projeto ser implementado. O número de menções das principais deficiências detectadas pode ser observado na Figura 29.

Figura 29 - Menções das deficiências encontradas no desenho dos projetos.



Fonte: elaboração do autor.

A abordagem da maior parte da literatura analisada não discute os possíveis problemas contidos durante a concepção dos projetos, basta observar o número de publicações que não abordam

qualquer tipo de deficiência dos projetos, representando mais da metade dos artigos revisados. Entre os que mencionam, a deficiência mais abordada, de fato, reforça um ponto crítico do mercado voluntário em torno de projetos florestais e de desmatamento evitado: a ausência da participação comunitária, seja no processo de elaboração dos projetos ou como parte beneficiária da comercialização dos créditos.

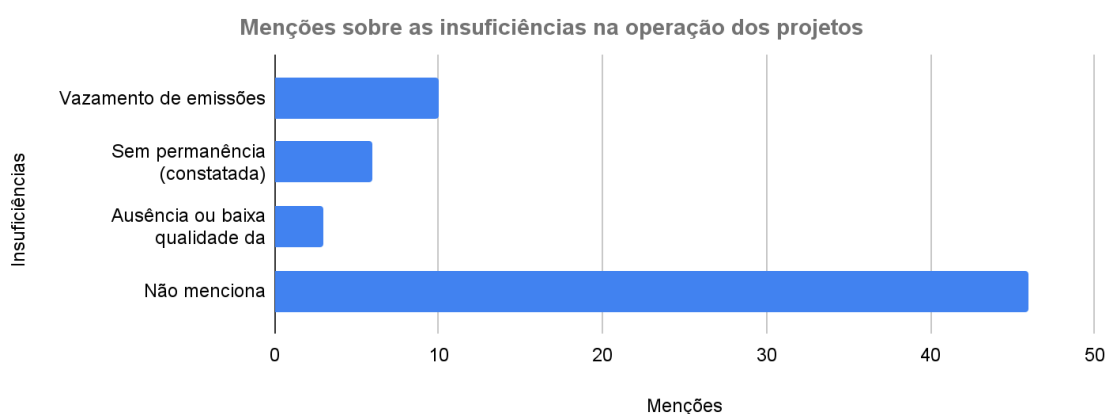
Diversos autores também reforçaram as alegações exageradas, principalmente no que tange à precificação da tonelada do carbono e a projeção superestimada da receita gerada na venda dos créditos. Ademais, alguns autores relacionaram projetos de hidrelétricas e REDD+ com a falta de adicionalidade (Pereira, 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Yanai et al., 2012; Fearnside, 2014; Hoff et al., 2015; Fearnside, 2015; Schindler e Kanai, 2018; Barbosa et al., 2021; Costemalle et al., 2023 e Horn, 2023).

Outros apontaram, de forma marginal, o estabelecimento de linha de base inflada e a ausência de permanência nos projetos estudados, sobretudo do tipo REDD+ (Amatayakul e Berndes, 2012; Fearnside, 2014; Hoff et al., 2015; Ickowitz et al., 2017; Pighinelli et al., 2017; Schindler e Kanai, 2018; Gonçalves e Anselmi, 2019 e Garcia et al., 2021).

2.1.5.3 Ineficiências

A presente pesquisa definiu ineficiência como os pontos frágeis observados na operacionalização do projeto. Considerando o exposto no início do item 2.2.4, uma pequena fração dos artigos analisados puderam, de fato, apontar esses gargalos (Figura 30).

Figura 30 - Menções sobre as insuficiências na operação dos projetos de créditos de carbono no Brasil.



Fonte: elaboração do autor.

A principal ineficiência abordada foi o vazamento de emissões dos projetos analisados, principalmente relativo à projetos na Amazônia, sobretudo REDD+ e hidrelétricas (Fearnside, 2011; Yanai et al., 2012; Fearnside, 2013b; Fearnside, 2015; Ickowitz et al., 2017; e Garcia et al., 2021),

além das críticas sobre o vazamento de emissões por desmatamento relativa à emissão de CERs no âmbito do MDL a partir do uso do carvão vegetal, especialmente na China (Sonter et al., 2015).

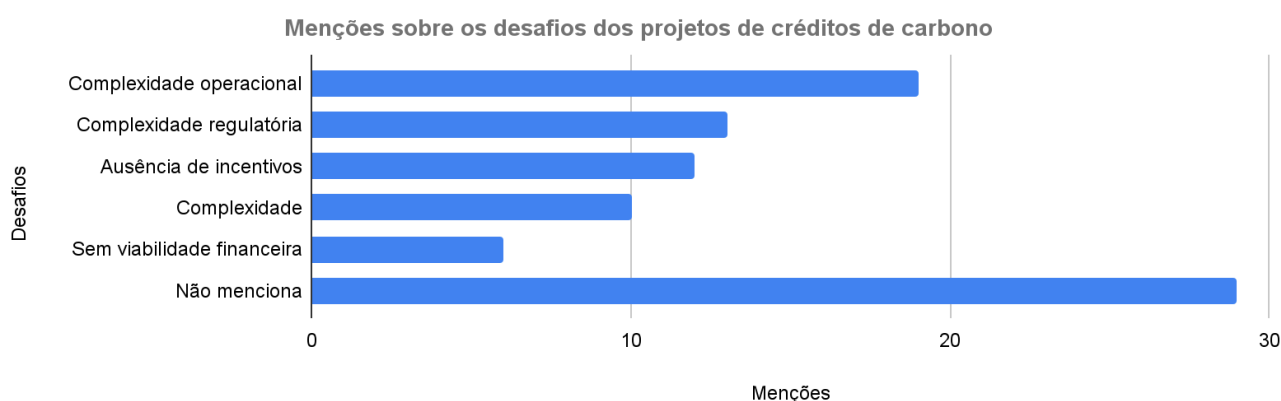
De forma tímida, a produção científica selecionada também discutiu sobre projetos sem permanência no âmbito do MDL, como o caso da hidrelétrica de Teles Pires e Santo Antônio (Fearnside, 2013b e Fearnside, 2015), e do CORSIA (Gonçalves e Anselmi, 2019).

Finalmente, foi encontrado mais um indicativo sobre a necessidade de realizar pesquisas sobre a ausência ou baixa qualidade da participação social nos projetos de créditos de carbono, uma vez que essa ineficiência foi debatida em menos de 5% das publicações revisadas (Unnikrishnan e Singh, 2010; Fearnside, 2014; e Ickowitz et al., 2017).

2.1.5.4 Desafios

Entende-se como desafios as barreiras mais amplas para implementação de projetos de créditos de carbono no Brasil. Os principais pontos discutidos pelos autores nas publicações revisadas podem ser observados na Figura 31.

Figura 31 - Menções sobre os desafios para implementação dos projetos de créditos de carbono no Brasil.



Fonte: elaboração do autor.

Quase metade das publicações não mencionou os desafios relativos à implementação dos projetos de créditos de carbono no Brasil, seja pela avaliação *ex-ante* dos autores ou pelo caráter teórico das publicações.

De qualquer forma, o desafio mais citado foi a complexidade operacional, uma vez que ela considera que as tecnologias necessárias para operacionalização do projeto são demasiadamente sofisticadas e/ou o número de atores envolvidos na cadeia de valor do projeto é grande e difícil de coordenar.

Ademais, a obtenção de recursos financeiros é um obstáculo significativo, uma vez que muitos projetos requerem investimentos iniciais substanciais e a volatilidade do preço da tonelada de carbono também desafia a garantia de retornos financeiros estáveis, como no caso descrito por

Balcazar et al. (2013) sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São José dos Campos ou na produção energia eólica abordado por Aquila et al. (2016).

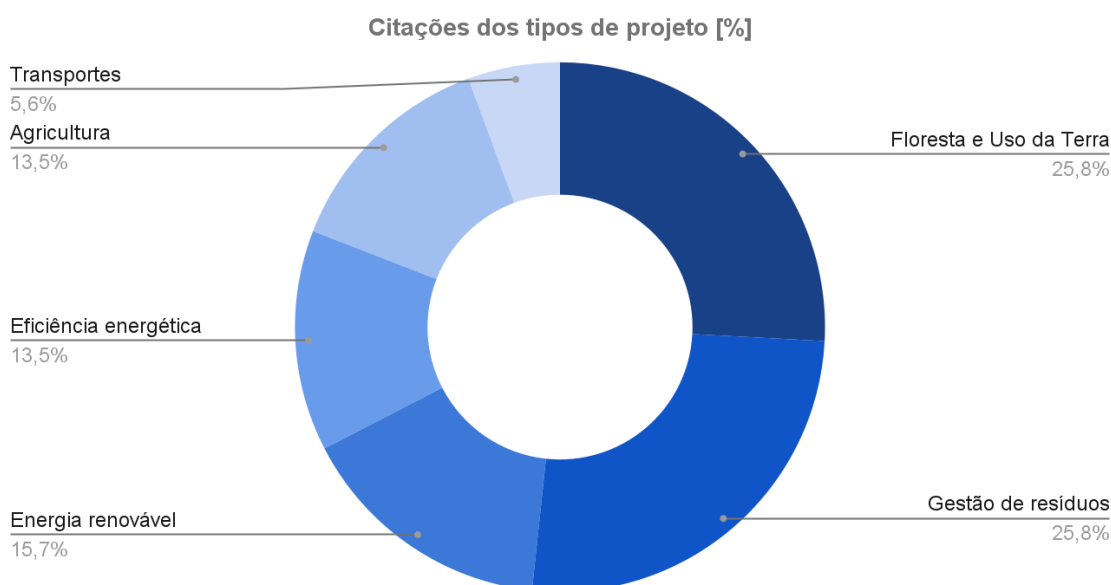
Há também a necessidade de monitoramento contínuo e verificação conforme as metodologias bastante técnicas propostas pelas certificadoras, conforme os projetos de REDD+ a serem implementados em regiões de alta floresta e baixo desmatamento explorados por Guadalupe et al. (2018) ou . Isso não só exige sistemas robustos como também profissionais qualificados para desenvolver e gerenciar os projetos de créditos de carbono.

2.2 ANÁLISE DA LITERATURA CIENTÍFICA POR TIPO DE PROJETO

Considerando que cada categoria de projeto de crédito de carbono apresenta a sua própria especificidade, a presente seção será dedicada para analisar as regiões e as universidades que tratam sobre cada categoria, além dos benefícios e impactos socioambientais anunciados, deficiências, ineficiência e desafios de cada uma.

Os projetos de Floresta e Uso da Terra e de Gestão de Resíduos receberam, igualmente, a maior atenção na literatura analisada. A posição e relevância de cada categoria podem ser observadas, em termos percentuais, na Figura 32. Vale ressaltar que a redação da presente seção será elaborada em ordem decrescente de relevância no universo de artigos , desde a tipologia de Florestas e Uso da Terra, até os projetos menos abordados, da tipologia transportes.

Figura 32 - Percentual dos tipos de projetos analisados nas publicações selecionadas (n=63).



Fonte: elaboração do autor.

2.2.1 Floresta e Uso da Terra

Esta categoria de projeto foi um objeto de pesquisa frequente, com um total de 24 publicações entre 2010 e 2023, sendo que 19 trataram exclusivamente, enquanto 5 em conjunto com outras tipologias: quatro publicações correlacionaram com projetos de Agricultura e uma publicação também tratou sobre Transporte. A evolução histórica das publicações sobre projetos desta natureza apresentou um comportamento irregular, oscilando anos de maior e menor número de trabalhos, com picos em 2012 e 2019 (Figura 33).

Figura 33 - Evolução histórica das menções de Floresta e Uso da Terra na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

Aproximadamente 65% dos autores principais das publicações sobre Floresta e Uso da Terra são brasileiros e o restante são da Inglaterra, Noruega, Alemanha, Austrália e Nova Zelândia. A afiliação dos autores principais pode ser observada no quadro 10.

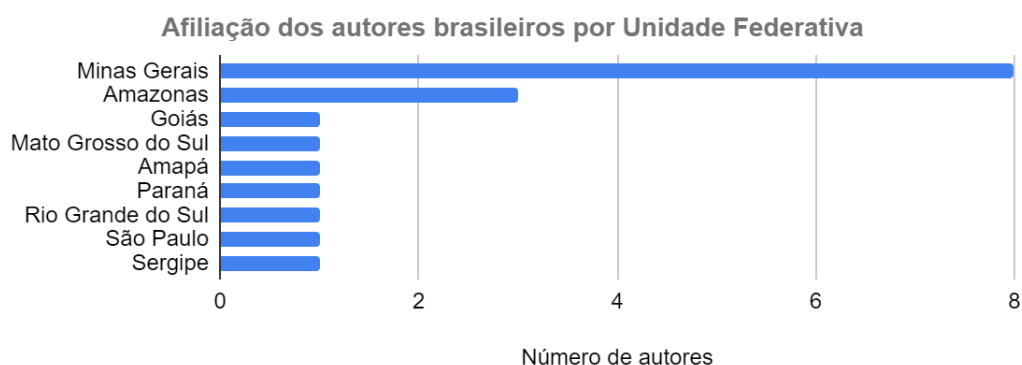
Quadro 10 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Floresta e Uso da Terra. Fonte: elaboração do autor.

Instituição	Número de publicações	%
Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia	3	12,5%
Universidade Federal de Viçosa	2	8,3%
Universidade Federal de Minas Gerais	2	8,3%
Universidade Federal de Sergipe	1	4,2%
Universidade Federal de Goiás	1	4,2%
Universidade de São Paulo	1	4,2%
Embrapa Amapá	1	4,2%
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	1	4,2%
Universidade Federal de Viçosa	1	4,2%
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	1	4,2%
Universidade Federal Juiz de Fora	1	4,2%
Embrapa Paraná	1	4,2%
Center for International Forestry Research	1	4,2%
University of Manchester	1	4,2%

University of London	1	4,2%
Norwegian University of Life Sciences	1	4,2%
University of Western Sydney	1	4,2%
London School of Economics and Political Science	1	4,2%
Scion New Zealand Forest Research Institute	1	4,2%
University of Humboldt	1	4,2%

Especificamente sobre a produção brasileira, autores vinculados a instituições em um total de 9 Unidades Federativas contribuíram para a pesquisa nessa temática (Figura 34). Metade dos estudos foram liderados por autores vinculados a instituições de Minas Gerais e outros 20% a instituições localizadas no estado do Amazonas, com destaque para o INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia).

Figura 34 - Unidade Federativa das instituições de afiliação dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Floresta e Uso da Terra.

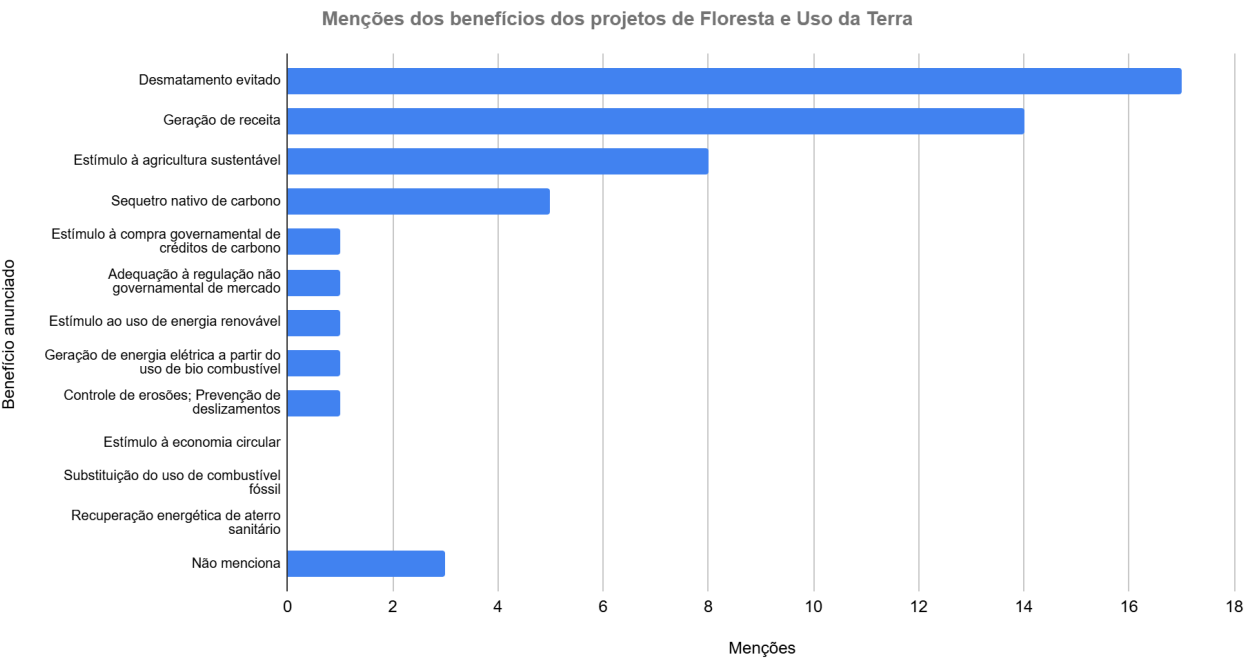


Fonte: elaboração do autor.

Já sobre o número de menções dos benefícios dos projetos de Floresta e Uso da Terra, o desmatamento evitado despontou na liderança (Pereira, 2010; Fearnside, 2011; Yanai et al., 2012; Ladd et al., 2013; Fearnside, 2013a; Hoff et al., 2015; Venturoli et al., 2015; Ickowitz et al., 2017; Salles et al., 2017; Guadalupe et al., 2018; Schindler e Kanai, 2018; Nantongo e Vatn, 2018; West et al., 2019; Hissa et al., 2019; Garcia et al., 2021; Costemalle et al., 2023 e Horn, 2023), seguido da geração de receita (Pereira, 2010; Fearnside, 2011; Toledo et al., 2012; Fearnside, 2013a; Venturoli et al., 2015; Guadalupe et al., 2018; Gonçalves e Anselmi, 2019; Medeiros et al., 2020; Barbosa et al., 2021; Garcia et al., 2021; Souza et al., 2023 e Horn, 2023). Em terceiro, Figura o estímulo à agricultura sustentável (Fearnside, 2011; Ladd et al., 2013; Salles et al., 2017; Souza et al., 2023 e Morales et al., 2023), como a proposta de manejo florestal no Cerrado como alternativa para conservar e lucrar explorado por Venturoli et al. (2015) ou a otimização do uso da terra a partir do

uso de programação multiobjetiva proposta por Medeiros et al. (2020). Alguns trabalhos se dedicaram à análise de espécies nativas e ao cálculo da capacidade de sequestro de carbono a partir da biomassa (Mello et al., 2012; Toledo et al., 2012; Moraes Junior et al., 2018; Barbosa et al., 2021 e Souza et al., 2023) (Figura 35).

Figura 35 - Menções dos benefícios dos projetos de Floresta e Uso da Terra.

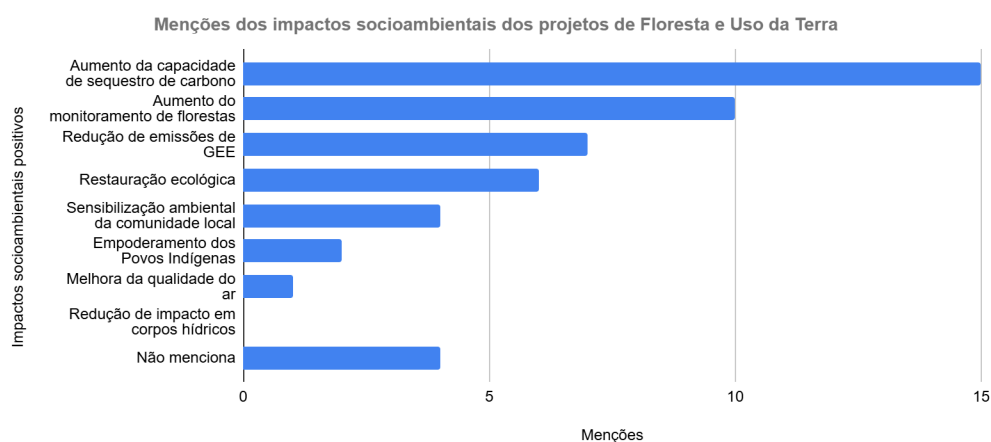


Fonte: elaboração do autor.

Considerando a menção dos impactos socioambientais esperados ou anunciados em relação aos projetos dessa categoria, retratados na Figura 36, vale destacar o aumento da capacidade de sequestro de carbono, o aumento do monitoramento das florestas a partir das metodologias utilizadas pelas certificadoras e a consequente redução de emissões de GEE. Considerando que 70% das publicações sobre esta categoria (n=24) abordaram o REDD+, é importante ressaltar que poucos autores trataram sobre a sensibilização ambiental das comunidades locais ou sobre o empoderamento

dos Povos Indígenas, reforçando a necessidade da comunidade científica em contribuir para esses gargalos que já eram previstos há muitos anos (Pereira, 2010) e ainda se fazem presentes.

Figura 36 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Floresta e Uso da Terra.



Fonte: elaboração do autor.

Considerando as deficiências apontadas pelos autores na etapa de elaboração dos projetos de Floresta e Uso da Terra, a maior parte das publicações não menciona essas deficiências. Entretanto, vale ressaltar que a maior deficiência citada foi a ausência da participação da comunidade local, seguida pela crítica em relação à falta de adicionalidade dos projetos. De forma periférica, alguns autores também apontam para a ausência de permanência, alegações exageradas e linha de base inflada (Figura 37).

Figura 37 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Floresta e Uso da Terra.

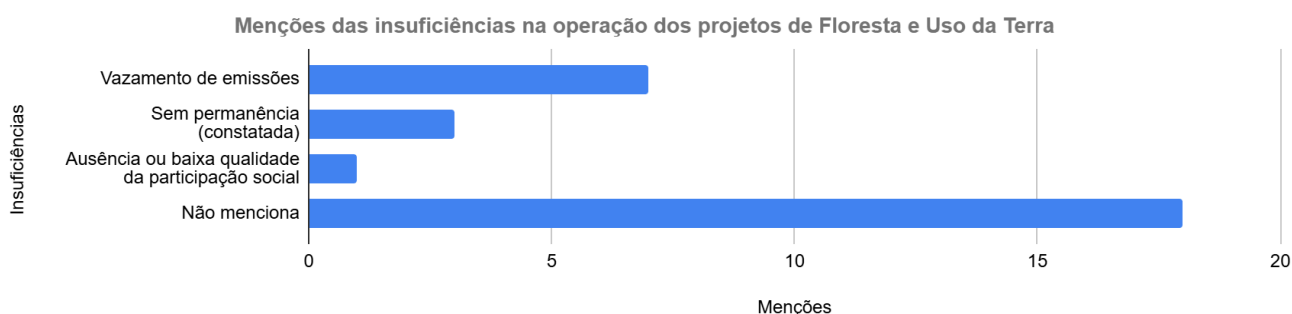


Fonte: elaboração do autor.

Além disso, também foram registradas as ineficiências na operação dos projetos de Floresta e Uso da Terra, mesmo que a menor parte das publicações tenham feito análises *ex-post*, o que justifica o fato da maioria das publicações não mencionar estas ineficiências. De qualquer forma, vale

ressaltar que a maior crítica da academia em relação a essa categoria de projeto é o risco de vazamento de emissões, seguido pela constatação da ausência de permanência (Figura 38).

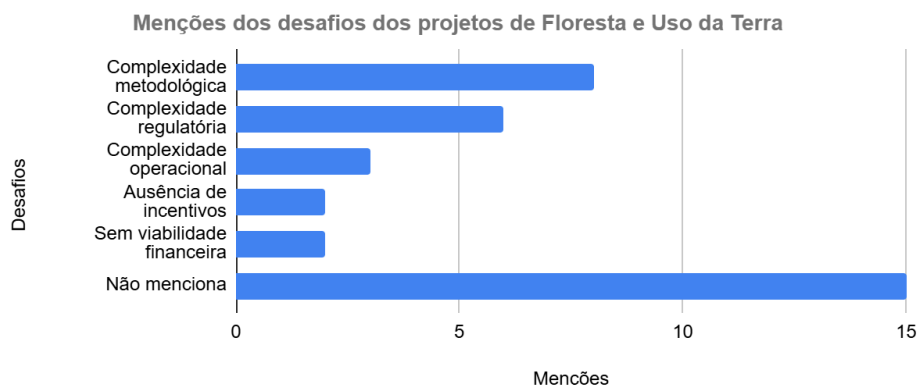
Figura 38 - Menções das insuficiências na operação dos projetos de Floresta e Uso da Terra.



Fonte: elaboração do autor.

Finalmente, também foram registradas as menções dos principais desafios mais amplos dos projetos de Floresta e Uso da Terra (Figura 39). Da mesma forma que foi descrita no item anterior, a maior parte das publicações não mencionou os desafios. De qualquer maneira, a academia destacou a complexidade metodológica, sobretudo diante do processo de amadurecimento e atualizações dos sistemas de monitoramento das certificadoras independentes. Ademais, também é necessário destacar, sob a perspectiva do recorte do presente estudo em relação à produção acadêmica, o impacto da falta de regulação (ou de maturidade, quando existe) deste tipo de projeto, o que resulta em uma barreira significativa para os interessados em implementar projetos dessa natureza.

Figura 39 - Menções dos desafios dos projetos de Floresta e Uso da Terra.



Fonte: elaboração do autor.

2.2.2 Gestão de Resíduos

No período analisado, a revisão integrativa da literatura encontrou 23 trabalhos sobre projetos de gestão de resíduos. Destes, apenas 35% tratou exclusivamente sobre Gestão de Resíduos. Entre os que combinaram a análise com outras tipologias de projeto, estão projetos de energia renovável (35%) e agricultura (22%). A evolução histórica das publicações desta categoria de projeto

não mostrou uma tendência clara, oscilando entre anos com mais e menos publicações, com picos em 2013 e 2018, como pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 - Evolução histórica das publicações sobre projetos da tipologia de Gestão de Resíduos na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

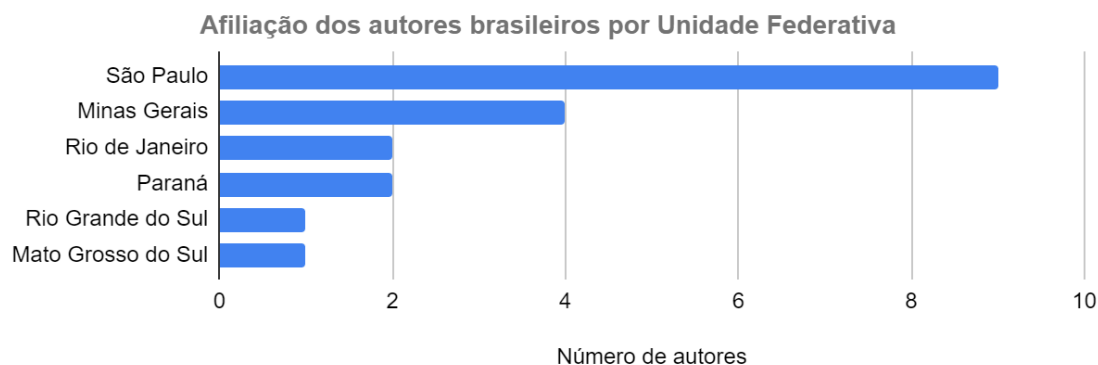
Aproximadamente 80% (n=23) dos autores principais das publicações sobre Gestão de Resíduos são brasileiros e o restante são do Canadá, Inglaterra, Suécia e Índia (quadro 11). Embora a produção científica esteja pulverizada entre diversos centros de pesquisa, destaca-se a Uninove (n=3).

Quadro 11 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Gestão de Resíduos. Fonte: elaboração do autor.

Instituição	Número de publicações	%
Uninove	3	12,5%
Universidade Federal do Rio de Janeiro	2	8,3%
Universidade de São Paulo	2	8,3%
Universidade Federal de Itajubá	2	8,3%
University of Victoria (Canadá)	2	8,3%
Universidade Federal de Santa Maria	1	4,2%
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais	1	4,2%
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	1	4,2%
Universidade Federal de Viçosa	1	4,2%
Universidade Estadual Paulista	1	4,2%
Universidade Federal de Ouro Preto	1	4,2%
Universidade Estadual de Campinas	1	4,2%
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	1	4,2%
Fundação Getúlio Vargas	1	4,2%
Universidade Federal do Paraná	1	4,2%
National Institute of Industrial Engineering	1	4,2%
Chalmers University of Technology	1	4,2%
University of Manchester	1	4,2%

Especificamente sobre a produção da academia brasileira, a maior parte dos estudos de Gestão de Resíduos são de São Paulo e quase 20% são de Minas Gerais. Ao total, 6 Unidades Federativas contribuíram para a pesquisa nessa temática (Figura 41).

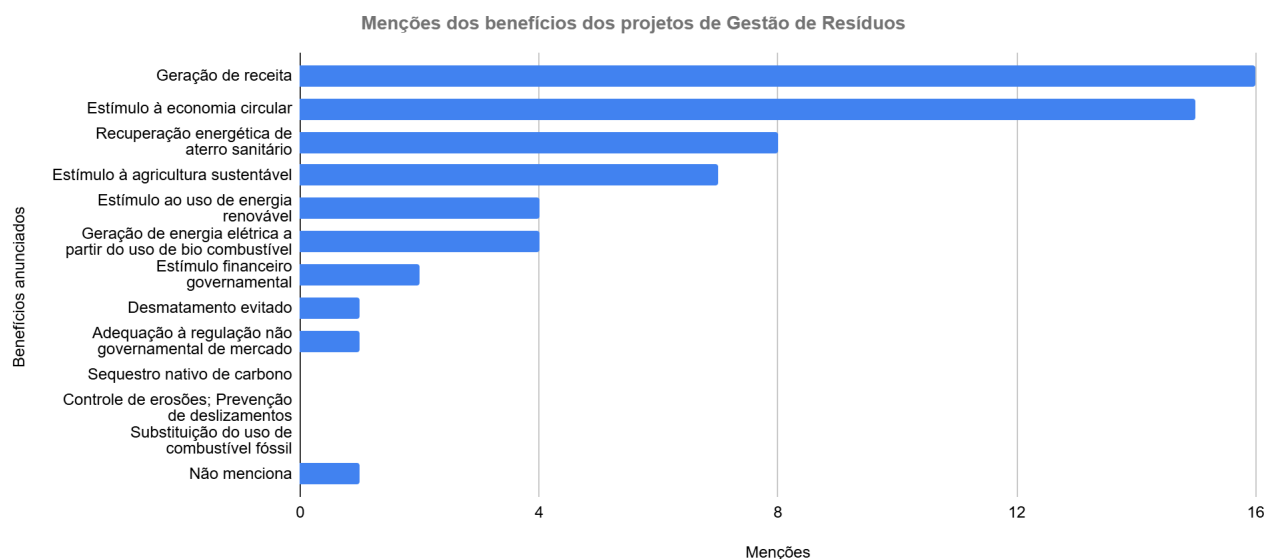
Figura 41 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Gestão de Resíduos.



Fonte: elaboração do autor.

Partindo para uma análise das menções dos benefícios anunciados dos projetos de Gestão de Resíduos (Figura 42), a capacidade de geração de receita (Balcazar et al., 2013; Giovanini et al., 2013; King e Gutberlet, 2013; Moraes et al., 2013; Leme et al., 2014; Rocha et al., 2016; Cirino et al., 2017; Freitas et al., 2018; Souza et al., 2018; Araujo e Oliveira, 2020; Slomski et al., 2020; Paes et al., 2019; e Pereira et al., 2022) e o estímulo à economia circular (Fairbairn et al., 2010; Giraçol et al., 2011; Oliveira et al., 2019), sobretudo o reaproveitamento de óleo de cozinha para produção de biocombustível (Silva Filho et al., 2014; Silva Filho et al., 2018; Santana et al., 2021), foram os pontos mais destacados pela academia. Alguns autores também se dedicaram aos estudos sobre a recuperação energética de aterro sanitário (Unnikrishnan e Singh, 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Balcazar et al., 2013; King e Gutberlet, 2013; Leme et al., 2014; Luz et al., 2015; Schindler e Kanai, 2018 e Paes et al., 2019) e sobre o estímulo à agricultura sustentável, com ênfase na gestão de resíduos da cana de açúcar (Moraes et al., 2013; Souza et al., 2018; Oliveira et al., 2019; Araujo e Oliveira, 2020 e Petrielli et al., 2023).

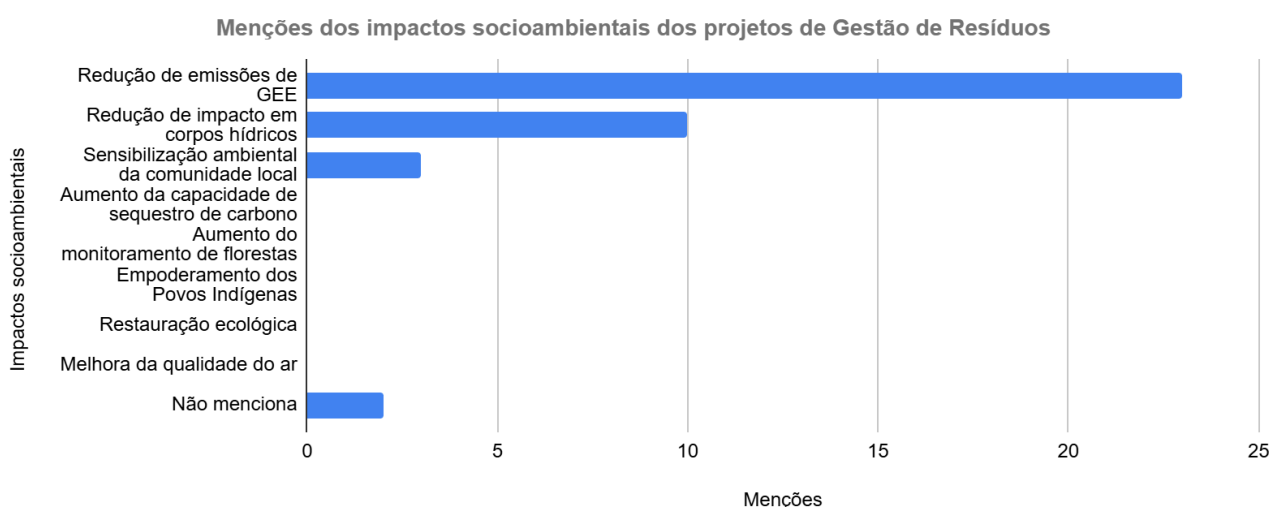
Figura 42 - Menções dos benefícios dos projetos de Gestão de Resíduos.



Fonte: elaboração do autor.

Considerando os impactos socioambientais positivos dos projetos de Gestão de Resíduos destacados pelos trabalhos analisados, todas as publicações desta categoria trataram sobre a redução de emissões de GEE, como esperado para projetos de carbono (Figura 43). Quase metade tratou sobre a capacidade deste tipo de projeto em reduzir a contaminação de corpos hídricos, sabidamente um dos principais problemas causados pela gestão inadequada de resíduos, enfatizando a oportunidade dos projetos de carbono em atuar convergindo a agenda da mitigação climática e outras agendas setoriais. Em menor número, as publicações também trataram sobre a sensibilização ambiental da comunidade local (Giraçol et al., 2011; Schindler e Kanai, 2018 e Mesquita et al., 2023).

Figura 43 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Gestão de Resíduos.

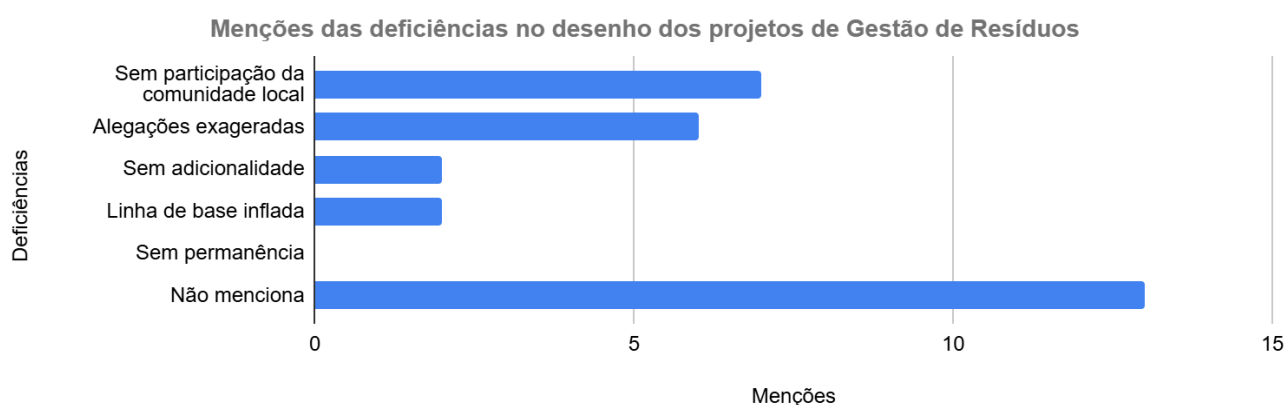


Fonte: elaboração do autor.

Já em relação às deficiências no desenho dos projetos de Gestão de Resíduos apontadas pela literatura analisada, a ausência de participação da comunidade local foi a mais destacada (Fairbairn et

al., 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Balcazar et al., 2013; Giovanini et al., 2013, King e Gutberlet, 2013; Moraes et al., 2013 e Souza et al., 2018), assim como as alegações exageradas (Amatayakul e Berndes, 2012; Moraes et al., 2013; Silva Filho et al., 2018; Souza et al., 2018; Araujo e Oliveira, 2020 e Slomski et al., 2020) (Figura 44). Este exagero se deu no campo financeiro, uma vez que diversas publicações projetaram explicitamente no texto publicado um cenário de geração de receita a partir da comercialização de créditos de carbono a um preço duas ou três vezes acima do valor médio do mercado voluntário.

Figura 44 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Gestão de Resíduos.



Fonte: elaboração do autor.

Além disso, o presente estudo tentou extrair das publicações analisadas quais foram as principais ineficiências encontradas na operação dos projetos de Gestão de Resíduos, mas quase nenhuma informação foi obtida (Figura 45), com exceção dos trabalhos de Unnikrishnan e Singh (2010) e Schindler e Kanai (2018).

Figura 45 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Gestão de Resíduos.



Fonte: elaboração do autor.

Finalmente, destacaram-se a complexidade operacional e a ausência de incentivos aos projetos de Gestão de Resíduos como sendo os principais desafios na implementação de projetos desta natureza (Figura 46). De forma periférica, a complexidade regulatória também foi citada em um pouco mais de 20% das publicações que trataram sobre esta categoria de projeto, como Rocha et al.

(2016) que abordam projetos de suinocultura no âmbito do MDL e destacam um contexto regulatório confuso e volátil, o que gera uma repulsa de participação dos atores do primeiro setor. Além desse exemplo, Paes et al. (2019) destacam a necessidade de criação ou fortalecimento das políticas públicas que incentivem a promoção da economia circular a partir da integração entre a cadeia de reciclagem e serviços como reparo de vestuário, mobiliário e eletrônicos.

Figura 46 - Menções dos desafios dos projetos de Gestão de Resíduos.

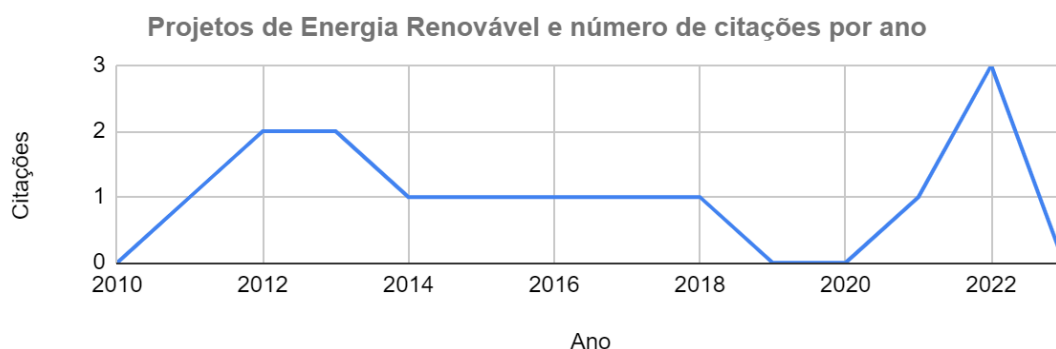


Fonte: elaboração do autor.

2.2.3 Energia Renovável

Ao total, a revisão integrativa da literatura encontrou 14 publicações sobre projetos de crédito de carbono na tipologia Energia Renovável dentro do período analisado. Apenas 30% tratam exclusivamente sobre esta categoria e quase 60% das publicações estão correlacionadas com projetos de Gestão de Resíduos. A evolução histórica das menções desta categoria de projeto pode ser observada na Figura 47.

Figura 47 - Evolução histórica das menções de Energia Renovável na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

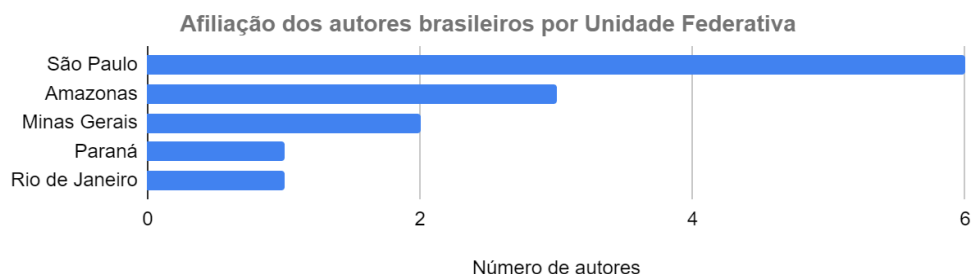
Quase todas as publicações que trataram sobre esta categoria de projeto apresentam brasileiros como autor principal, menos uma publicação que possui o autor principal filiado à uma instituição na Suécia. A afiliação dos autores principais pode ser observada no quadro 12.

Quadro 12 - Afiliação do(a) autor(a) principal dos projetos sobre Energia Renovável. Fonte: elaboração do autor.

Instituição	Número de publicações	%
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	3	21,4%
Uninove	3	21,4%
Universidade de São Paulo	2	14,3%
Chalmers University of Technology	1	7,1%
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais	1	7,1%
Universidade Federal de Itajuba	1	7,1%
Universidade Federal de Viçosa	1	7,1%
Universidade Federal do Rio de Janeiro	1	7,1%
Universidade Federal do Paraná	1	7,1%

Especificamente sobre a produção brasileira, a maior parte dos estudos de Energia Renovável são de São Paulo e um pouco mais de 20% das publicações são de um autor vinculado a uma instituição do Amazonas, mais especificamente o Fearnside (2011; 2013b e 2015). Ao total, 5 Unidades Federativas contribuíram para a pesquisa nessa temática (Figura 47).

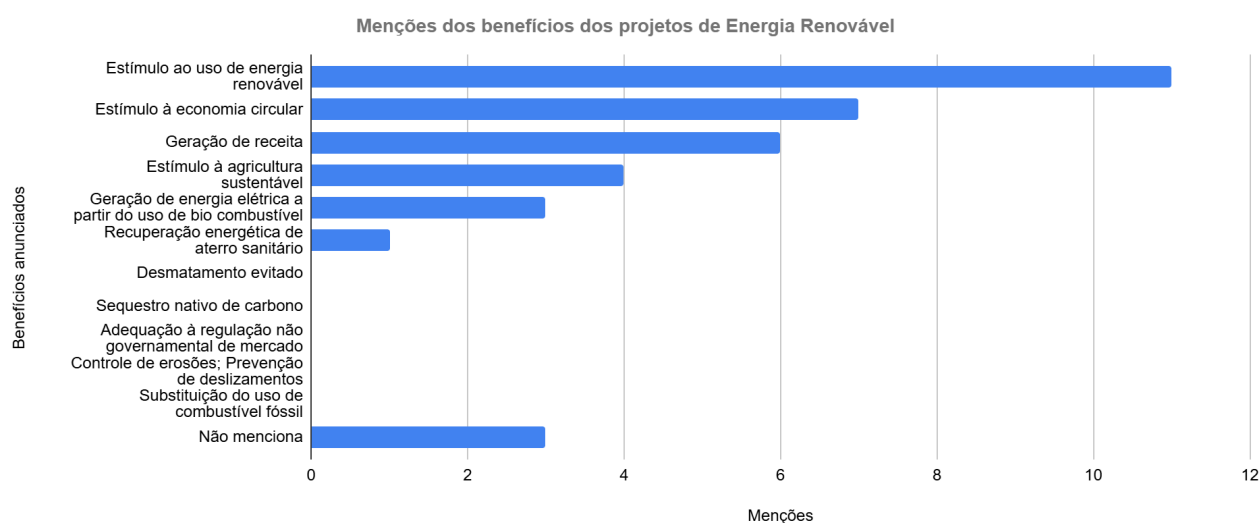
Figura 48 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Energia Renovável.



Fonte: elaboração do autor.

Considerando os benefícios anunciados dos projetos de Energia Renovável destacados, não é surpresa que o estímulo ao uso de energia renovável apareça na liderança. Vale destacar que nem todas as publicações foram favoráveis a esse benefício, sobretudo as produções do autor Philip Fearnside (2011; 2013b e 2015), que criticou a participação das hidrelétricas no processo de emissão de Certificados de Redução de Emissão no âmbito do Mecanismo do Desenvolvimento Limpo. Outros benefícios anunciados relevantes dentro da análise desta categoria de projeto foram o estímulo à economia circular (Giraçol et al., 2011; Moraes et al., 2013; Silva Filho et al., 2014; Silva Filho et al., 2018; Santana et al., 2021; Pereira et al., 2022 e Aba et al., 2022), a geração de receita a partir da comercialização de créditos de carbono (Aquila et al., 2016 e Cirino et al., 2017) e o estímulo à agricultura sustentável (Giraçol et al., 2011; Amatayakul e Berndes, 2012 e Salvador et al., 2022) (Figura 49).

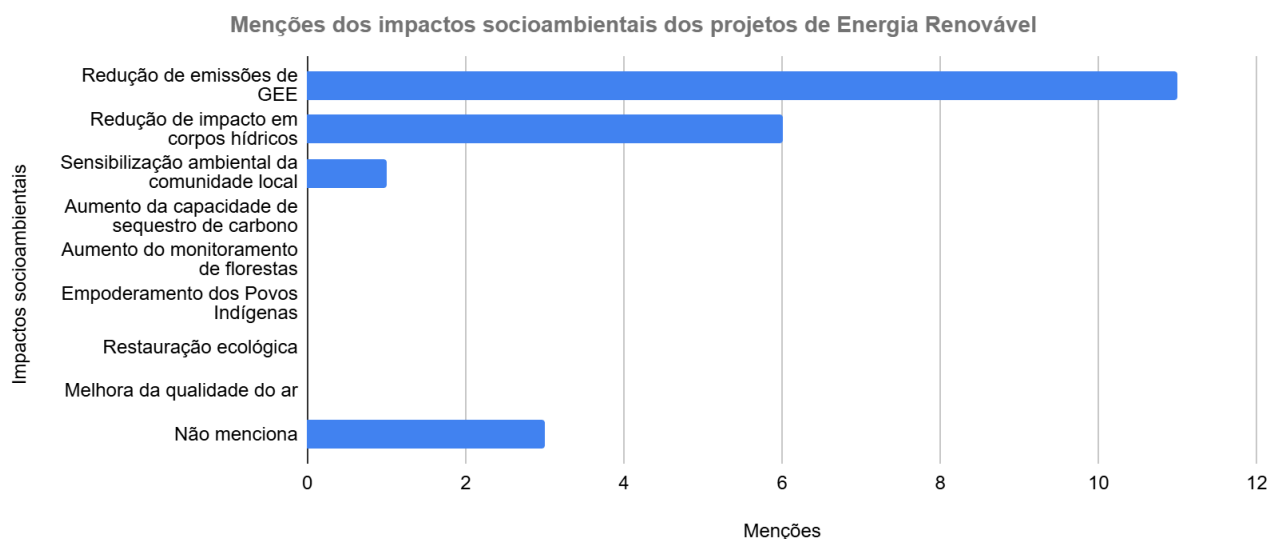
Figura 49 - Menções dos benefícios dos projetos de Energia Renovável.



Fonte: elaboração do autor.

Já sobre os impactos socioambientais dos projetos de Energia Renovável mais mencionados foram a redução de emissões de GEE e a redução de impacto em corpos hídricos, sobretudo pela combinação com projetos de Gestão de Resíduos (Figura 50).

Figura 50 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Energia Renovável.



Fonte: elaboração do autor.

Partindo para a análise das principais deficiências no desenho dos projetos de Energia Renovável, mais uma vez a ênfase dada é na tecnologia em si e no potencial de geração de créditos de carbono com pouca ênfase nas deficiências e riscos do projeto (quase 65% das publicações sequer as mencionam) (Figura 51). Quando mencionam, os autores tratam sobre as alegações exageradas, a falta de adicionalidade e a ausência da participação da comunidade local.

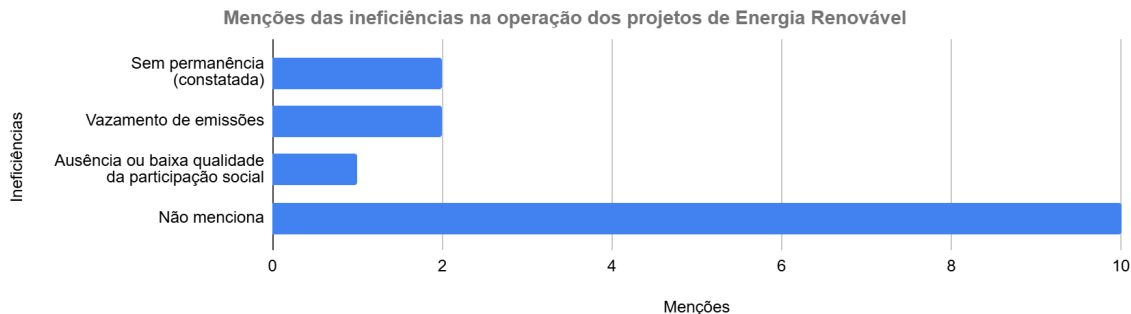
Figura 51 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Energia Renovável.



Fonte: elaboração do autor.

Quanto às principais ineficiências encontradas na operação dos projetos de Energia Renovável, quase nenhuma publicação mencionou (Figura 52), com exceção dos trabalhos de Fearnside (2013a, 2013b e 2015).

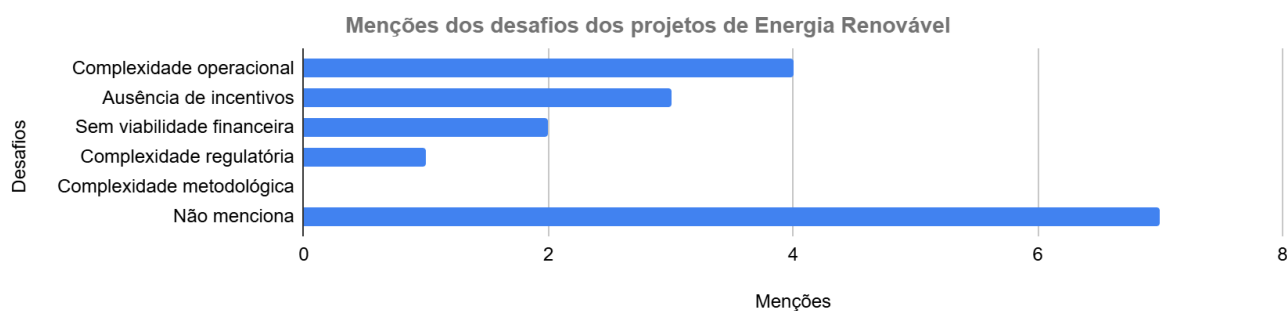
Figura 52 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Energia Renovável.



Fonte: elaboração do autor.

Finalmente, entre as publicações selecionadas, destacou-se a complexidade operacional como o principal desafio encontrado na implementação de projetos de energia renovável (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2014; Santana et al., 2021; Salvador et al., 2022), seguido pela ausência de incentivos governamentais (Amatayakul e Berndes, 2012; Moraes et al., 2013; Salvador et al., 2022) e falta de viabilidade financeira (Pereira et al., 2022 e Salvador et al., 2022) (Figura 53).

Figura 53 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Energia Renovável.

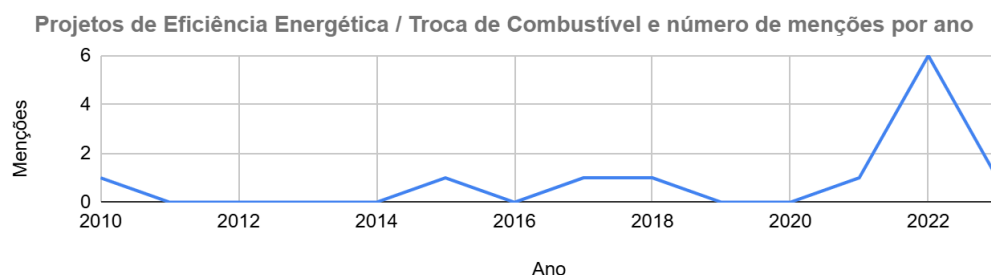


Fonte: elaboração do autor.

2.2.4 Eficiência Energética / Troca de Combustível

Ao total, foram identificadas 12 publicações sobre projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível dentro do período analisado. Apenas 25% tratam exclusivamente sobre esta categoria, pouco mais de 40% das publicações estão correlacionadas com projetos de Processos Químicos / Produção Industrial e 33% estão correlacionadas com projetos de Energia Renovável. A evolução histórica das menções desta categoria de projeto pode ser observada na Figura 54.

Figura 54 - Evolução histórica das menções de Eficiência Energética / Troca de Combustível na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

Três quartos das publicações que trataram sobre esta categoria de projeto apresentam brasileiros como autor principal. As outras publicações apresentam autores principais da Índia, Estados Unidos e Austrália. A afiliação dos autores principais pode ser observada no quadro 13.

Quadro 13 - Afiliação do(a) autor(a) principal das publicações sobre Eficiência Energética/Troca de Combustível.

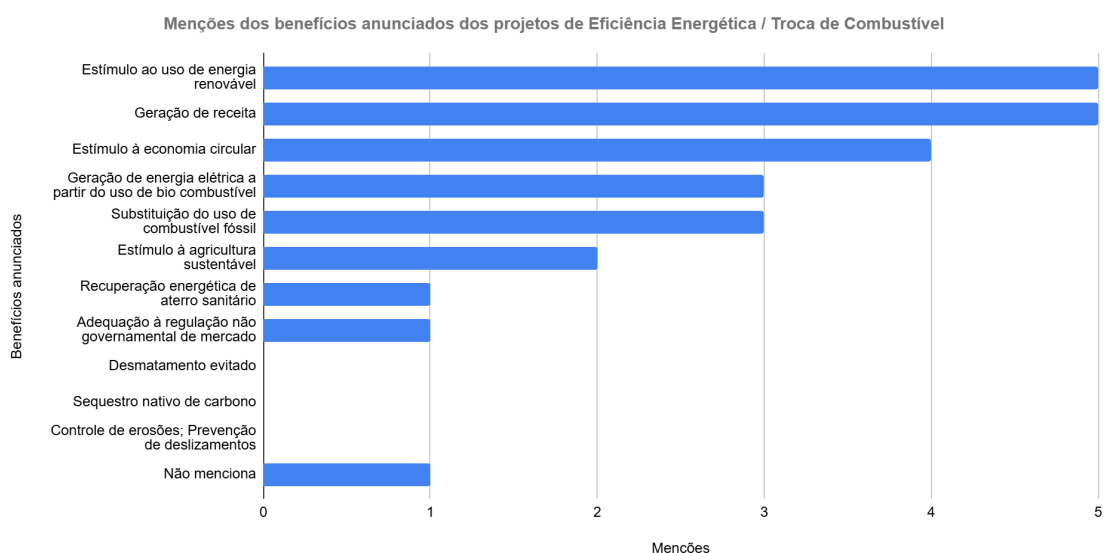
Instituição	Número de publicações	%
Universidade de São Paulo	3	25,0%
Universidade de Campinas	2	16,7%
Agricultural Research Service	1	8,3%
Uninove	1	8,3%
National Institute of Industrial Engineering	1	8,3%
Universidade Federal do Rio de Janeiro	1	8,3%
Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca	1	8,3%
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais	1	8,3%
University of Queensland	1	8,3%

Fonte: elaboração do autor.

Especificamente, sete estudos foram realizados no Estado de São Paulo e dois no Rio de Janeiro. Nenhuma outra Unidade Federativa foi contemplada nessa categoria de projeto dentro do universo dos documentos selecionados para a revisão final. USP e UNICAMP se destacam, sobretudo os departamentos de química e engenharia de produção.

Considerando os benefícios anunciados dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível destacados pela academia, o estímulo ao uso de energia renovável e a geração de receita aparecem, empatados, na liderança. Na sequência, Figuram o estímulo à economia circular, a geração de energia elétrica a partir do uso de biocombustível e a substituição do uso de combustível fóssil (Figura 55).

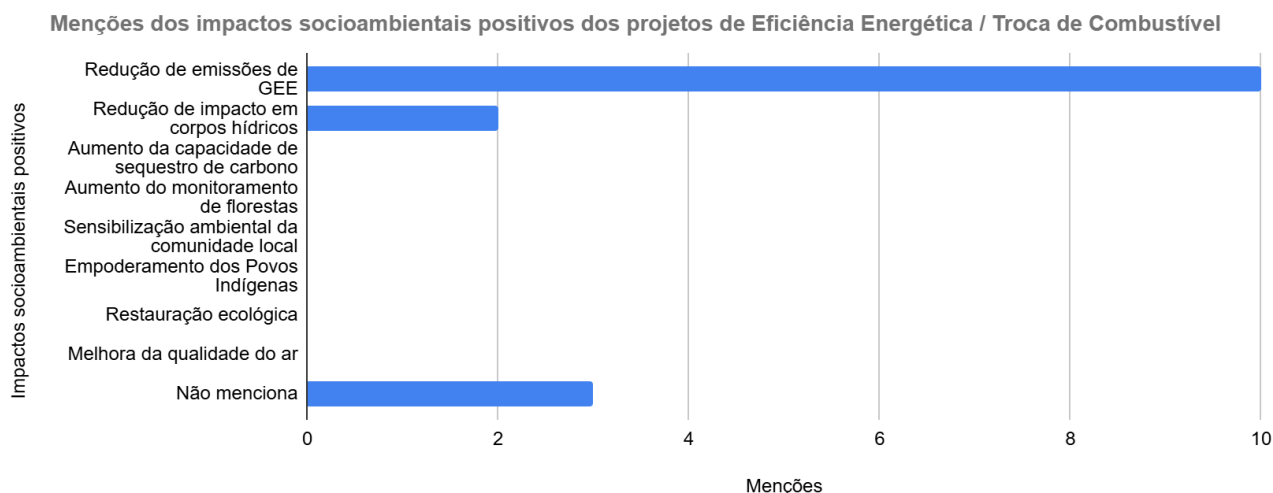
Figura 55 - Menções dos benefícios dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.



Fonte: elaboração do autor.

Já sobre os impactos socioambientais dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível mais citados pela academia foram a redução de emissões de GEE e a redução de impacto em corpos hídricos (Figura 56).

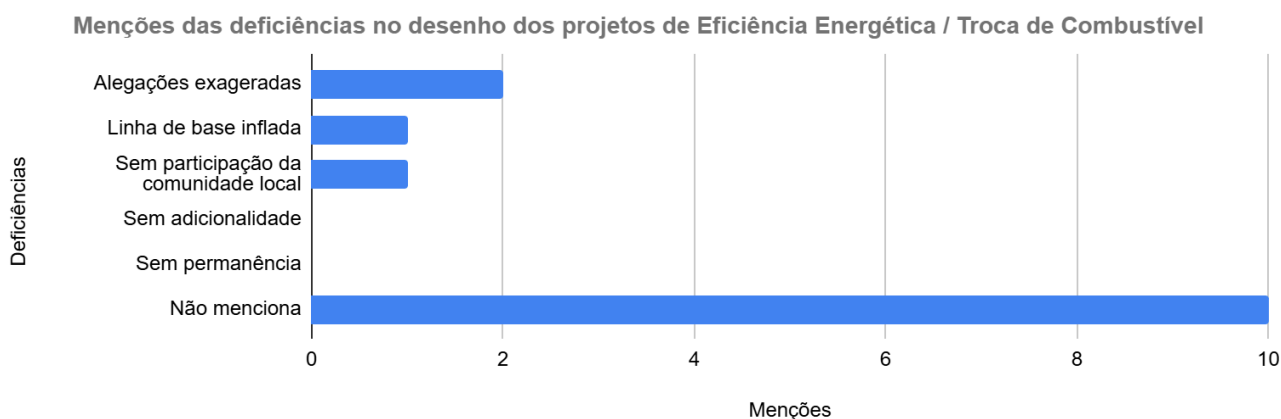
Figura 56 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.



Fonte: elaboração do autor.

Partindo para a análise das principais deficiências no desenho dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível destacadas pela academia, mais uma vez é observado o perfil teórico deste tipo de publicação, uma vez que mais de 80% das publicações sequer as mencionam. Quando mencionam, os autores tratam sobre as alegações exageradas (Pighinelli et al., 2017; Silva Filho et al., 2018), a linha de base inflada e a ausência da participação da comunidade local (Pighinelli et al., 2017) (Figura 57).

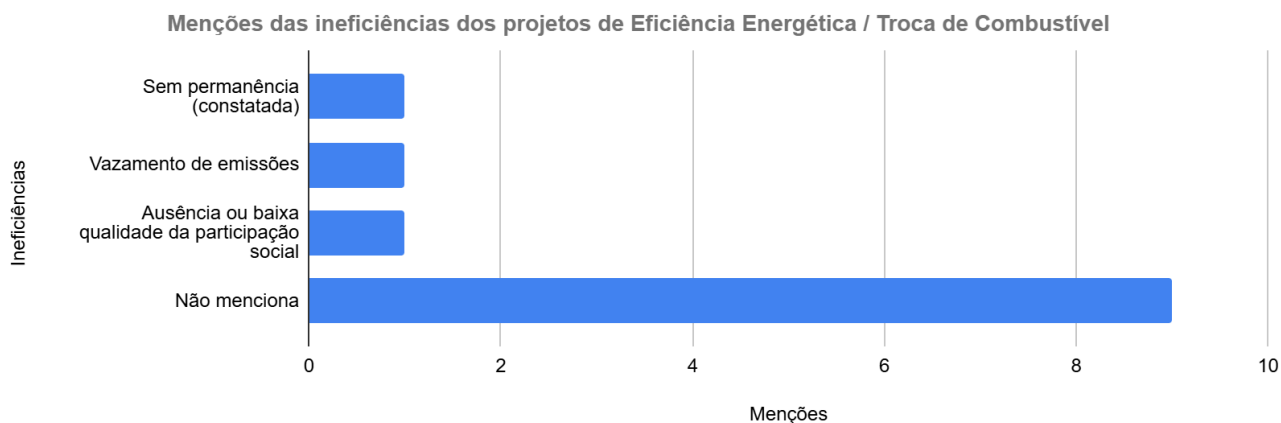
Figura 57 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.



Fonte: elaboração do autor.

Mais uma vez o presente estudo tentou extrair das publicações analisadas quais foram as principais ineficiências encontradas na operação dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível, mas quase nenhuma informação foi obtida (Figura 58), com exceção dos trabalhos de Unnikrishnan e Singh (2010), Sonter et al. (2015) e Pighinelli et al. (2018).

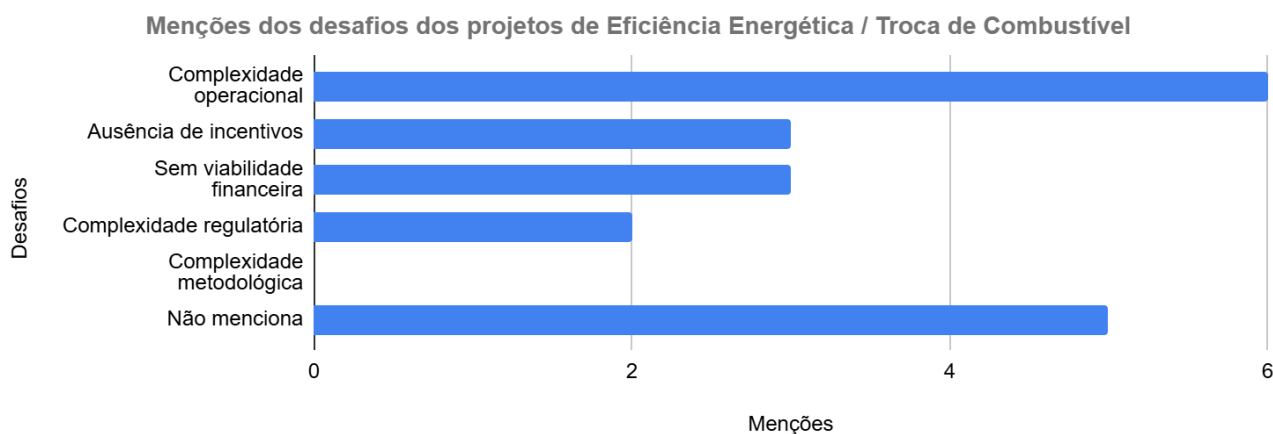
Figura 58 - Menções das ineficiências na operação dos projetos de Eficiência Energética/Troca de Combustível.



Fonte: elaboração do autor.

Finalmente, a academia destacou a complexidade operacional como o principal desafio encontrado na implementação de projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível (Unnikrishnan e Singh, 2010; Santana et al., 2021; Salvador et al., 2022; Petrielli et al., 2023; Guimarães et al., 2023; Deuber et al., 2023), seguido pela ausência de incentivos governamentais (Unnikrishnan e Singh, 2010; Pighinelli et al., 2017, Salvador et al., 2022), a falta de viabilidade financeira (Unnikrishnan e Singh, 2010; Pighinelli et al., 2017; Salvador et al., 2022) e a complexidade regulatória (Unnikrishnan e Singh, 2010 e Salvador et al., 2022) (Figura 59).

Figura 59 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Eficiência Energética / Troca de Combustível.



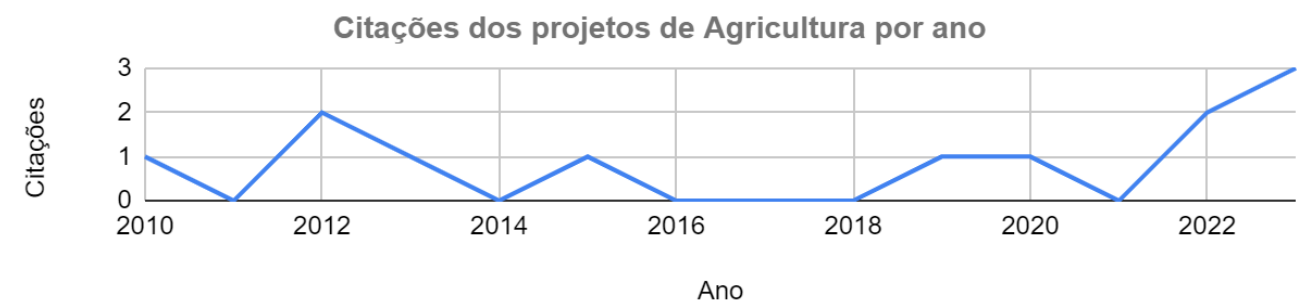
Fonte: elaboração do autor.

2.2.5 Agricultura

A presente pesquisa encontrou, a partir do recorte da literatura especializada, 12 publicações sobre projetos de Agricultura dentro do período analisado e apenas uma publicação trata exclusivamente sobre esta categoria. A maior correlação se dá com os projetos de Floresta e Uso da

Terra (Toledo et al., 2012; Venturoli et al., 2015; Medeiros et al., 2020; Souza et al., 2023; Morales et al., 2023), seguido pela Gestão de Resíduos (Fairbairn et al., 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Moraes et al., 2013; Souza et al., 2018). A evolução histórica das menções desta categoria de projeto pode ser observada na Figura 60.

Figura 60 - Evolução histórica das menções de Agricultura na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

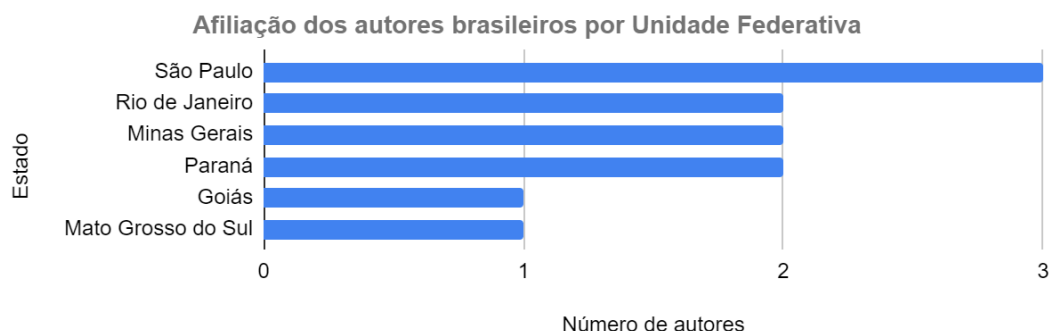
Quase todas as publicações sobre esta categoria de projeto apresentam brasileiros como autor principal, menos uma publicação liderada por um cientista sueco. A afiliação dos autores principais pode ser observada no quadro 14.

Quadro 14 - Afiliação do(a) autor(a) principal, sendo verde escuro do Brasil e verde claro de outro país. Fonte: elaboração do autor.

Instituição	Número de publicações	%
Universidade Federal do Rio de Janeiro	2	16,7%
Universidade Federal de Viçosa	1	8,3%
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais	1	8,3%
Universidade Federal do Goiás	1	8,3%
Universidade Estadual de Campinas	1	8,3%
Universidade Federal do Mato Grosso do Sul	1	8,3%
Universidade de São Paulo	1	8,3%
Universidade Federal de Lavras	1	8,3%
Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná	1	8,3%
Embrapa Paraná	1	8,3%
Chalmers University of Technology	1	8,3%

Especificamente sobre a produção da academia brasileira sobre Agricultura, o Estado de São Paulo destaca-se com três publicações, seguido pelo Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná empatados com duas publicações cada. Todas as Unidades Federativas que contribuíram para essa temática dentro do universo dos arquivos selecionados podem ser observadas na Figura 61.

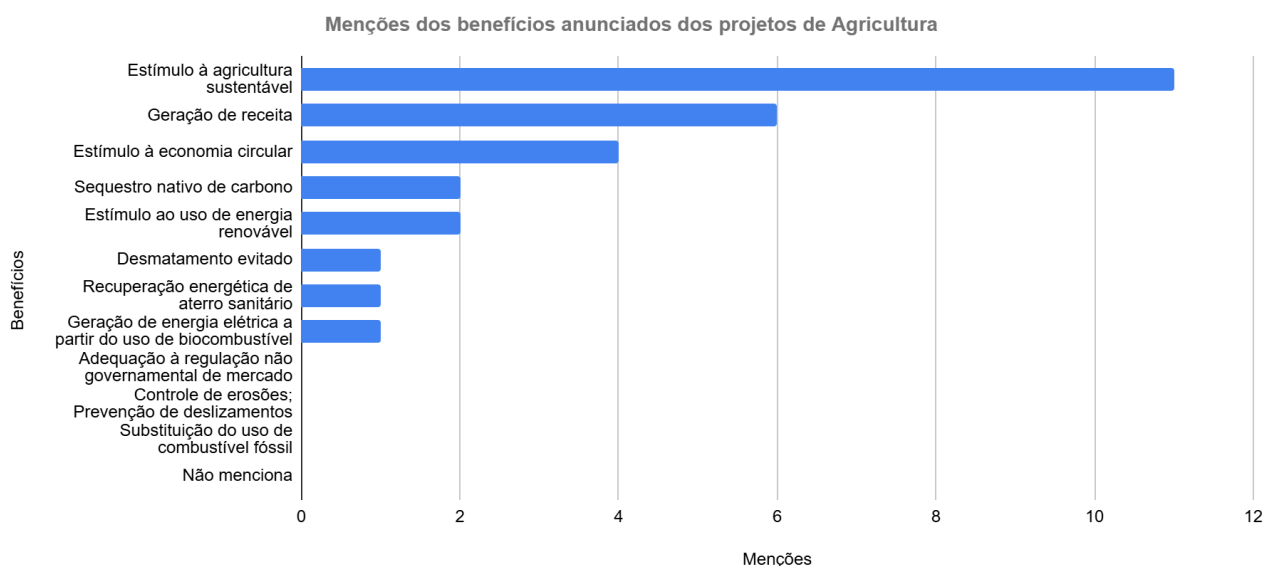
Figura 61 - Unidade Federativa dos autores principais e brasileiros que trataram sobre Agricultura.



Fonte: elaboração do autor.

Considerando os benefícios anunciados dos projetos de Agricultura destacados pela academia, o estímulo à agricultura sustentável desponta, obviamente, na liderança. Na sequência, figuram a geração de receita, o estímulo à economia circular, o sequestro nativo de carbono e o estímulo ao uso de energia renovável, sobretudo a partir do biocombustível derivado da indústria da cana de açúcar (Figura 62).

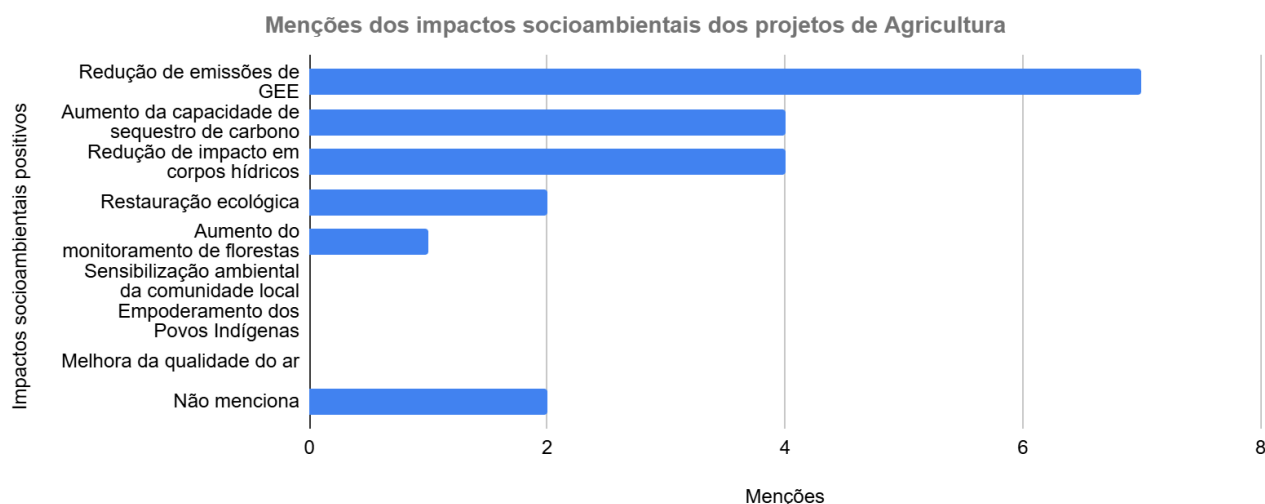
Figura 62 - Menções dos benefícios dos projetos de Agricultura.



Fonte: elaboração do autor.

Já sobre os impactos socioambientais dos projetos de Agricultura mais citados pela academia foram a redução de emissões de GEE, o aumento da capacidade de sequestro de carbono e a redução de impacto em corpos hídricos (Figura 63).

Figura 63 - Menções dos impactos socioambientais dos projetos de Agricultura.



Fonte: elaboração do autor.

Partindo para a análise das principais deficiências (Figura 64) no desenho dos projetos de Agricultura, a ausência da participação da comunidade local foi o mais mencionado (Fairbairn et al., 2010; Amatayakul e Berndes, 2012; Toledo et al., 2012; Moraes et al., 2013; Souza et al., 2018; Morales et al., 2023), seguido das alegações exageradas (Amatayakul e Berndes, 2012; Moraes et al., 2013; Souza et al., 2018).

Figura 64 - Menções das deficiências no desenho dos projetos de Agricultura.



Fonte: elaboração do autor.

Sobre as ineficiências dos projetos de Agricultura, nenhuma das 12 publicações selecionadas para a revisão final tratou sobre essa perspectiva. Finalmente, destaca-se a ausência de incentivos como o principal desafio encontrado na implementação de projetos de Agricultura (Amatayakul e Berndes, 2012; Moraes et al., 2013; Salvador et al., 2022; Telles et al., 2023), seguido pela

complexidade regulatória (Salvador et al., 2022; Telles et al., 2023) e operacional (Fairbairn et al., 2010; Salvador et al., 2022) (Figura 65).

Figura 65 - Menções dos desafios na implementação dos projetos de Agricultura.

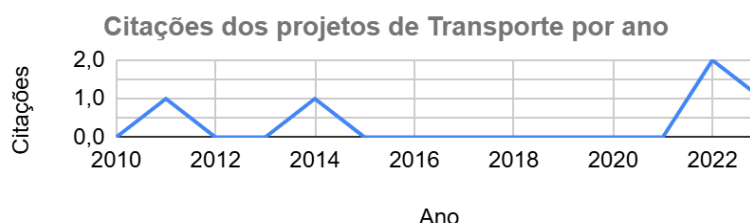


Fonte: elaboração do autor.

2.2.6 Transporte

A revisão integrativa encontrou apenas 5 publicações sobre projetos de Transportes dentro do período analisado. Estes projetos costumam ser analisados junto com os projetos de Eficiência Energética (Giraçol et al., 2011; Aba et al., 2022; Guimarães et al., 2023 e Deuber et al., 2023) e Energia Renovável (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2014 e Aba et al., 2022). A evolução histórica das menções desta categoria de projeto pode ser observada na Figura 66.

Figura 66 - Evolução histórica das menções de Transporte na literatura científica.



Fonte: elaboração do autor.

Todas as publicações sobre esta categoria de projeto apresentam brasileiros como autor principal, sendo todos do Estado de São Paulo. As afiliações dos autores são Unicamp (2), Uninove (2) e USP (1).

Considerando os benefícios anunciados dos projetos de Transportes, destacam-se o estímulo à economia circular (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2014 e Aba et al., 2022) e a geração de receita (Silva Filho et al., 2014; Guimarães et al., 2023 e Deuber et al., 2023). Já sobre os impactos socioambientais citados, todas as publicações selecionadas trataram sobre a redução de emissões de GEE e duas trataram sobre a redução de impacto em corpos hídricos (Giraçol et al., 2011 e Silva Filho et al., 2014).

Partindo para a reflexão das principais deficiências no desenho dos projetos de Transporte, nenhuma publicação contribuiu neste sentido. Do mesmo modo, sobre as ineficiências dos projetos desta categoria, também não houve contribuição. Finalmente, a academia destacou a complexidade operacional como o principal desafio encontrado na implementação de projetos de Transportes (Giraçol et al., 2011; Silva Filho et al., 2014; Guimarães et al., 2023 e Deuber et al., 2023).

2.3 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS ENCONTRADOS

A partir dos resultados expostos no presente capítulo, fica evidente o distanciamento entre a produção científica e o dinâmico mercado voluntário de carbono. Uma parcela muito pequena das publicações selecionadas para a revisão final analisou os projetos a partir de uma perspectiva *ex-post*, o que gera um vácuo na contribuição da academia em relação aos problemas já conhecidos em torno de projetos de créditos de carbono do mercado voluntário.

Além disso, a literatura tratou mais sobre projetos no âmbito do mercado regulado (MDL e RenovaBio) do que do próprio mercado voluntário. Há uma forte timidez em relação às certificadoras utilizadas no mercado voluntário. Como exposto no primeiro capítulo, mais de 90% dos projetos implementados no Brasil foram certificados pela Verra, mas o presente recorte da literatura científica não encontrou nenhuma publicação que tratasse especificamente da Verra, uma vez que esta certificadora pouco foi abordada e, quando foi, apareceu de forma adjacente.

Vale ressaltar o perfil teórico da produção científica, focada em aspectos técnicos como a mensuração da produção de biomassa ou do aproveitamento energético de um aterro sanitário. Nenhuma publicação tratou sobre o extenso processo de certificação, as diversas metodologias existentes, a ausência de metodologias pensadas para o hemisfério sul, entre outros aspectos práticos do mercado voluntário. Esses resultados destacam a necessidade do Brasil em gerar maior integração entre suas universidades e centros de pesquisas com o mercado privado. Pela falta de interlocução, o conhecimento produzido acaba ficando distante das reais necessidades das empresas e consumidores.

CONCLUSÃO

Entre as considerações finais, destacam-se, ao lado das relevâncias, as implicações que merecem ser, aqui, elencadas. Pode-se começar pelo caráter instável da eficácia do mercado voluntário, que aparece, quase que de maneira frequente, comprometida pela imaturidade da regulamentação e por deficiências estruturais, como a falta de clareza sobre a integração entre os mercados voluntários e as metas de redução de emissão previstas no âmbito do Acordo de Paris, materializadas nas Contribuições Nacionalmente Determinadas. Ademais, a ausência de um sistema unificado e rigoroso de Monitoramento, Relato e Verificação para as diversas certificadoras de créditos de carbono gera incertezas sobre a real contribuição dos projetos para a redução das emissões. Nesse sentido, também existe incompatibilidade entre as metodologias desenvolvidas por certificadoras baseadas no Norte Global e potenciais projetos a serem implementados no Sul Global .

Diante disso, torna-se evidente que há a necessidade de uma governança mais robusta e transparente no mercado voluntário. A criação e implementação de princípios fundamentais, como os propostos pelo Conselho de Integridade para o Mercado Voluntário de Carbono (ICVCM), são essenciais para assegurar que os créditos sejam gerados com base em práticas éticas e científicas rigorosas. A adoção desses princípios pode aumentar a confiança entre os compradores e vendedores de créditos de carbono, promovendo um ambiente mais saudável para o mercado voluntário.

No primeiro capítulo, redigido a partir de publicações institucionais, mercadológicas e da produção científica internacional, a pesquisa aponta que muitos projetos não atendem aos critérios de adicionalidade e permanência, fundamentais para garantir que as reduções de emissões sejam genuínas e destaca que esses riscos já eram conhecidos desde a concepção do mercado de carbono. Essa falha prejudica a credibilidade deste mercado e, consequentemente, desestimula o engajamento de potenciais investidores e outros atores. A falta de confiança nos créditos de carbono pode levar à desvalorização desses ativos e à diminuição do investimento em iniciativas dessa natureza, diminuindo ainda mais as chances de atingir as metas previstas no principal instrumento da humanidade em relação ao combate da crise climática, o Acordo de Paris. A pesquisa científica tem muito a contribuir na superação desses gargalos, trazendo um olhar crítico e produzindo conhecimento a partir de estudos empíricos e teóricos que possam servir de insumos para o amadurecimento dos sistemas de comercialização de créditos de carbono no mercado voluntário.

Entretanto, a revisão da literatura realizada pela presente pesquisa demonstrou que a produção científica sobre o mercado de carbono no contexto brasileiro dedicou, entre 2010 e 2023, pouco espaço para analisar os desdobramentos de projetos de créditos de carbono no mercado voluntário. Isso fica claro no baixo número de publicação (n=10) que mencionam as certificadoras independentes envolvidas no mercado voluntário, sobretudo a Verra, que detém 90% do mercado

voluntário brasileiro e que apareceu de forma periférica, em apenas cinco das sessenta e três publicações selecionadas. Esse resultado demonstra um abismo entre a pesquisa científica e um importante e dinâmico mecanismo para mitigação climática - e que sofre por falta de transparência e confiança. Um possível caminho para superar esse hiato seria buscar meios de participação dos especialistas no processo de emissão e auditoria dos créditos de carbono, uma vez que se encontram nas universidades e centros de pesquisas e detêm conhecimento suficiente para auxiliar na construção de processos que aumentem a eficácia do mercado de carbono - um mecanismo que vem sendo discutido há quase três décadas no âmbito da política internacional e apresenta tímidos resultados de redução de emissões.

Por outro lado, a literatura se concentrou em projetos típicos de mercados regulados, como MDL e RenovaBio ou em discutir projetos descontextualizados de mercados, com pouca ênfase ao debate sobre os riscos e aspectos operacionais dos projetos, como o extenso processo de certificação, MRV, permanência, adicionalidade, vazamentos, salvaguardas socioambientais, entre outros. Esses tópicos são fundamentais para a certificação, tanto no mercado voluntário quanto no regulado, e para assegurar a legitimidade dos projetos frente aos potenciais compradores do mercado voluntário.

A predominância de publicações em trabalhos teóricos e de créditos comercializados em mercados regulados apontam um descompasso entre a pesquisa científica e o que se destaca na operacionalização de projetos que emitem créditos de carbono no mercado voluntário. Dessa forma, o papel da ciência na governança da criação do mercado voluntário de carbono no Brasil se mostra periférico no amadurecimento deste mercado, diferentemente da criação do mercado regulado, considerando o número de publicações em cada um desses sentidos.

Nesse sentido, a discussão dos desafios e riscos da operacionalização dos projetos foram poucos nas publicações selecionadas para revisão. Como exemplo, no caso dos projetos de Floresta e Uso da Terra, a principal categoria de projetos do Brasil, não existem menções relevantes sobre o impacto da adoção desse tipo de projeto nas comunidades locais e nos Povos e Comunidades Tradicionais, sugerindo um farto e inexplorado campo de pesquisa. Uma possível explicação para este fenômeno é a baixa participação das Unidades Federativas do Norte e Nordeste do Brasil em relação aos artigos selecionados para revisão final. Ademais, a presente pesquisa revela uma significativa vantagem comparativa dessas regiões do Brasil, uma vez que possuem vocação para emissão de créditos do tipo Floresta e Uso da Terra. Projetos dessa natureza geram grandes volumes de créditos em contraste à uma estrutura de custo fixa determinada pelas principais certificadoras globais.

Além disso, também há um descompasso entre o interesse e o tempo da ciência em um contexto de rápida evolução do mercado de carbono. Por exemplo, apesar do conceito “REDD” ter

sido expandido para “REDD+” na COP-13, em Bali, no ano de 2007 (Hugel et al., 2018), a revisão da literatura integrativa realizada constatou que o termo “REDD” foi usado até 2013 e, apenas a partir de 2015, que todas as publicações (selecionadas) sobre a temática passaram a utilizar “REDD+”. Esse caso específico demonstra um atraso de quase uma década da academia brasileira para absorver importantes eventos políticos e mercadológicos. Ademais, apesar do número de projetos de REDD + no Brasil ocupar a sexta posição mundial, com mais de 300 projetos, e a quarta posição em relação ao número de créditos de carbono aposentados no país, a produção científica analisada aborda de forma teórica, com poucos trabalhos com análises ex-post dos projetos.

Outra sugestão de agenda de pesquisa está voltada para projetos de dispositivos domésticos/comunitários ou de processos industriais, uma vez que não foi publicada nenhuma contribuição da academia brasileira sobre essas categorias. Ademais, os projetos de energia renovável lideram o mercado voluntário global e, apesar de ocupar a segunda categoria de projetos implementados no Brasil, representam apenas 20% (n=13) das publicações selecionadas. De qualquer maneira, apesar dos diversos gargalos e contratempos, é importante destacar que o mercado de carbono não parece sair de pauta, ou seja, há um interesse (e esperança) contínuo sobre esta temática tanto no âmbito brasileiro quanto no cenário internacional.

No primeiro contexto, foi levado à sanção presidencial em novembro de 2024 o projeto de lei que estabelece o mercado regulado brasileiro e ajuda o país a precificar as emissões de carbono e apoiar no cumprimento dos compromissos realizados no âmbito do Acordo de Paris, através de sua NDC. Além disso, ao se unir às outras 75 jurisdições que também contam com o mercado regulado, o Brasil passa a oferecer uma maior estabilidade regulatória para investidores interessados em desenvolver projetos de compensação no território brasileiro. Apesar do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa cobrir, caso estivesse implementado ainda em 2024, apenas 15% das emissões brasileiras, é fato que há uma ampla oportunidade de colaboração entre setor público e academia para implementar um mecanismo que pode auxiliar o país a se aproximar de um desenvolvimento mais sustentável.

Já no âmbito internacional, durante a realização da COP 29 no Azerbaijão em novembro de 2024, foi determinada a criação do mercado regulado global de carbono sob o domínio das Nações Unidas, previsto no Artigo 6 do Acordo de Paris. Após quase uma década da celebração deste Acordo, o órgão responsável pelas decisões tomadas referentes a esse artigo deu um passo importante ao definir os padrões sobre os requisitos para desenvolver e avaliar os projetos sob o Mecanismo de Crédito previsto neste âmbito e sobre as atividades responsáveis pelas remoções de GEE da atmosfera.

As considerações finais concernentes ao presente trabalho permitem-me ressaltar que, embora o mercado voluntário de carbono apresente barreiras antigas e complexas, ele também oferece aprendizados valiosos para promover a redução de emissões e, sobretudo, a precificação do carbono, sendo um dos poucos mecanismos financeiros voltados para a mitigação em grande escala, envolvendo pequenos e médios emissores, fora, a princípio, dos mercados regulados. O futuro desse mercado dependerá da capacidade dos governos, academia, setor privado e sociedade civil em trabalhar (rapidamente) em conjunto para resolver a compatibilização deste mercado com os diversos mercados regulados e também as deficiências identificadas visando garantir que o mercado de carbono cumpra suas promessas de mitigação.

Por fim, uma significativa contribuição desta dissertação terá sido alcançada se o que foi aqui apresentado e discutido servir de incentivo para novos estudos, bem como novos projetos de pesquisa, voltados para o mercado voluntário de carbono, especialmente, no contexto brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ABA, M.; ROUX, G.; MENEZES, B., 2022. *Integrated ethanol and gasoline supply chain planning under environmental constraints: a case study of Brazil*. Computers and Chemical Engineering 164. Elsevier. DOI: 10.1016/j.compchemeng.2022.107875.
- ALLIED OFFSETS, 2023. *Analysis of Voluntary Carbon Market Stakeholders and Intermediaries*. Disponível em: <https://carbonmarketwatch.org/publications/analysis-of-voluntary-carbon-market-stakeholders-and-intermediaries/> Acesso em novembro de 2024.
- AMATAYAKUL, W.; BERNDDES, G., 2012. *Determining factor for the development of CDM biomass power projects*. Energy for Sustainable Development 16 197-203. Elsevier. DOI: 10.1016/j.esd.2012.01.004.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil, 2024. *CORSIA - Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation*. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/meio-ambiente/corsia> Acesso em dezembro de 2024.
- AQUILA, G.; ROCHA, L.; ROTELA, P.; PAMPLONA, E.; QUEIROZ, A.; PAIVA, A., 2016. *Wind power generation: an impact analysis of incentive strategies for cleaner energy provision in Brazil*. Journal of Cleaner Production 137, 1100-1108, Elsevier. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.207.
- ARAUJO, G.; OLIVEIRA, S., 2020. *Energy and environmental analysis of vinasse processing using internal circulation biodigesters and concentrators for different production ranges of ethanol and its potential impact on Brazil*. Environment, Development and Sustainability 23, 3130-3163, Springer Nature BV. DOI: 10.1007/s10668-020-00710-4.
- BALCAZAR, J.; DIAS, R.; BALESTIERI, A., 2013. *Analysis of hybrid waste-to-energy for medium-sized cities*. Energy 55, 728-741. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.003.
- BARBOSA, G.; SANTOS, R.; LIMA, V.; VICENTE, M.; MARTINS, T., 2021. *Evaluation of eligible areas for forest CDM projects implementation in the Pardo River basin, in Minas Gerais, Brazil*. Nativa, Sinop, v.9, n.1, 115-122. Pesquisas Agrárias e Ambientais. DOI: 10.31413/nativa.v9i1.11173.
- BARROS, R.; TIAGO FILHO, G., 2012. *Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil*. Renewable Energy 48, 27-34. Elsevier. DOI:10.1016/j.renene.2012.04.050
- BELLASSEN, V., STEPHAN, N., & LEGUET, B., 2011. *Will there still be a market price for CERs and ERUs in two years time?* Paris, France: CDC Climat.
- BRASIL, 2024. *Polícia Federal realiza operação para investigar venda irregular de créditos de carbono*. Disponível em: <https://www.gov.br/mj/pt-br/assuntos/noticias/policia-federal-realiza-operacao-para-investigar-venda-irregular-de-creditos-de-carbono#:~:text=Bras%C3%ADlia%2C%2005%2F06%2F2023,%C3%A1reas%20da%20Uni%C3%A3o%20invadidas%20ilegalmente>. Acesso em setembro de 2024.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS, 2023. *O Brasil se prepara para o mercado de carbono*. Disponível em: <https://infograficos.camara.leg.br/o-brasil-se-prepara-para-o-mercado-de-carbono/> Acesso em novembro de 2023.
- CAMBRIDGE, 2024. *Key Essentials: The Paris Agreement, Sustainable Development and the Law - Module 1: Introduction to the Paris Agreement*. Democratizing Education for Global Sustainability and Justice. University of Cambridge, Lucy Cavendish College, Bennett Institute for Public Policy, Hughes Hall e Cambridge Centre for Environment, Energy and Natural Resource Governance.
- CARBON PULSE, 2023. *UPDATE – Certifiers go on the attack after investigation by Guardian, corporate watchdog levels fresh accusations against VCM*. Disponível em: <https://carbon-pulse.com/223775/> Acesso em outubro de 2023.
- CERRI, C.; CHERUBIN, M.; DENNY, D.; CANTARELLA, H.; NOGUEIRA, L.; MATSUURA, M.; GANDINI, M.; STUCHI, A., 2022. *Carbon balance in the sugarcane sector - conference report*. Journal of Cleaner Production 375. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.134090.
- CIRINO, J.; FERREIRA, M.; FARIA, L., 2017. *Financial and economic analysis under risk conditions for investment projects on biodigester for generation of electric energy from pig farming: a case study for a farm in Minas Gerais*. Custos e @gronegocio, v.13, 155-182. ISSN 1808-2882.
- CLIMATE FOCUS, 2022. *2022 overview voluntary carbon market*. Disponível em: <https://climatefocus.com/wp-content/uploads/2023/01/VCM-Dashboard-2022-Overview-1.pdf> Acesso em novembro de 2023.
- CORREIA, B.; PORTO, N.; CORREIA, P., 2011. *Feasibility on using carbon credits: A multiobjective model*. Operations Research Proceedings. Springer Verlag Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-29210-1_22.
- COSTEMALLE, V.; CANDIDO, H.; CARVALHO, F., 2023. *An estimation of ecosystem services provided by urban and peri-urban forests: a case study in Juiz de Fora, Brazil*. Ciência Rural, Santa Maria, v.53:4. DOI: 10.1590/0103-8478cr20210208.
- CRIPPA, M.; GUIZZARDI, D.; PAGANI, F.; BANJA, M.; MUNTEAN, M.; SCHAAF, E., 2024. *GHG Emissions of All World Countries*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG emissions of all world countries booklet 2023report.pdf](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/booklet/GHG%20emissions%20of%20all%20world%20countries%20booklet%202023report.pdf).

- DEUBER, R.; BRESSANIN, J.; FERNANDES, D.; GUIMARÃES, H.; CHAGAS, M.; BONOMI, A.; FREGOLENTE, L.; WATANABE, M., 2023. *Production of Sustainable Aviation Fuels from lignocellulosic residues in Brazil through hydrothermal liquefaction: techno-economic and environmental assessments*. *Energies* 16, 2723. DOI: 10.3390/en16062723.
- ELLERMAN, A.; JOSKOW, P.; SCHMALENSEE, R.; MONTERO, J.; BAILEY, E., 2000. *Markets for clean air - the U.S. Acid Rain Program*. Cambridge University Press. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=gn_k82DG76AC&oi=fnd&pg=PP1&dq=acid+rain+USA+1980+c+arbor+market&ots=3eAjWQRwL7&sig=WD19poVR9fUaNuclTW80rfexOg#v=onepage&q&f=false Acesso em novembro de 2024.
- EU, European Union, 2023. *Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)*. Disponível em: https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en Acesso em novembro de 2023.
- FAIRBAIRN, E.; AMERICANO, B.; CORDEIRO, G.; PAULA, T.; TOLEDO FILHO, R.; SILVOSO, M., 2010. *Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO₂ emissions reduction and potential for carbon credits*. *Journal of Environmental Management* 91 1864-1871. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.04.008.
- FEARNSIDE, P., 2011. *Brazil's Amazon forest in mitigating global warming: unresolved controversies*. *Climate Policy* 0 1-12. Earthscan ISSN: 1469-3062. DOI: 10.1080/14693062.2011.581571
- FEARNSIDE, P., 2013a. *What is at stake for Brazilian Amazonia in the climate negotiations*. *Climatic Change* 118, 509-519. DOI: 10.1007/s10584-012-0660-9.
- FEARNSIDE, P., 2013b. *Carbon credit for hydroelectric dams as a source of greenhouse-gas emissions: the example of Brazil's Teles Pires Dam*. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 18, 691-699. DOI: 10.1007/s11027-012-9382-6.
- FEARNSIDE, P., 2014. *Credit for climate mitigation by Amazonian dams: loopholes and impacts illustrated by Brazil's Jirau Hydroelectric Project*. *Carbon Management*, 4:6, 681-696. DOI: 10.4155/cmt.13.57.
- FEARNSIDE, P. 2015. *Tropical hydropower in the clean development mechanism: Brazil's Santo Antônio Dam as an example of the need for change*. *Climatic Change* 131, 575-589, Springer Science+Business Media Dordrecht. DOI: 10.1007/s10584-015-1393-3.
- FERNANDES, G.; BANHOS, A.; BARBOSA, N.; BARBOSA, M.; BERGALLO, H.; LOUREIRO, C.; OVERBECK, G.; SOLAR, R.; STRASSBURG, B.; VALE, M., 2018. *Restoring Brazil's road margins could help the country offset its CO₂ emissions and comply with the Bonn and Paris Agreements*. *Perspectives in Ecology and Conservation* 16, 105-112, Elsevier. DOI: 10.1016/j.pecon.2018.02.001.
- FOREST TRENDS' ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2018. *Carbon Offset Project Types and Categories (2018*)*. Washington DC: Forest Trends Association. Disponível em: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/09/Factsheet_Carbon-Offset-Project-Types-and-Categories.pdf Acesso em setembro de 2024.
- FOREST TRENDS' ECOSYSTEM MARKETPLACE, 2024. *State of Voluntary Carbon Markets 2024: On The Path to Maturity*. Washington DC: Forest Trends Association. Disponível em: <https://www.ecosystemmarketplace.com/publications/2024-state-of-the-voluntary-carbon-markets-sovcml/> Acesso em julho de 2024.
- FREITAS, S.; SOUSA, L.; DINIZ, P.; MARTINS, M.; ASSIS, P., 2018. *Steel slag and iron ore tailings to produce solid brick*. *Clean Technologies and Environmental Policy* 20, 1087-1095, Springer-Verlag GmbH Germany. DOI: 10.1007/s10098-018-1513-7.
- FUNDO AMAZÔNIA, 2023. *Definições do Fundo Amazônia*. Disponível em: <https://www.fundoamazonia.gov.br/pt/fundo-amazonia/> Acesso em novembro de 2023.
- GARCIA, B.; RIMMER, L.; VIEIRA, L.; MACKEY, B., 2021. *REDD+ and forest protection on indigenous lands in the Amazon*. *RECIEL* 30, 207-219, Wiley Periodicals LLC. DOI: 10.1111/reel.12389.
- GIOVANNI, A.; FREITAS, C.; CORONEL, D., 2013. *Analysis of CO₂ produced from cattle culture in the state of Rio Grande do Sul, Brazil*. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43, n.10, p. 1918-1923. ISSN: 0103-8478.
- GIRAÇOL, J.; PASSARINI, K.; SILVA FILHO, S.; CALARGE, F.; TAMBOURGI, E.; SANTANA, J., 2011. *Reduction in ecological cost through biofuel production from cooking oils: an ecological solution for the city of Campinas, Brazil*. *Journal of Cleaner Production* 19 1324-1329. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jclepro.2011.02.015.
- GODOY, S.; SAES, M., 2015. *Cap and trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento*. *Ambiente & Sociedade*, v. 18, n. ja/mar. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/asoc/v18n1/pt_1414-753X-asoc-18-01-00135.pdf. Acesso em novembro de 2023.
- GONÇALVES, V.; ANSELM, M., 2019. *Climate governance and international civil aviation: Brazil's policy profile*. *Rev. Bras. Polít. Int.*, 62(2): e003. DOI: 10.1590/0034-7329201900203.
- GRASSI, G.; CONCHEDDA, G.; FEDERICI, S.; VIÑAS, R.A.; KOROSUO, A.; MELO, J., (2022). *Carbon fluxes from land 2000–2020: Bringing clarity to countries' reporting*. *Earth System Science Data* 14(10), 4643-4666. <https://doi.org/10.5194/essd-14-4643-2022>.
- GUADALUPE, V.; SOTTA, E.; SANTOS, V.; AGUIAR, L.; VIEIRA, M.; OLIVEIRA, C.; SIQUEIRA, J., 2018. *REDD+ implementation in a high forest low deforestation area: constraints on monitoring forest carbon emissions*. *Land Use Policy* 76, 414-421, Elsevier. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.02.015.

- GUIMARAES, H.; BRESSANIN, J.; MOTTA, I.; CHAGAS, M.; KLEIN, B.; BONOMI, A.; MACIEL, R.; WATANABE, M., 2023. *Decentralization of sustainable aviation fuel production in Brazil through Biomass-to-Liquids routes: a techno-economic and environmental evaluation*. Energy Conversion and Management 276. Elsevier. DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116547.
- HAYA, B.; ABAYO, A.; RONG, X.; SO, I.; ELIAS, M., 2024. *Voluntary Registry Offsets Database v2024-08-31*. Berkeley Carbon Trading Project, University of California, Berkeley.
- HISSA, L.; AGUIAR, A.; CAMARGO, R.; LIMA, L.; GOLLNOW, F.; LAKES, T., 2019. *Regrowing forests contribution to law compliance and carbon storage in private properties of the Brazilian amazon*. Land Use Policy 88, 104163, Elsevier. DOI:10.1016/j.landusepol.2019.104163.
- HOFF, R.; RAJÃO, R.; LEROY, P.; BOEZEMAN, D., 2015. *The parallel materialization of REDD+ implementation discourses in Brazil*. Forest Policy and Economics 55, 37-45, Elsevier. DOI:10.1016/j.forpol.2015.03.005.
- HORN, C., 2023. *Brazil's Amazon Fund: A "Green Fix" between offsets pressures and deforestation crisis*. Antipode published by John Wiley & Sons. DOI: 10.1111/anti.12932.
- HUGEL, B.; HICKS, C.; GUEDEZ, P.; VAANANEN, E.; CHIU, M.; SCRIVEN, J.; EGGERTS, E. *Understanding REDD+ and the UNFCCC*. Learning Journal REDD+ Academy. Disponível em: https://www.un-redd.org/sites/default/files/2021-10/UN-REDD%20ACADEMY_2018_2reduced.pdf Acesso em junho de 2024.
- ICKOWITZ, A.; SILLS, E.; SASSI, C., 2017. *Estimating smallholder opportunity costs of REDD+: a pantropical analysis from households to carbon and back*. World Development, v.95, 15-26, Elsevier. DOI: 10.1016/j.worlddev.2017.02.022.
- ICVCM, The Integrity Council for the Voluntary Carbon Market, 2023a. *The Integrity Council for Voluntary Carbon Markets Core Carbon Principles and Assessment Framework FAQs*. Disponível em: <https://icvcm.org/wp-content/uploads/2023/10/ICVCM-FAQs.pdf> Acesso em novembro de 2023.
- ICVCM, 2023b. *Os Princípios Fundamentais do Carbono*. Disponível em: <https://icvcm.org/pt-pt/principios-fundamentais-do-carbono/?redirect=true> Acesso em novembro de 2023.
- IPAM, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2005. *O que é e como funciona o mercado de carbono?*. Disponível em: <https://ipam.org.br/cartilhas-ipam/o-que-e-e-como-funciona-o-mercado-de-carbono/> Acesso em novembro de 2024.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
- IPCC, 2024. *About IPCC*. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/about/> Acesso em novembro de 2024.
- KING, M.; GUTBERLET, J., 2013. *Contribution of cooperative sector recycling to greenhouse gas emissions reduction: A case study of Ribeirão Pires, Brazil*. Waste Management 33, 2771-2780. Elsevier. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.07.031.
- KREIBICH, N.; HERMWILLE, L., 2021. *Caught in between: credibility and feasibility of the voluntary carbon market post-2020*. Taylor & Francis Group, Climate Policy vol 21, n. 7, 939-957. DOI: 10.1080/14693062.2021.1948384.
- LADD, B.; LAFFAN, S.; AMELUNG, W.; PERI, P.; SILVA, L.; GERVASSI, P.; BONSER, S.; NAVALL, M.; SHEIL, D., 2013. *Estimates of soil carbon concentration in tropical and temperate forest and woodland from available GIS data on three continents*. Global Ecology and Biogeography 22, 461-469. Blackwell Publishing. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2012.00799.x.
- LEME, M.; ROCHA, M.; LORA, E.; VENTURINI, O.; LOPES, B.; FERREIRA, C., 2014. *Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil*. Resources, Conservation and Recycling 87, 8-20. Elsevier. DOI:10.1016/j.resconrec.2014.03.003.
- LUZ, F.; ROCHA, M.; LORA, E.; VENTURINI, O.; ANDRADE, R.; LEME, M.; OLMO, O., 2015. *Techno-economic analysis of municipal solid waste gasification for electricity generation in Brazil*. Energy Conservation and Management 103, 321-337, Elsevier. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.06.074.
- MCKINSEY, TSVCM: Força-Tarefa para Ampliar o Mercado Voluntário de Carbono, 2021. *A blueprint for scaling voluntary carbon markets to meet the climate challenge*. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/a-blueprint-for-scaling-voluntary-carbon-markets-to-meet-the-climate-challenge> Acesso em outubro de 2023.
- MEDEIROS, G.; FLORINDO, T.; TALAMINI, E.; FETT, A.; RUVIARO, C., 2020. *Optimising tree plantation land use in Brazil by analyzing trade-offs between economic and environmental factors using multi-objective programming*. Forests 11, 723, 1-22. DOI: 10.3390/f11070723.
- MELLO, A.; NUTTO, L.; WEBER, K.; SANQUETTA, C.; MATOS, J.; BECKER, G., 2012. *Individual Biomass and Carbon Equations for Mimosa Scabrella Benth. (Bracatinga) in Southern Brazil*. Silva Fennica 46(3) research articles. ISSN 0037-5330. Disponível em: <https://www.metla.fi/silvafennica/full/sf46/sf463333.pdf> Acesso em: setembro de 2023.

- MELLO, F.; CERRI, C.; DAVIES, C.; HOLBROOK, N.; PAUSTIAN, K.; MAIA, S.; GALDOS, M.; BERNOUX, M.; CERRI, C., 2014. *Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol*. Nature Climate Change, v.4, 605-609, Macmillan Publishers. DOI: 10.1038/NCLIMATE2239.
- MENDELSON, R., 2007. *A critique of the Stern report*. Yale University. Disponível em: <https://resources.environment.yale.edu/files/biblio/YaleFES-00000260.pdf> Acesso em novembro de 2024.
- MESQUITA, J.; GUTBERLET, J.; ARAUJO, K.; CRUVINEL, V.; DUARTE, F., 2023. *Greenhouse gas emissions reduction based on social recycling: a case study with waste picker cooperatives in Brasília, Brazil*. Sustainability 15, 9185. DOI: 10.3390/su15129185.
- MICHAELOWA, A.; SHISHLOV, I.; BRESCIA, D., 2019. *Evolution of international carbon markets: lessons for the Paris Agreement*. Wiley Periodicals, WIREs Clim Change 2019;e613, 24pp. DOI: 10.1002/wcc.613.
- MILAGRE, J.; MENDES, L.; TORRES, C.; PEREIRA, M.; DICK, G.; SCHUMACHER, M.; MORAIS JÚNIOR, V., 2023. *GHG emissions and removals of a federal institute campus from Brazil*. Scientia Forestalis, 51,e3935. DOI: 10.18671/scifor.v51.09.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1996. *Convenção sobre Mudança do Clima*. O Brasil e a Convenção-Quadro das Nações Unidas. C&T Brasil. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/08/convencaomudancadoclima.pdf> acesso em: outubro de 2024.
- MOR, S.; ANEJA, R.; MADAN, S., & GHIMIRE, M., 2023. *Kyoto Protocol and Paris Agreement: Transition from Bindings to Pledges – A Review*. Millennial Asia, 0(0). <https://doi.org/10.1177/09763996221141546>
- MORAES, B.; JUNQUEIRA, T.; PAVANELLO, L.; CAVALETTI, O.; MANTELATTO, P.; BONOMI, A.; ZAIAT, M., 2013. *Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: profit or expense?*. Applied Energy 113, 825-835. Elsevier. DOI:10.1016/j.apenergy.2013.07.018.
- MORAES, D.; GUIMARÃES, V.; CALLEJO, L.; GONÇALVES, B.; BOLOY, R., 2022. *SOFCEV: Conventional LCC reduction and NPV based on savings in fixed carbon by sugarcane*. Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, No. 105, pp. 47-59. DOI: 10.17533/udea.redin.20210952.
- MORAIS JUNIOR, V.; JACOVINE, L.; TORRES, C.; ALVES, E.; PAIVA, H.; CRUZ, R.; ZANUNCIO, J., 2018. *Early assessment of tree species with potential for carbon offset plantations in degraded area from southeastern Brazil*. Ecological Indicators 98, 854-860, Elsevier. DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.12.004.
- MORALES, M.; TONINI, H.; BEHLING, M.; HOSHIDE, A., 2023. *Eucalyptus carbon stock research in an integrated livestock-forestry system in Brazil*. Sustainability 15, 7550. DOI: 10.3390/su15107750.
- MOURA, A.; FREITAS, C., 2021. *Scalability in the application of geodesign in Brazil: expanding the use of the brazilian geodesign platform to metropolitan regions in transformative-learning planning*. Sustainability 13, 6508. DOI: 10.3390/su13126508.
- MOURA, N.; GUEDES, J.; CAVALCANTE, E.; OLIVEIRA, M.; MAIA, A.; CASTRO, A.; MOREIRA, C.; CARDOSO, D.; SAMPAIO, V., 2021. *Landscape information modelling (LIM) to improve feedback for carbon credit enhancement in metropolitan regions*. South America Geodesign 2021.
- NANTONGO, M.; VATN, A., 2018. *Estimating transaction costs of REDD+*. Ecological Economics 156, 1-11, Elsevier. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2018.08.014.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023. *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021*. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf> Acesso em novembro de 2023.
- OLDFIELD, E.; EAGLE, A.; RUBIN, R.; RUDEK, J.; SANDERMAN, J.; GORDON, D., 2021. *Agricultural soil carbon credits: Making sense of protocols for carbon sequestration and net greenhouse gas removals*. Environmental Defense Fund, New York. Disponível em: <https://www.edf.org/sites/default/files/content/agricultural-soil-carbon-credits-protocol-synthesis.pdf> Acesso em: novembro de 2024.
- OLIVEIRA, C.; ROCHEDO, P.; BHARDWAJ, R.; WORRELL, E.; SZKLO, A., 2019. *Bio-ethylene from sugarcane as a competitiveness strategy for the Brazilian chemical industry*. Biofuels, Bioprod. Bioref. 14:286-300, Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons. DOI: 10.1002/bbb.2069.
- PAES, M.; MEDEIROS, G.; MANCINI, S.; RIBEIRO, F.; OLIVEIRA, J., 2019. *Transition to circular economy in Brazil: a look at the municipal solid waste management in the state of São Paulo*. Management Decision, v.59, n.8, 1827-1840, Emerald Publishing. DOI: 10.1108/MD-09-2018-1053.
- PEREIRA, S. N. C., 2010. *Payment for Environmental Services in the Amazon Forest: How Can Conservation and Development Be Reconciled?*. The Journal of Environment & Development 19(2), 171-190. SAGE Publications. DOI: 10.1177/1070496510368047
- PEREIRA, R.; SALVADOR, R.; SALES, G.; OBAL, J.; PIEKARSKI, C.; FRANCISCO, A., 2022. *Energy from livestock waste: using circular economy and territorial intelligence to build sustainable business*. Energy & Environment, V. 34(6), 2072-2092, Sage. DOI: 10.1177/0958305X221108495.
- PETRIELLI, G.; NOGUEIRA, G.; HENZLER, D.; SOUZA, N.; BRUNO, K.; LUCIANO, A.; MAIRE, G.; HERNANDE, T., 2023. *Integrating carbon footprint to spatialized modeling: the mitigation potential of sugarcane*

ethanol production in the Brazilian Center-South. Resources, Conservation & Recycling 189. Elsevier. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106725.

PETTICREW, M.; ROBERTS, H., 2006. *Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide*. Blackwell Publications, Oxford, Malden, MA.

PIGHINELLI, A.; SCHAFFER, M.; BOATENG, A., 2017. *Utilization of eucalyptus for electricity production in Brazil via fast pyrolysis: a techno-economic analysis*. Renewable Energy 119, 590-597, Elsevier. DOI: 10.1016/j.renene.2017.12.036.

RAWORTH, K., 2012. *A safe and just space for humanity*. Oxfam Discussion Papers. Disponível em: https://www-cdn.oxfam.org/s3fs-public/file_attachments/dp-a-safe-and-just-space-for-humanity-130212-en_5.pdf Acesso em novembro de 2024.

ROCHA, W.; SILVA, C.; MENDOZA, C.; ALVES, Y.; SANTOYO, A.; VILARDELL, M., 2016. *An institutional approach to the clean development mechanism: the pig farming case of a small rural property*. Interciência, v.41, n.3, p.204-212. ISSN: 0378-1844.

SALLES, G.; SALINAS, D.; PAULINO, S., 2017. *How funding source influences the form of REDD+ initiatives: the case of market versus public funds in Brazil*. Ecological Economics 139, 91-101, Elsevier. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2017.04.003.

SALVADOR, G.; SALIM, V.; TONIOLO, F., 2022. *Sustainability assessment of a decentralized green diesel production in small-scale biorefineries*. Biofuels, Bioprod. Bioref. 16: 1527-1550. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons. DOI: 10.100/bbb.2419.

SANTANA, J.; MIRANDA, A.; SOUZA, L.; YAMAMURA, C.; COELHO, D.; TAMBOURGI, E.; BERSANETI, F.; HO, L., 2021. *Clean production of biofuel from waste cooking oil to reduce emissions, fuel cost, and respiratory disease hospitalizations*. Sustainability 13, 9185. DOI: 10.3390/su13169185.

SANTOS, L.; GOMES, J.; BRAGA, R.; DAVID, J.; STROELE, V., 2023. *Towards a SECO for carbon credit control*. 11th International Workshop on Software Engineering for Systems-of-Systems and Software Ecosystems (SESoS). DOI: 10.1109/SESoS59159.2023.00008.

SCHIERMEIER, Q., 2012. *Hot Air, commitments made under the Quioto climate treaty expire at the end of 2012, but emissions are rising faster than ever*. Nature, Macmillan Publishers Limited vol. 491 pp. 656-658.

SCHINDLER, S.; KANAI, J., 2018. *Producing localized commodity frontiers at the end of cheap nature: an analysis of eco-scalar carbon fixes and their consequences*. International Journal of Urban and Regional Research, 828-844, John Wiley & Sons. DOI: 10.1111/1468-2427.12665.

SILVA, D. E. G., 1996. *La oralidad en el discurso narrativo escrito de adolescentes mexicanos: el fenómeno lingüístico de la repetición*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Filosofía y Letras. Tesis de Doctorado.

SILVA FILHO, S.; SILVA, T.; MIRANDA, A.; FERNANDES, M.; FELÍCIO, H.; CALARGE, F.; SANTANA, J.; TAMBOURGI, E., 2014. *The potential of biodiesel production from frying oil used in the restaurants of São Paulo city, Brazil*. Chemical Engineering Transactions, 37, 577-582. DOI: 10.3303/CET1437097.

SILVA FILHO, S.; MIRANDA, A.; SILVA, T.; CALARGE, F.; SOUZA, R.; SANTANA, J.; TAMBOURGI, E., 2018. *Environmental and techno-economic considerations on biodiesel production from waste frying oil in São Paulo city*. Journal of Cleaner Production 183, 1034-1042, Elsevier. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.199.

SLOMSKI, V.; LIMA, I.; SLOMSKI, V.; SLAVOV, T., 2020. *Pathways to urban sustainability: an investigation of the economic potential of untreated household solid waste (HSW) in the city of São Paulo*. Sustainability 12, 5249, 1-19. DOI: 10.3390/su12135249.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MERRY, F.; RODRIGUES, H.; DAVIS, J.; LIMA, L.; MACEDO, M.; COE, M.; CARNEIRO, A.; SANTIAGO, L., 2016. *Brazil's market for trading forest certificates*. PLoS ONE 11 (4): e0152311. DOI: 10.1371/journal.pone.0152311.

SOBRINHO, V., 2023. *All the loners mingle - where do they all come from and belong? Regulating sectoral emissions and carbon markets in Brazil*. Journal of Cleaner Production 390. Elsevier. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.136114.

SONTER, L.; BARRETT, D.; MORAN, C.; SOARES-FILHO, B., 2015. *Carbon emissions due to deforestation for the production of charcoal used in Brazil's steel industry*. Nature Climate Change, v.5, 359-363, Macmillan Publishers. DOI: 10.1038/NCLIMATE2515.

SOUZA, N.; FRACAROLLI, J.; JUNQUEIRA, T.; CHAGAS, M.; CARDOSO, T.; WATANABE, M.; CAVALETT, O.; VENZKE, S.; DALE, B.; BONOMI, A.; CORTEZ, L., 2018. *Sugarcane ethanol and beef cattle integration in Brazil*. Biomass and Bioenergy 120, 448-457, Elsevier. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.12.012.

SOUZA, C.; BALDONI, A.; TONINI, H.; MAIA, V.; SANTOS, R.; LUVISON, M.; SANTOS, J., 2023. *Ecological patterns and conservation opportunities with carbon credits in Brazil nut groves: a study-case in the Southeast Amazon*. CERNE, 2023, v.29, e-103164, DOI:10.1590/01047760202329013164.

STRECK, C.; DYCK, M.; TROUWLOON, D., 2021. *The voluntary carbon market explained*. Disponível em: <https://vcprimer.org/> Acesso em novembro de 2023.

TELLES, T.; NOGUEIRA, M.; HUNGRIA, M., 2023. *Economic value of biological nitrogen fixation in soybean crops in Brazil*. Environmental Technology & Innovation 31, 103158. Elsevier. DOI: 10.1016/j.eti.2023.103158.

THE GUARDIAN; CORPORATE ACCOUNTABILITY, 2023. *Revealed: top carbon offset projects may not cut planet-heating emissions*. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2023/sep/19/do-carbon-credit-reduce-emissions-greenhouse-gases> Acesso em outubro de 2023.

TOLEDO, D.; JACOVINE, L.; TORRES, C.; SOARES, C. *Biomass equation and carbon stock of jatropa crop, in Viçosa, Minas Gerais, Brazil*. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.11, p.1998-2004, ISSN 0103-8478.

TROUWLOON, D.; STRECK, C.; CHAGAS, T.; MARTINUS, G., 2023. *Understanding the Use of Carbon Credits by Companies: A Review of the Defining Elements of Corporate Climate Claims*. Global Challenges published by Wiley-VCH GmbH. DOI: 10.1002/gch2.202200158.

TSAL, D.; POTENZA, R.; QUINTANA, G.; CARDOSO, M.; SILVA, F.; GRACES, I.; COLUNA, I.; CARVALHO, K.; ZIMBRES, B.; SILVA, C.; SILVA, S.; SOUZA, E.; SHIMBO, J.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; HERSCHMANN, S.; ARAUJO, S., 2023. *Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil*. Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), Observatório do Clima. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/02/SEEG11-RELATORIO-ANALITICO.pdf> Acesso em outubro de 2024.

TSAY, M.Y., 2013. *Knowledge input for the domain of information science a bibliometric and citation analysis study*, Aslib Proceedings, Vol. 65 No. 2, pp. 203-220.

UN, UNITED NATIONS, 2023. *The 17 goals of sustainable development*. Disponível em: <https://sdgs.un.org/goals> Acesso em novembro de 2024.

UN, 2024. *United Nations Conference on the Human Environment, 5-16 June 1972, Stockholm*. Disponível em: <https://www.un.org/en/conferences/environment/stockholm1972> Acesso em novembro de 2024.

UNEP, United Nations Environment Programme, 2019. *Megadiverse Brazil: giving biodiversity an online boost*. Disponível em: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/megadiverse-brazil-giving-biodiversity-online-boost#:~:text=Brazil%20is%20at%20the%20top.more%20than%204%2C000%20plant%20species>. Acesso em outubro de 2023.

UNEP, 2022. *About Montreal Protocol*. Disponível em: <https://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol> Acesso em novembro de 2024.

UNEP, 2023. *Emissions Gap Report 2023: Broken Record - Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again)*. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2023> Acesso em outubro de 2024.

UNEP, 2024a. *Emissions Gap Report 2024: No more hot air... please!*. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024> Acesso em outubro de 2024.

UNEP, 2024b. *Carbon Markets*. Disponível em: <https://www.unep.org/topics/climate-action/climate-finance/carbon-markets> Acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 1992. *United Nations framework convention on climate change*. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>. Acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 2020. *Paris Agreement*. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> Acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 2022a. *What is the Kyoto Protocol?* Disponível em: https://unfccc.int/kyoto_protocol Acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 2022b. *Emissions Trading - Kyoto Protocol*. Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading> acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 2023. *A Brief Introduction to the Climate Change Convention*. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/ccsites/tanzania/conven/text/intro.htm> Acesso em novembro de 2024.

UNFCCC, 2024. *Key standards for UN Carbon Market finalized ahead of COP29*. Disponível em: <https://unfccc.int/news/key-standards-for-un-carbon-market-finalized-ahead-of-cop29> Acesso em novembro de 2024.

UNNIKRISHNAN, S.; SINGH, A., 2010. *Energy recovery in solid waste management through CDM in India and other countries*. Resources, Conservation and Recycling 54 630-640. Elsevier. DOI: 10.1016/j.reconrec.2009.11.003

VARGAS, D.; DELAZERI, L.; FERREIRA, V., 2021. *Mercado voluntário de carbono no Brasil na realidade e na prática*. Disponível em: https://eesp.fgv.br/sites/eesp.fgv.br/files/ocbio_mercado_de_carbono_1.pdf Acesso em novembro de 2023.

VARGAS, D.; DELAZERI, L.; FERREIRA, V., 2022. *O avanço do mercado voluntário de carbono no Brasil: desafios estruturais, técnicos e científicos*. Disponível em: <https://eesp.fgv.br/centros/observatorios/bioeconomia> Acesso em novembro de 2024.

VCMI, Voluntary Carbon Market Initiative, 2023. *Claims Code of Practice, Building integrity in voluntary carbon markets*. Disponível em: <https://vcmintegrity.org/wp-content/uploads/2023/06/VCMI-Claims-Code-of-Practice.pdf> Acesso em novembro de 2023.

- VENTUROLI, F.; CARVALHO, F.; SILVA NETO, C.; MORAES, D.; MARTINS, T.; SOUZA, D., 2015. *Forest management in the Cerrado biome: an option to conserve and to profit*. Sci. For., Piracicaba, v.43, n.107, p. 617-626.
- WEI, Y.; YI, M.; YU, Y.; YOU, Y.; ZHANG, W.; LI, R.; YU, C.; WANG, S., 2023. *Global drivers of timber carbon stock from income-based perspective*. Front. Environ. Sci. 11:1149492. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1149492.
- WEST, T.; BÖRNER, J.; FEARNSIDE, P., 2019. *Climatic benefits from the 2006-2017 avoided deforestation in amazonian Brazil*. Front. For. Glob. Change 2:52. DOI: 10.3389/ffgc.2019.00052.
- WORLD BANK, 2024. *State and trends of carbon pricing 2024*. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/b0d66765-299c-4fb8-921f-61f6bb979087> Acesso em novembro de 2024.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987. *Our common future*. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> Acesso em novembro de 2024.
- WORLD ECONOMIC FORUM, 2024. *Why the voluntary carbon market is key to scaling carbon dioxide removal and delivering net-zero*. Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2024/09/voluntary-carbon-market-carbon-dioxide-removal-net-zero/> Acesso em novembro de 2024.
- YANAI, A.; FEARNSIDE, P.; GRAÇA, P.; NOGUEIRA, E., 2012. *Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: Simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve*. Forest Ecology and Management 282 78-91. Elsevier. DOI: 10.16/j.foreco.2012.06.029

Apêndice I

INFORMAÇÕES GERAIS DO DOCUMENTO

Q1. Autor(a) principal

Q2. Título

Q3. Palavras-chave

Q4. Ano de publicação

Q5. Afiliação do(a) autor(a) principal:

Universidade/ Centro de Pesquisa / Governo / ONG
/ Sociedade Civil/Outro

Q6. País do(a) autor(a) principal:

Q7. Afiliação dos co-autores: Universidade/ Centro
de Pesquisa / Governo / ONG / Sociedade
Civil/Outro

Q8. País(es) dos co-autores:

Q9. Fonte(s) de financiamento

- a) Não identifica
- b) Autofinanciada
- c) Agência pública de financiamento
- d) Financiamento Privado
- e) emissora
- f) Outro

CARACTERÍSTICAS DOS PROJETOS E CRÉDITOS DE CARBONO

Q10. SITUAÇÃO DO CRÉDITO:

	S.....N	
a) crédito já emitido	1	0
b) crédito a ser emitido	1	0
c) crédito perdido	1	0

Q11. Categoria DO(S) PROJETO(S): escolha 1 ou
mais

	S.....N	
a) Floresta e uso da terra	1	0
b) Energia renovável	1	0
c) Processos químicos / produção industrial	1	0
d) gestão de resíduos	1	0
e) Eficiência energética /	1	0

troca de
combustível

f) Dispositivos domésticos / comunitários	1	0
g) Transporte	1	0
h) Agricultura	1	0
i) Outros	1	0

Q12. Contexto do projeto: escolha 1 ou mais

	S.....N	
Urbano	1	0
Rural	1	0
Natural	1	0

Q13. emissora: escolha 1 ou mais

	S.....N	
a) Verra (VCS)	1	0
b) Gold Standard (VCU)	1	0
c) Autoridade Nacional (MDL)	1	0
d) Governo	1	0
e) American Carbon Registry (ACR)	1	0
f) Não cita	1	0

Q14. Stakeholders: escolha 1 ou mais

	S.....N	
a) ONG municipal	1	0
b) ONG nacional	1	0
c) ONG internacional	1	0
d) Governo municipal	1	0
e) Governo federal	1	0
f) Empresa privada	1	0
g) Proprietário de terra (pessoa física)	1	0
h) Comunidades tradicionais	1	0

Q15. Região: escolha 1 ou mais

	S.....N	
a) América do Norte	1	0
b) América Central	1	0
c) América do Sul	1	0
d) Brasil	1	0
e) Europa	1	0
f) Oriente Médio	1	0
g) África	1	0
h) Ásia	1	0
i) Oceania	1	0

Q16. Estado(s) Brasileiro(s)

S.....N

a)	Acre	1	0
b)	Alagoas	1	0
c)	Amapá	1	0
d)	Amazonas	1	0
e)	Bahia	1	0
f)	Ceará	1	0
g)	Distrito Federal	1	0
h)	Espírito Santo	1	0
i)	Goiás	1	0
j)	Maranhão	1	0
k)	Mato Grosso	1	0
l)	Mato Grosso do Sul	1	0
m)	Minas Gerais	1	0
n)	Pará	1	0
o)	Paraíba	1	0
p)	Paraná	1	0
q)	Pernambuco	1	0
r)	Piauí	1	0
s)	Rio de Janeiro	1	0
t)	Rio Grande do Norte	1	0
u)	Rio Grande do Sul	1	0
v)	Rondônia	1	0
w)	Roraima	1	0
x)	Santa Catarina	1	0
y)	São Paulo	1	0
z)	Sergipe	1	0
aa)	Tocantins	1	0

BENEFÍCIOS E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS ANUNCIADOS, DEFICIÊNCIAS, INEFICIÊNCIAS E DESAFIOS IDENTIFICADOS

Q17. Benefícios do(s) projeto(s)

	S.....N	
a)	Não menciona	1 0
b)	Geração de receita	1 0
c)	Recuperação energética de aterro sanitário	1 0
d)	Estímulo à economia circular	1 0
e)	Estímulo à agricultura sustentável	1 0
f)	Valorização de nativa com alta capacidade para	1 0

	sequestrar carbono	
g)	Estímulo financeiro governamental	1 0
h)	Desmatamento evitado	1 0
i)	Adequação à regulação não governamental de mercado	1 0
j)	Outros	1 0

Q18. Impactos socioambientais positivos

	S.....N	
a)	Não menciona	1 0
b)	Redução do impacto em corpos hídricos	1 0
c)	Aumento do monitoramento de florestas	1 0
d)	Sensibilização ambiental da comunidade local	1 0
e)	Empoderamento dos Povos e Comunidades Tradicionais	1 0
f)	Outros	1 0

Q19. Deficiências do desenho do(s) projeto(s)

	S.....N	
a)	Não menciona	1 0
b)	Sem adicionalidade	1 0
c)	Alegações exageradas	1 0
d)	Linha de base inflada	1 0
e)	Sem permanência	1 0
g)	Sem participação da comunidade local	1 0
h)	Outros	1 0

Q20. Ineficiências na operacionalização do(s) projeto(s)

	S.....N	
a)	Não menciona	1 0

- | | | | |
|----|---|---|---|
| b) | Sem
permanência
(constatada) | 1 | 0 |
| c) | Vazamento de
emissões | | |
| d) | Ausência ou
baixa qualidade
da participação
social
(prevista no
desenho do
projeto) | 1 | 0 |
| e) | Outros | 1 | 0 |

Q21. Desafios na implementação do(s) projeto(s)

- | | <u>S.....N</u> | | |
|----|------------------------------|---|---|
| a) | Não menciona | 1 | 0 |
| b) | Complexidade
regulatória | 1 | 0 |
| c) | Complexidade
metodológica | 1 | 0 |
| d) | Complexidade
operacional | 1 | 0 |
| e) | Ausência de
incentivos | 1 | 0 |
| f) | ... | | |
| g) | Outros | 1 | 0 |