



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA-CCET
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE-PPGEA

CARLOS ALBERTO LIMA MELO JUNIOR

**MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) NO
MARANHÃO: cenário atual e potencial para negócios no
mercado de carbono.**

São Luís

2019

CARLOS ALBERTO LIMA MELO JUNIOR

**MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) NO
MARANHÃO: cenário atual e potencial para negócios no
mercado de carbono.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Energia e
Ambiente da Universidade Federal do
Maranhão, para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jaiver Efren Jaimes
Figueroa

Co-orientadora: Prof.^a Dra. Teresa Cristina
Rodrigues dos Santos Franco

São Luís

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Melo, Carlos Alberto Lima Junior.

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO MDL NO MARANHÃO :
canário atual e potencial para negócios no mercado de
carbono / Carlos Alberto Lima Junior Melo. - 2019.
102 f.

Coorientador(a): Teresa Cristina Rodrigues dos Santos
Franco.

Orientador(a): Jaiver Efren Jaimes Figueroa.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Energia e Ambiente/ccet, Universidade Federal do Maranhão,
São Luís, 2019.

1. Matriz Energética. 2. Metodologia ACM0002. 3.
Mudanças Climáticas. I. Figueroa, Jaiver Efren Jaimes.
II. Franco, Teresa Cristina Rodrigues dos Santos. III.
Título.

CARLOS ALBERTO LIMA MELO JUNIOR

**MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) NO
MARANHÃO: cenário atual e potencial para negócios no
mercado de carbono.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Energia
e Ambiente, da Universidade Federal do
Maranhão-UFMA, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre
Profissional em Energia e Ambiente.

Aprovada em / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jaiver Efren Jaimes Figueroa (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Prof. Dr. Paulo Henrique da Silva Leite Coelho (Membro interno)

Universidade Federal do Maranhão-UFMA

Prof.^a Dra. Helmara Diniz Costa Viegas (Membro externo)

Universidade Estadual do Maranhão-UEMA

Prof.^a Dra. Teresa Cristina Rodrigues dos Santos Franco (Co-orientadora)

Universidade Federal do Maranhão-UFMA

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado condições de caminhar nessa jornada.

Aos meus pais, por serem o meu modelo de caráter.

À minha esposa, Susana Maryelle, pela companhia e pelo incentivo constante em todas as decisões tomadas.

À minha filha de 8 anos, Maria Sofia, pela compreensão da minha ausência em alguns momentos de dedicação a pesquisa.

Ao meu orientador e co-orientadora, pelo intenso suporte prestado para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

A todos os amigos e demais familiares que contribuíram com o encerramento de mais essa etapa.

RESUMO

A comunidade internacional, sob a coordenação das Nações Unidas, vem buscando, desde 1972, soluções para o problema da mudança climática no planeta. Mais recentemente, em 2015, durante o “Acordo de Paris”, foram definidos objetivos de longo prazo para limitar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo o primeiro deles extensivo a todos os países partes da Convenção do Clima. Para auxiliar os países integrantes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) no cumprimento dessas metas, foi criado o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), o qual tem possibilitado o financiamento de projetos renováveis para a redução das emissões de tonelada equivalente de dióxido de carbono (tCO_{2eq}) nos países em desenvolvimento, e, concomitantemente, contribuído para o desenvolvimento sustentável destes. Esse incentivo oportunizou ainda o surgimento de *comodities* em créditos de carbono e, conseqüentemente em um “mercado de carbono”. Deste modo, mediante investigação bibliográfica, foi caracterizado o cenário atual do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Maranhão, bem como estimado o potencial de sua Matriz Energética para viabilizar negócios no Mercado de Carbono. Neste último, foi proposto um fluxograma ajustado à metodologia ACM0002, disponibilizada pela UNFCCC. Os cálculos levaram em consideração os empreendimentos renováveis conectados ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Estimou-se um potencial para redução de emissões em torno de 8,23 Milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono até o ano de 2027, o que levará a uma cifra de R\$ 535,23 Milhões de reais para negociações no mercado de carbono. Neste contexto, o estudo contribuiu com informações relevantes para a melhoria das políticas públicas no setor energético renovável, bem como para o aumento dos benefícios gerados por projetos MDL.

Palavras - chave: Mudanças Climáticas. Matriz Energética. Metodologia ACM0002.

ABSTRACT

The international community, under the coordination of the United Nations, has been searching, since 1972, to solve the problem of climate change on the planet. More recently, in 2015, during the "Paris Agreement", long-term objectives were set to limit GHG emissions, being the first of them extended to all countries parties to the Climate Convention. And to assist United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) member countries in achieving these goals, the Clean Development Mechanism (CDM) was created, what has made possible the financing of renewable projects to reduce emissions of tCO_{2eq} (tonnes of carbon dioxide equivalent) in developing countries, and, concomitantly, has contributed to their sustainable development. This incentive also gave rise to the emergence of commodities (carbon credits) and consequently a market (carbon market). In this way, through a bibliographical research, the current scenario of the Clean Development Mechanism in Maranhão was characterized, as well as estimated the potential of its Energy Matrix to provide business in the Carbon Market. In the latter, a flowchart adjusted to the methodology ACM0002 provided by the UNFCCC was proposed, whose calculations took into account the renewable projects connected to the National Interconnected System (SIN). Until the year of 2027, a potential emission reduction of around 8.23 million tons of carbon dioxide equivalent has been estimated, which will allow a figure of R \$ 535.23 million for negotiations in the carbon market. In this context, the study constituted relevant information for the improvement of public policies in the renewable energy sector, as well as for the increase in the benefits generated by CDM projects.

Key words: Climate Change. Energy Matrix. ACM0002 Methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comércio de Emissões em todo o mundo	33
Figura 2 – Intercâmbio entre mercados	34
Figura 3 – Locais de projetos voluntários de crédito de carbono, 2008-2018	35
Figura 4 – Ciclo de vida do crédito de carbono	39
Figura 5 – Projeções de emissões de CO _{2eq} e meta de redução em Milhões de toneladas por ano.....	42
Figura 6 – Ciclo de Projeto no âmbito das Nações Unidas	45
Figura 7 – Processo típico e seu melhoramento	47
Figura 8 – Processos da CTR Rosário	48
Figura 9 – Planta completa da estação de tratamento	49
Figura 10 – Vista panorâmica das unidades eólicas do complexo Delta 3.....	51
Figura 11 – Cenário do cálculo estimativo de reduções de emissões	53
Figura 12 – Lista de metodologias aplicáveis a empreendimentos que produzem eletricidade	54
Figura 13 – Fator de emissão por fonte.....	56
Figura 14 – Transformações de Energias.....	59
Figura 15 – Composição da oferta de energia primária no Brasil: 2000 esq x 2017 dir	62
Figura 16 – Sistema Interligado Nacional (SIN).....	64
Figura 17 – Usinas Eólicas contratadas nos Leilões de energia da ANEEL.....	71
Figura 18 – Fluxograma	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gases do Efeito Estufa e o valor correspondente CO _{2eq}	27
Tabela 2 – Resumo do Mercado de Carbono Regulado.....	32
Tabela 3 – Oferta x Demanda nos Mercados de Carbono.....	36
Tabela 4 – Fatores de emissão do SIN dos últimos 4 anos em tCO _{2eq} /MWh	57
Tabela 5 – Conversão de unidades na Matriz Energética	60
Tabela 6 – Classificação das fontes energéticas	61
Tabela 7 – Indicadores da NDC versus o PDE 2027	66
Tabela 8 – Capacidade instalada na matriz elétrica Maranhense.....	67
Tabela 9 – Energia Gerada no SIN em GWh.....	68
Tabela 10 – Estimativa na OIEE nacional até 2027	72
Tabela 11 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto I.....	77
Tabela 12 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto II.....	78
Tabela 13 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto III.....	79
Tabela 14 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto IV	80
Tabela 15 – Fatores de Emissões	81
Tabela 16 – Os pesos.....	81
Tabela 17 – Fator de Emissão do SIN	81
Tabela 18 – Energia Gerada (EG) no SIN pelas fontes elegíveis na ACM0002	82
Tabela 19 – Reduções de Emissões reais.....	82
Tabela 20 – Validação da metodologia ACM0002	82
Tabela 21 – OIEE global no Maranhão em 2027.....	85
Tabela 22 – Reduções de Emissões estimadas para a Geração Eólica.....	86
Tabela 23 – Reduções de Emissões estimadas para a Geração Hidráulica	87
Tabela 24 – Emissão zero na matriz elétrica Maranhense	88
Tabela 25 – Estimativas de Financeiras	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Oferta e Demanda de Energia Interna no Brasil	22
Gráfico 2 – Composição e perspectivas da Matriz Elétrica do Maranhão	22
Gráfico 3 – Oferta interna de eletricidade por fonte.....	63
Gráfico 4 – Série histórica de emissões de CO ₂ eq pelo setor elétrico.....	63
Gráfico 5 – Oferta interna de eletricidade (OIEE) por fonte no Maranhão.....	68
Gráfico 6 – FC por estados no Brasil	70
Gráfico 7 – Estimativa de Produção Eólica em GWh no Maranhão até 2027	84
Gráfico 8 – Estimativa de Produção Hidráulica em GWh no Maranhão até 2027	85
Gráfico 9 – Oferta interna de eletricidade (OIEE) por fonte no Maranhão.....	86
Gráfico 10 – Cotação do crédito de carbono	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAU – *Assigned Amount Units*

ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica

AM – Atividade de Mitigação

ACM – *Activity Categorization by Mitigation*

ACR – *American Carbon Registry*

AIA – Avaliação de Impacto Ambiental

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

AND – Autoridade Nacional Designada

BE – *Baseline Emissions* ou Emissões de Linha de Base

BEN – Balanço Energético Nacional

BM&FBOVESPA – Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo

B3 – Brasil, Bolsa e Balcão

CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CCX – *Chicago Climate Exchange*

CDM – *Clean Development Mechanism*

CE – Comercio de Emissões

CER – *Certified Emissions Reduction*

CFD – *Contract For Difference*

CFI – *Carbon Financial Unit*

CIMGC – Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima

COP – *Conference of the Parties*

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima

CPAs – *Component Project Activities*

CTR – Centro de Tratamento de Resíduos

CVM – Comissão de Valores Mobiliários

DCP – Documento de Concepção do Projeto

DS - Desenvolvimento Sustentável

DNA – *Designated National Authority*

EB – Comitê Executivo do MDL

EG – Energia Gerada

EF_{grid,CM} – Fator de Emissão de margem combinada

EF_{grid,OM} – Fator de Emissão de margem de operação

EF_{grid,BM} – Fator de Emissão de margem de construção

EOD – Entidade Operacional Designada

ECX – *European Climate Exchange*

ER – Emissões Reduzidas

ERPA - *Emission Reduction Purchase Agreement* ou Compromisso de Compra de Reduções de Emissões

ERU – *Emissions Reduction Unit*

EPE – Empresa Pesquisas Energéticas

ET– *Emissions Trade*

EU-ETS – *European Union – Emissions Trading System*

GEE – Gás de Efeito Estufa

GWP – *Global Warming Potential*

IC – Implementação Conjunta

ICE – *Intercontinental Exchange*

ICO₂– Índice de Carbono Eficiente

ICROA – *International Carbon Reduction and Offset Alliance*

INDC – *Intended Nationally Determined Contribution*

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IREC – *International Renewable Energy Certificate*

ISE – Índice de Sustentabilidade Empresarial

ITMO – *Internationally Transferred Mitigation Outcomes*

LFG – *Landfill gas* (Gás de Aterro Sanitário)

LSE – *London Stock Exchange*

MBRE – Mercado Brasileiro de Redução de Emissões

MCTIC – Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

MDS – Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NDC – *Nationally Determined Contribution*

ONU – Organização das Nações Unidas

ONS – Operador Nacional do Sistema

OTC – *Over-The-Counter*

PDD – *Project Design Document*

PDE – Plano Decenal de Expansão de Energia

PI's– Padrões Internacionais

PA – *Project Activity*

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PoAs – *Programme of Activities*

PE – *Project Emissions* ou Emissões de Projeto

PP – Proponente do Projeto

PSA – Pagamento por Serviços Ambientais

RCEs – Reduções Certificadas de Carbono

SEINC – Secretaria de Estado da Indústria, Comércio e Energia

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa

SIN – Sistema Interligado Nacional

TEP – Tonelada Equivalente de Petróleo

UHE – Usina Hidrelétrica

UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

VCS – *Verified Carbon Standard*

VER – *Verified Emission Reduction*

WBM – *Weighting of Build Margin* ou Ponderação da margem de construção

WOM – *Weighting of Operating Margin* ou Ponderação da margem de operação

Substâncias Químicas

CO₂ – Dióxido de carbono

CO_{2eq} – Dióxido de carbono equivalente

CFCs – Clorofluorcarbonetos

CH₄ – Metano

N₂O – Óxido nitroso

PFCs – Perfluorcarbonetos

HFCs – Hidrofluorcarbonetos

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre

Unidades de Medida

GWh – Gigawatt-hora

MW – Megawatt

MWh – Megawatt-hora

t – tonelada métrica

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVO GERAL	24
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2. REVISÃO DE LITERATURA	24
2.1 MERCADO DE CARBONO	24
2.1.1 CRÉDITO DE CARBONO	26
2.1.2 MERCADO REGULADO DE CARBONO	29
2.1.2.1 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL).....	31
2.1.3 MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO	33
2.1.4 AMBIENTES DE NEGOCIAÇÃO	35
2.1.5 CICLO DE VIDA DO CRÉDITO DE CARBONO.....	38
2.2 MARCO REGULATÓRIO DO MDL	39
2.3 CICLO DE PROJETO MDL	44
2.4 PROJETOS MDL NO MARANHÃO	46
2.4.1 PROJETO I – Carbonização da Energia Verde.....	47
2.4.2 PROJETO II – Gás de Aterro da CTR Rosário-MA	48
2.4.3 PROJETO III – Marco dos Ventos I (<i>Wind Power Plant</i>)	50
2.4.4 PROJETO IV – Delta 3 (<i>Wind Power Plant</i>)	50
2.5 METODOLOGIAS DE REDUÇÕES DE EMISSÕES	51
2.5.1 METODOLOGIA ACM0002.....	54
2.5.1.1 EMISSÕES DE LINHA DE BASE.....	55
2.5.1.2 EMISSÕES DO PROJETO	58
2.5.1.3 REDUÇÕES DE EMISSÕES	58
2.6 MATRIZ ENERGÉTICA.....	59
2.6.1 MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA	63
2.6.2 MATRIZ ELÉTRICA MARANHENSE	66
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.1 REDUÇÕES DE EMISSÕES DO PROJETO I	76
4.2 REDUÇÕES DE EMISSÕES DO PROJETO II	77

4.3 REDUÇÕES DE EMISSÕES DO PROJETO III	78
4.4 REDUÇÕES DE EMISSÕES DO PROJETO IV	79
4.5 RESULTADOS DO BLOCO I	80
4.6 RESULTADOS DO BLOCO II	81
4.7 RESULTADOS DO BLOCO III	82
4.8 RESULTADOS DO BLOCO IV	83
4.9 RESULTADOS DO BLOCO V	88
5. CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE A – FATORES DE EMISSÕES DA MARGEM DE OPERAÇÃO (OM) E CONSTRUÇÃO (BM) RELATIVOS AOS ANOS DE 2017 E 2018.....	101
ANEXO 1 – PAÍSES DO “ANEXO I” DO PROTOCOLO DE KYOTO.....	102

1. INTRODUÇÃO

Em 1972, durante a Conferência sobre o Meio Ambiente realizada em Estocolmo, Suécia, a comunidade internacional, representada pelas Nações Unidas, deu início a programas e ações buscando soluções para o problema da mudança climática no planeta. Depois, em 1992, no Rio de Janeiro, a chamada Cúpula da Terra definiu uma agenda política internacional para a mudança do clima e o desenvolvimento sustentável de forma mais concreta. Como resultado do encontro foi definido um plano de ação denominado Agenda 21 e o tratado internacional Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) ou do original em inglês, *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) (LAZARO; GREMAUD, 2017).

Segundo Lazaro e Gremaud (2017), o tratado UNFCCC das Nações Unidas carrega a base jurídica para as ações nas mudanças climáticas no mundo. Sua importância consiste em ter traçado objetivos e princípios básicos, bem como os compromissos assumidos por seus participantes. Ademais, criou procedimentos e instituições que possibilitaram a construção de uma estrutura para as atividades políticas e diplomáticas.

Posteriormente, em 1997, na cidade de Kyoto, no Japão, ocorreu outro encontro entre alguns países com o intuito de definir metas e criar mecanismos mais rígidos que visassem reduzir a emissão de gases do efeito estufa (GEE), quais sejam, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Dessa reunião resultou assinado um acordo com obrigações de reduções para os países do chamado “Anexo I” (países-membros da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico-OCDE e países do antigo bloco soviético). No princípio, 38 nações se comprometeram a reduzir as emissões de GEEs, no primeiro período de compromisso (2008 a 2012), em 5,2% dos níveis de 1990. O acordo apenas entrou em vigor no ano de 2004, após a ratificação de 55 países, o que correspondia à 55% das emissões de dióxido de carbono em 1990, considerando apenas os países do “Anexo I” do protocolo (ROCHA; PAIANO, 2013).

Já no final de 2012, durante a Décima Oitava Conferência das Partes (COP 18, do inglês *Conference of the Parties*), realizada em Doha, no Qatar,

representantes de 36 Nações, de um total de 193 participantes, sendo 173 signatários do protocolo Kyoto, aprovaram a “Emenda de Doha para o Protocolo de Kyoto”, na qual concordaram em estender o tratado para um segundo período de compromisso, de janeiro de 2013 a dezembro de 2020 (MICHAELOWA, 2015). Neste, o conjunto de metas para as reduções de emissões dos GEEs dos países do “Anexo I” ficaram definidas em 18% em comparação aos níveis de 1990. Além disso, no encontro foi estabelecido um plano para negociar um novo acordo pós 2020 (SERENO, 2018).

Finalmente, em dezembro de 2015, foi realizada a COP 21 em Paris, na França, onde o chamado “Acordo de Paris” foi formalizado por 195 Nações. Esse acordo incluiu objetivos de longo prazo para limitar as emissões de GEEs, e foi o primeiro extensivo a todos os países Partes da Convenção do Clima, diferentemente do Protocolo de Kyoto, que apenas estabeleceu metas obrigatórias de redução para os países desenvolvidos. O novo acordo também sugeriu manter-se o aumento da temperatura média global entre 1,5 e 2°C (graus Celsius) acima dos nível pré-industriais (1850 a 1900) até 2100 (LAZARO; GREMAUD, 2017).

Além disso, o acordo de Paris trouxe como novidade para os países integrantes da UNFCCC: a formalização de um documento denominado iNDC (*intended Nationally Determined Contribution*), em português, Contribuições pretendidas Nacionalmente Determinadas. Ao ser posteriormente ratificado por cada país, esse documento passa a ser chamado NDC. Nessa etapa, são inseridas ações e medidas para combater as alterações climáticas e, principalmente, o estabelecimento de metas de redução de emissão de GEEs, a fim de alcançar os objetivos da Convenção do Clima. Portanto, diferentemente do Protocolo de Kyoto, a partir de então, cada país determina a cada cinco anos sua meta de redução de GEEs por meio de sua iNDC (MONTEIRO *et al.*, 2018).

Com base na sua iNDC, o Brasil comprometeu-se a reduzir as emissões de GEE em 37% abaixo dos níveis de 2005, em 2025. Além disso, apresentou uma “Contribuição indicativa subsequente”, propondo redução das emissões em 43% abaixo dos níveis de 2005, em 2030. Para que o Brasil alcance essas metas, o país pretende aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030. Também pretende restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como obter uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em

2030 (MMA, 2019).

Segundo Vieira *et al.* (2018), para auxiliar os países integrantes da UNFCCC no cumprimento dessas metas estabelecidas ou pretendidas, o protocolo de Kyoto, desde 1997, traz em seus artigos 6, 12 e 17 respectivamente, os três mecanismos abaixo:

- O Comércio de Emissões (CE), que permite a negociação dos limites de emissão entre países desenvolvidos do “Anexo I”;
- O **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo** (MDL), que permite o financiamento de projetos renováveis em países em desenvolvimento para compensar as metas de redução de GEEs dos países do “Anexo I”, bem como contribuir para desenvolvimento sustentável daqueles; e
- A Implementação Conjunta (IC), auxiliando na transferência dos créditos de carbono entre os países poluidores do “Anexo I”, ao constituírem projetos verdes em conjunto.

Para Larragán (2016), o UNFCCC impôs aos países desenvolvidos compromissos de limitação e redução de emissões quase juridicamente vinculativos, e abriu a possibilidade para as partes envolvidas de encontrar formas de cooperar para alcançar esses compromissos a um custo menor, criando aqueles três mecanismos para ajudá-los a reduzir os custos no cumprimento de suas metas.

Dos mecanismos, o MDL é o único instituído pelo Protocolo de Kyoto em que os países em desenvolvimento como o Brasil podem participar efetivamente do cumprimento das exigências de redução dos GEEs. Ao passo em que as nações não pertencentes do “Anexo I” poderão reduzir voluntariamente suas emissões, gerando créditos de carbono, chamados de Reduções Certificadas de Carbono (RCEs), os quais podem ser negociados e vendidos a países desenvolvidos para que estes possam cumprir com suas metas de redução. Cada RCE significa a redução de uma tonelada de CO_{2eq} (equivalente de dióxido de carbono) (ANATER *et al.*, 2016).

Essencialmente, o MDL permite que nações em desenvolvimento convertam reduções de emissões em moeda para serem negociadas e usadas por países desenvolvidos no cumprimento de parte de seus objetivos no Protocolo de Kyoto. Além disso, Instituições privadas também podem participar dos mercados de carbono, desde que sujeitos à supervisão dos países hospedeiros dos projetos MDL. O UNFCCC também criou algumas metodologias para garantir a precisão das

medições das emissões (LARRAGÁN, 2016). A qual veremos uma aplicação específica como foco deste trabalho.

Para Anater *et al.* (2016), os países que mais recebem projetos MDL são aqueles com alto índice de confiança de Investimento Direto Estrangeiro (IDE) e com níveis elevados de emissões, tais como a Índia, China e Brasil. Portanto, quanto maior o nível de emissões do país, maiores são as chances dele se tornar um país hospedeiro e obter maior rentabilidade neste tipo de negócio.

Cada país criou formas e normas específicas para o Mercado de Carbono, tendo o Protocolo de Kyoto (1997) como referência. As negociações ocorrem em Bolsas Internacionais através de contratos feitos com as próprias empresas empreendedoras dos projetos de MDL. Dentre as maiores bolsas em volume de negociação estão a *London Stock Exchange* (LSE), *European Climate Exchange* (ECX), *ICE Future Europe* e *Chicago Climate Exchange* (CCX) (MONTEIRO *et al.*, 2018).

No Brasil, a B3 (Brasil, Bolsa e Balcão) até 2012, quando ainda era apenas a BM&FBOVESPA S.A. (Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo), realizava a comercialização de créditos de carbonos por meio de leilões eletrônicos. Instituições públicas ou privadas solicitavam o agendamento de leilões quando desejavam oferecer seus créditos de carbono no mercado (MONTEIRO *et al.*, 2018).

Hoje a B3, juntamente com o BNDES, tem como principal objetivo incentivar, mediante seus índices de sustentabilidade (ICO₂ e ISE), as empresas emissoras das ações mais negociadas a aferir, divulgar e monitorar suas emissões de GEEs, preparando-se, dessa forma, para atuarem em um mercado chamado de “baixo carbono” (B3, 2019).

Com base no Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC (2016), os projetos de MDL devem envolver empreendimentos que façam a substituição da energia de origem fóssil por outras de origem renovável, ou que contribuam para a racionalização do uso de energia, ou que realizem serviços urbanos de melhoria no aspecto ambiental, entre outras atividades. Além disso, eles devem promover o desenvolvimento sustentável e reduzir, ou controlar, a emissão dos gases de efeito estufa estabelecidos pelo protocolo de Kyoto.

Para atingir seus objetivos, esses projetos podem ser de uma gama variada. No Brasil, por exemplo, se destacam a implementação de alguns tipos de empreendimentos como: usinas eólicas; pequenas centrais hidrelétricas (PCHs);

aterro sanitário; tratamento de dejetos; uso de biomassa para geração de energia etc. Ademais, os projetos de MDL podem ser divididos em duas categorias: Atividade de Projeto (PA, *Project Activity* em inglês); e, Programa de Atividades (PoAs, *Programme of Activities* em inglês). O primeiro é uma medida, operação ou ação do empreendedor que tenha por objetivo reduzir emissões de GEEs. O segundo é uma ação voluntária, coordenada por uma entidade pública ou privada, que implementa políticas, medidas ou objetivos dentro de sua gestão ambiental. Este incorpora, dentro de um único programa, um número ilimitado de atividades de projetos com as mesmas características (MCTIC, 2016).

Segundo Santos (2018), para que um projeto resulte em RCEs (Reduções Certificadas de Emissões), que corresponde à moeda do mercado de carbono, as Atividades de Projeto (PA) e os Programa de Atividades (PoAs) do MDL devem, necessariamente, passar pelas sete etapas do ciclo do projeto: concepção, aprovação nacional, validação, registro, monitoramento, verificação e emissão dos “créditos de carbono”.

Conforme a UNFCC (2019), no âmbito de um Programa de Atividades (PoA), é possível registrar a implementação coordenada de uma política, medida ou meta que leve à redução de emissões. Após o registro de um PoA, um número ilimitado de Atividades de Projeto de Componente (**CPAs**, *Component Project Activities* em inglês) pode ser adicionado sem passar pelo ciclo completo do projeto de MDL. Comparativamente às Atividades regulares de Projetos de MDL (PA), essa abordagem programática traz muitos benefícios, especialmente para países ou regiões menos desenvolvidos. Dentre as principais vantagens do PoA estão:

- Os custos de transação, os riscos de investimento e as incertezas para os participantes individuais da CPA são reduzidos;
- Os PoAs são gerenciados em nível regional, o que acelera o processo de aprovação;
- O acesso ao MDL é estendido a projetos menores que não seriam viáveis como projetos independentes;
- As reduções de emissões podem ser continuamente ampliadas após o registro de PoA, já que um número ilimitado de CPAs pode ser adicionado em um estágio posterior;
- Objetivos específicos de políticas regionais podem ser efetivamente apoiados

pelo acesso ao financiamento de carbono através do PoA;

- O monitoramento e a verificação podem ser realizados em uma base coletiva, utilizando uma abordagem de amostragem;
- Nenhuma taxa de registro é devida para cada CPA incluído após o registro. As taxas de registro são baseadas nas reduções médias esperadas de emissões dos CPAs, "casos reais" apresentados no registro do PoA.

De acordo com Paiva (2015), no Brasil, a responsável por validar (EOD), aprovar (AND) e verificar (EOD) os projetos de MDL é a Comissão Interministerial de Mudanças Globais de Clima (CIMGC), que é vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Esta comissão considera durante suas avaliações os seguintes aspectos: a participação voluntária de cada parte envolvida; Documento de Concepção de Projeto (DCP); Relatório de Validação; e a contribuição do projeto para o desenvolvimento sustentável do país. Em relação a este último item, cinco critérios são avaliados:

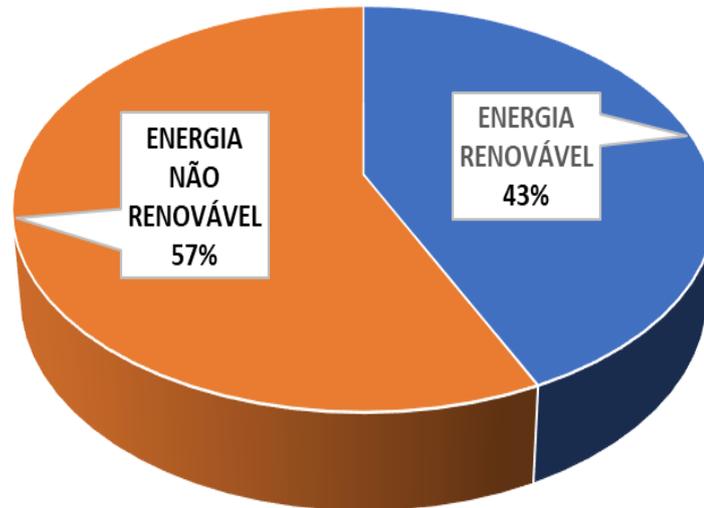
- Distribuição de renda;
- Sustentabilidade ambiental local;
- Desenvolvimento das condições de trabalho e geração líquida de emprego;
- Capacitação e desenvolvimento tecnológico; e
- Integração regional e articulação com outros setores.

Na etapa de validação, uma das premissas básicas para a aprovação de um projeto MDL, e a futura obtenção de créditos de carbono, é a comprovação de que a atividade proposta promoverá reduções de emissões reais e mensuráveis. Essa é a forma utilizada para indicar que o empreendimento promoverá um “ganho” (ou uma adicionalidade) para o Sistema Ambiental. Por isso, a UNFCCC disponibiliza em seu sítio eletrônico metodologias consolidadas para os cálculos estimativos dessas reduções (GUIDA, 2018).

Das metodologias disponibilizadas pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), a que melhor se enquadra na configuração mais comum dos empreendimentos de energia renovável integrantes da matriz Maranhense é a ACM0002 (*Activity Categorization by Mitigation*), cuja linha de cálculo é específica para estimar as reduções de emissões de CO_{2eq} de grandes projetos interligados à rede nacional de energia elétrica ou Sistema Interligado Nacional (SIN) (UNFCCC, 2017).

De acordo com o relatório de Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2018, as fontes renováveis, em 2017, correspondiam a 43% da matriz energética brasileira (Gráfico 1), e contavam com uma previsão de crescimento elevado para os próximos anos, principalmente devido ao incremento dos derivados da cana, energias eólica e solar (EPE, 2018).

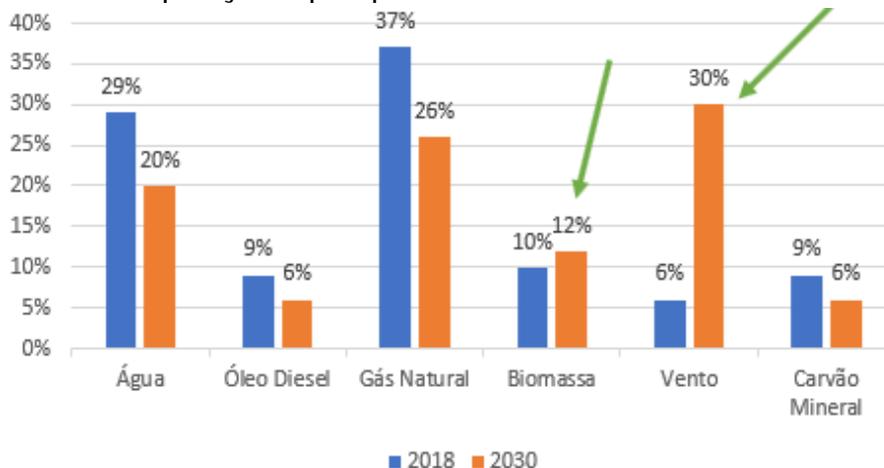
Gráfico 1– Oferta e Demanda de Energia Interna no Brasil.



Fonte: Adaptado pelo autor (EPE, 2018).

Seguindo a tendência nacional, o crescimento das energias renováveis na matriz elétrica do Maranhão também é acentuado, podendo chegar à 62% em 2030, com destaque para a energia eólica e a biomassa (Gráfico 2), sem considerar a energia solar e a maremotriz, outras potencialidades da região (SEINC-MA, 2018).

Gráfico 2 – Composição e perspectivas da Matriz Elétrica do Maranhão.



Fonte: SEINC-MA (2018).

Dessa forma, o cenário atual das energias renováveis e suas perspectivas futuras, principalmente no Maranhão, torna o investimento em projetos MDL bastante atrativo. Ressaltando-se, ainda, que, atualmente, a matriz energética mundial é baseada essencialmente em fontes não renováveis, diferentemente da matriz energética brasileira, em que a parcela correspondente a fontes renováveis é bem mais expressiva, fazendo do Brasil um ótimo hospedeiro para projetos que gerem créditos de carbono (ANATER *et al*, 2016).

Neste contexto, os projetos de MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo) constituem-se em uma possibilidade real de se combinar o desenvolvimento econômico à conservação ambiental, de forma a agregar valor para as empresas (marca), obter receitas com o mercado de carbono (vendas das RCEs), ou ainda buscar financiamento junto às instituições financeiras para aplicar em novos projetos. Deste modo, abre-se um leque de oportunidades para trabalhos na área da gestão ambiental no Maranhão, principalmente pela escassez de pesquisas sobre empreendimentos ou projetos que possam se utilizar dos incentivos do MDL para se instalarem, evidenciando-se de que forma fazer, onde fazer, bem como o setor mais atraente.

Em vista disso, foi aplicada a metodologia *ACM0002*, disponibilizada pela *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), para estimar as reduções de emissões de CO_{2eq} dos empreendimentos de produção energética renovável no Maranhão interligados à rede nacional (configuração mais comum na matriz do Estado). A simplicidade e robustez dos cálculos dessa metodologia tornaram-na a mais utilizada em projetos MDL brasileiros de energias renováveis conjugados ao Sistema Interligado Nacional (SIN) e registrados nas Nação Unidas (ESPARTA; NAGAI, 2018). Posteriormente, com a estimativa de redução das emissões, mensurou-se o montante financeiro considerando a cotação da tonelada do CO_{2eq} no mercado internacional.

Sendo assim, este trabalho poderá também contribuir para formação de base científica para outros estudos de contabilidade ambiental no Maranhão, avaliando a eficiência na mensuração e no mercado de créditos de carbono. A proposta é fornecer subsídios para que se torne uma estratégia de agregação de valor para os produtos e incremento de receitas. Por fim, este trabalho tem potencial para oferecer informações relevantes para o aprimoramento das políticas públicas nacionais e locais de fomento ao setor energético renovável e para a ampliação dos

cobenefícios gerados por esses projetos MDL para as populações locais.

1.1 Objetivo geral

Caracterizar o cenário atual do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Maranhão, bem como estimar o Potencial de sua Matriz Energética para negócios no Mercado de Carbono.

1.2 Objetivos específicos

- Explicar o Mercado de Carbono e sua relação com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL);
- Levantar e descrever os Empreendimentos Maranhenses que tiveram apoio dos Projetos MDL;
- Validar a metodologia *ACM0002* das Nações Unidas (*UNFCCC*) usando dados reais apresentados por empresas;
- Estimar o Potencial de emissões evitadas (CO_{2eq}), e o montante financeiro, resultantes dos Empreendimentos Maranhenses de Energia Renovável utilizando-se da metodologia *ACM0002* e do valor médio da tonelada de carbono no mercado internacional.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mercado de carbono

O interesse crescente da comunidade internacional sobre o tema meio ambiente fortaleceu-se a partir da instituição do Protocolo Kyoto. Principalmente devido à possibilidade de retorno financeiro em troca de medidas de redução das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEEs). Por meio deste acordo foram inseridos instrumentos capazes de incentivar investimentos em tecnologias que

pudessem reduzir de fato os impactos ambientais das atividades econômicas. Mas o Tratado de Kyoto não foi o único a contribuir para a formação de mecanismos econômicos em compensação às medidas de preservação ambiental no mundo. Algumas iniciativas o precederam, outras lhe sobrevieram, tais como os Projetos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) do Governo Brasileiro (GUIDA, 2018). Estes projetos foram instituídos pela Lei de Política Nacional dos Serviços Ambientais (Lei 6.938/1981), que, ao entrar em vigor, constituiu um avanço no que diz respeito à proteção das florestas tropicais, ecossistemas associados e sua biodiversidade, bem como fomentou o desenvolvimento de projetos de regeneração de áreas degradadas, além da proteção e recuperação de mananciais (MMA, 2018).

Os PSAs brasileiros, mesmo constituídos por lei, não eram considerados uma ação regulada, mas sim uma iniciativa voluntária interna, tendo em vista que não faziam parte do cumprimento de metas estabelecidas pelo Tratado Internacional de Kyoto. Ao longo do tempo, surgiram outros mecanismos ambientais de cunho voluntário e concomitante retorno financeiro, principalmente gerenciados por organizações não governamentais e instituições diversas, que trouxeram opções de compensações econômicas por reduções de emissões àqueles atores que não estavam sujeitos às obrigações do Protocolo Kyoto (GUIDA, 2018).

Destarte, formou-se um comércio mundial de compensação por redução de emissão de GEEs, tipificado sob duas frentes: mercado regulado e mercado voluntário. O primeiro constitui-se em um universo institucional, em que seus participantes obedecem à normas internacionais, as quais estabelecem critérios e regras para elaboração de projetos para a comercialização de reduções quantificadas dos GEEs. Já o mercado voluntário, pode ser entendido por um ambiente no qual as regras provêm das relações entre os agentes participantes desse mercado, cujos projetos de redução dos GEEs estão submetidos a Padrões Internacionais (PI's) que fixam regras próprias para sua concepção (GUIDA, 2018).

Quando se trata de transações em si, cada mercado definiu suas unidades de negociação. De fato, elas são as certificações quantificadas de redução dos GEEs ou apenas “créditos de carbonos”. As mais famosas são os *Certified Emission Reduction* (CER) do mercado regulado, e as *Verified Emission Reductions* (VERs) do mercado voluntário. Cada unidade dessas licenças corresponde a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$) removido da atmosfera (UNFCCC, 2019b).

Deste modo, o ambiente de negócio chamado “Mercado de Carbono” pode ser entendido como um espaço de trocas, regulado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças no Clima (*United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*, em inglês), que viabiliza a países ou empresas com alta emissão de carbono, porém, com metas de redução de emissões estabelecidas, possam comprar o excedente das cotas de países que produzem menos CO₂. Contudo, a participação nesse ambiente de negócio também pode ser voluntário, como, por exemplo, quando uma empresa não possui compromisso firmado para redução de emissão de GEEs, o que poderia, a certa altura de sua produção, obrigá-la a buscar essa alternativa, mas, ainda assim, participa espontaneamente desse Mercado (OLIVEIRA, 2018).

2.1.1 Créditos de carbono

Os créditos de carbono surgiram no âmbito do mercado de carbono como unidade de negócio. Por causa deles, empresas de todos os países puderam desenvolver projetos ambientais de redução ou de captura do dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Um crédito de carbono corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono que deixou de ser emitida ou foi capturada. O CO₂ tornou-se a unidade base para equivalência dos outros gases também nocivos à atmosfera. Esta unidade foi padronizada em uma tonelada de carbono equivalente (tCO_{2eq}), ou seja, corresponde a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente que deixou de ser emitida ou foi sequestrada (PELLISSARI; MENEGUIN, 2012).

A equivalência dos demais GEEs é calculada pela multiplicação das toneladas emitidas de cada um deles pelo seu Potencial de Aquecimento Global ou *Global Warming Potential* (GWP). O GWP do dióxido de carbono foi referenciado em 1. O gás metano (CH₄), por exemplo, tem seu GWP 21 vezes maior que o GWP do dióxido de carbono, ou seja, o metano equivale a 21 toneladas do CO₂ (21 tCO_{2eq}). Exemplificando, um projeto MDL de redução em 1 (uma) tonelada de metano (CH₄) renderia para o empreendedor 21 créditos de carbono equivalentes (21 tCO_{2eq}) (MIRANDA, 2012).

Na Tabela 1 são apresentadas as equivalências do Potencial de Aquecimento Global (GWP) dos outros gases de efeito estufa em relação ao dióxido de carbono.

Assim, torna-se possível a mensuração de diversos projetos MDL em um denominador comum (CO_{2eq}), independentemente do gás que deixará de ser emitido para atmosfera (FGV, 2016).

Tabela 1 – Gases do Efeito Estufa e o valor correspondente CO_{2eq}.

<i>GÁS</i>	<i>SÍMBOLO</i>	<i>GWP</i>
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	21
Óxido Nitroso	N ₂ O	310
Hidrofluorcarbonos	HFC-23	11.700
	HFC-125	2.800
	HFC-134a	1.300
	HFC-143a	3.800
	HFC-152a	140
Perfluorcarbonos	CF ₄	6.500
	C ₂ F ₆	9.200
Hexafluoreto de enxofre	SF ₆	23.900

Fonte: Adaptado pelo autor (FGV, 2016).

Para Meneguín (2012), o crédito de carbono é um certificado eletrônico que é emitido quando há diminuição de emissão de gases que provocam o efeito estufa, gerador de aquecimento global. Previamente, outros autores, tais como Torres (2011) e Duarte (2008), já haviam trazido conceitos sobre o mesmo tema. O primeiro destaca que o crédito de carbono consiste em um certificado que atesta o sequestro de determinada quantidade de dióxido de carbono (CO₂), ou de qualquer outro GEE indicado pelo Protocolo de Kyoto, da atmosfera. Já para Duarte (2008), a posse do crédito de carbono garantiria ao seu proprietário o “direito de poluir”, uma vez que já possui um certificado emitido por Agência Reguladora de que já houve, por si ou por outrem, na mesma proporção, efetivas ações que levaram à redução de emissões de GEEs.

Pellissari *et al.* (2012) acrescenta, ainda, que o objetivo de se criar um sistema de créditos de carbono para negociação em um ambiente internacional, foi o de auxiliar a compensação das emissões de gases que produzem o efeito estufa e, além disso, despertar nos países ou nas empresas a vontade política de rever os seus processos industriais, culminando com a diminuição da poluição na atmosfera e, conseqüentemente, seu impacto no aquecimento global. Portanto, as empresas que conseguissem reduzir as suas emissões de gases de efeito estufa (GEEs) poderiam obter esses créditos e negociá-los nos mercados financeiros.

As classificações dos créditos de carbono foram abordadas a partir de

diversas perspectivas dos autores. Torres (2011), por exemplo, destacou que o enquadramento dessa unidade ambiental girava em torno de cinco possibilidades: ativo intangível, valor mobiliário, *commodity*, derivativo ou prestação de serviço. Ferreira *et al.* (2007) descartou a classificação enquanto ativo intangível, por considerar que tais títulos se referiam a algo real, o carbono, que pode ser mensurado em toneladas. Já Teixeira (2011), dizia que os créditos de carbono deveriam ser classificados como derivativos ou valores mobiliários, pois permitiriam sua negociação mesmo antes da circulação, se assemelhando a um contrato a termo, que assegura a ambas as partes um retorno financeiro mínimo.

Segundo essa mesma perspectiva, Ribeiro (2005) também entendia que os créditos de carbono poderiam ser caracterizados como derivativos, já que estavam condicionados ao desenvolvimento de projetos que seguiam regras internacionais da *UNFCCC*, o que proporcionava aos agentes econômicos certa proteção contra a oscilação de preços quando os projetos estivessem produzindo reduções de emissões abaixo das previstas. Já Ferreira *et al.* (2007), contrapôs-se a essa versão, afirmando que os créditos de carbono não podem ser considerados derivativos por não oferecerem risco financeiro ou possibilidade de grandes lucros a uma empresa, além de que, torna-se muito difícil relacionar seu preço com qualquer outro ativo, tornando inexecutável o seu registro como derivativo. Ademais, Souza e Miller (2003) esclarecem que as sociedades anônimas são os únicos agentes autorizados pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM) a emitirem títulos e contratos de investimento para distribuição pública, os créditos de carbono não poderiam ser caracterizados como derivativos, visto que quem os emite é a *UNFCCC*, que não resta constituída como anônima.

De acordo com outra perspectiva, Ferreira (2006) defende que a captura do carbono pode ser considerada uma prestação de serviço, uma vez que o objetivo principal dos projetos MDL é limpar a atmosfera, ou seja, diminuir o aquecimento global.

Hodiernamente, a maioria dos autores classifica os créditos de carbono como *commodities*, ou seja, mercadorias negociadas com preços estabelecidos pelo mercado internacional. Estes créditos geralmente são comprados por empresas no exterior que, em função do Protocolo de Kyoto, têm metas obrigatórias de redução de emissões de gases de efeito estufa. A compra dos créditos permite-lhes manter ou aumentar essas emissões (MONTEIRO *et al.*, 2018).

Neste contexto, podemos afirmar que o crédito de Carbono consiste em uma unidade comercial com objetivos monetários. O valor desse crédito varia diariamente de acordo com diversos fatores externos, semelhantemente ao que ocorre com outros papéis/produtos na bolsa de valores. Portanto, os créditos de carbono podem ser considerados commodities, haja vista proporcionarem às empresas a obtenção de uma maior rentabilidade nos seus negócios, através das receitas obtidas com a venda dos créditos.

2.1.2 Mercado regulado de carbono

O Protocolo de Kyoto foi o grande indutor da formação do mercado regulado de carbono, também chamado **compliance market**. Tendo sido inseridas neste, regras vinculantes a países industrializados para que pudessem atingir as metas de redução de emissões dos Gases de Efeito Estufa em relação às emissões de 1990. Para tanto, o Protocolo regulamentou três mecanismos inovadores: 1) **Comércio de Emissões**, 2) **Implementação Conjunta (IC)** e o 3) **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)**. Os dois primeiros são exclusivos para países possuidores de metas obrigatórias, já o terceiro foi criado para que países “em desenvolvimento”, como o Brasil, pudessem participar como hospedeiros de projetos de redução de emissões daqueles. Cada mecanismo emite um tipo específico de certificado, todos referentes à redução de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}) e apresentam preços de mercado diferentes (MENEGUIN, 2012).

O primeiro mecanismo dessa lista, Comércio de Emissões ou *Emissions Trade (ET)*, é classificado como um instrumento de mercado, e foi regulamentado pelo Artigo 17 do Protocolo de Kyoto. Ele tem fundamento em um programa de limitação e comercialização (*cap-and-trade*) de carbono. O administrador desse sistema, normalmente um ente governamental, autoriza uma quantidade limitada de permissões de emissão de tCO_{2eq} para cada país do chamado “Anexo I” (GUIDA, 2018). A totalidade delas são limitadas pela meta de redução de emissões definidas pelo Protocolo de Kyoto. Além disso, as quantidades de permissões distribuídas são certificadas e recebem a nomenclatura de Unidade de Quantidade Atribuída (*AAU*, em inglês *Assigned Amount Unit*), que podem ser concedidas gratuitamente ou

leiloadas pelo agente regulador (SANTOS, 2018).

Deste modo, para cumprirem suas metas individuais, os países ou empresas reguladas sob esse regime podem optar por reduzir suas emissões internamente ou comprar mais permissões de emissões. Portanto, se uma empresa ou país consegue reduzir suas emissões abaixo de seu limite ou teto (*cap*, em inglês), ela pode comercializar (*trade*, em inglês) suas permissões excedentes. Assim, cria-se um mercado onde as instituições que apresentam redução de suas emissões de GEEs podem vender suas unidades de *AAU* para aquelas que teriam custos muito mais altos de redução quando comparado as permissões por elas compradas (SANTOS, 2018).

O Sistema de Comércio de Emissões da União Europeia (*EU-ETS, European Union - Emissions Trading System*, em inglês) representa o maior mercado de *ETS* de GEEs que opera em todo o mundo. Iniciado em 2005, o sistema passou por várias mudanças, agora está em sua terceira fase (2013 a 2020). Nesta, ao contrário das duas primeiras fases, houve leilões para distribuição das permissões de emissões. Uma quarta fase está programada para funcionar entre 2021-2030. Esse Sistema conta com 28 Estados-Membros da UE (União Europeia), mais três países da Área Econômica Europeia: Islândia, Liechtenstein e Noruega, e se aplica às emissões dos setores energético, industrial e de aviação, sendo que o setor de aviação é limitado a voos dentro do Espaço Aéreo Europeu. Em 2017, a UE e a Suíça assinaram um acordo ligando o *ETS* suíço ao *EU ETS*, foi o primeiro acordo desse tipo na UE. Portanto, o *EU-ETS* consistiu na principal experiência mundial em comércio de emissões, tendo servido como referência para os demais mecanismos associados (ICAP, 2019).

O mecanismo de Implementação Conjunta (**IC**) é fundamentado em projetos, foi estabelecido pelo artigo 6 do Protocolo de Kyoto e aceito no ambiente *EU-ETS* (*European Union-Emissions Trading System*, em inglês) para comercialização de seus créditos. Os projetos de redução de emissões de gases de efeito estufa devem ser conduzidos em conjunto entre dois países pertencentes ao “Anexo I”. Os créditos de carbono resultantes desses projetos podem ser utilizados pelos países participantes para efeito de cumprimento de suas metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto. Além disso, os empreendimentos do **IC** deverão acontecer, prioritariamente, nos países do leste europeu, dado suas economias em transição, e onde há geralmente mais espaço para reduzir emissões a custos mais baixos. Esse

instrumento permite o desenvolvimento de projetos sob duas formas diferentes. A primeira, por meio de projetos classificados como “*Track one*”, os quais são aprovados pelos próprios países hospedeiros desses projetos. Neste, quando se executa um projeto, o país hospedeiro do empreendimento poderá aplicar os seus próprios procedimentos, emitir os créditos de carbono e transferi-los para o país investidor (GUIDA, 2018).

A segunda forma se materializa nos projetos classificados como “*Track two*”, em que se faz necessária a aprovação de um organismo internacional, neste caso, o Comitê de Supervisão da Implementação Conjunta. Projetos de Implementação Conjunta emitem Unidades de Redução de Emissões (*ERUs, Emissions Reduction Units*, em inglês) como moeda de negociação dos créditos de carbono. Normalmente, o “*track two*” é utilizado quando o país acolhido pelo projeto não cumpre todas as regras de elegibilidade. Após implementado o projeto, via “*track two*”, os participantes terão que preparar um documento com a descrição dele, para que posteriormente seja avaliado por uma entidade independente (acreditada internacionalmente). Após avaliação e decisão da entidade, o projeto é encaminhado para o Comitê de Supervisão da Implementação Conjunta, que, caso não seja solicitada nenhuma revisão, dará o aceite ao fim de 45 dias (GUIDA, 2018).

2.1.2.1 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)

Regulamentado pelo artigo 12 do Protocolo de Kyoto, o MDL é dos instrumentos compensatório de maior expressividade mundial, elevada adesão em número de projetos, reduções, certificados e volumes de transações, haja vista a flexibilização da participação de países em desenvolvimento como hospedeiros de projetos (WATTS *et al.*, 2015). Além disso, ao contrário da Implementação Conjunta (IC), envolve um maior número de países fora do continente europeu, possibilitando maior disseminação das ações e elevado retorno financeiro (GUIDA, 2018). Por tais razões, o MDL foi escolhido como foco deste trabalho no que diz respeito aos créditos de carbono oriundos do processo de certificação.

Os projetos do MDL geram um produto expresso em CO₂ equivalente, do qual se originam os chamados Créditos de Carbono, que, após passar por sete fases do chamado “ciclo de projeto MDL”, são convertidos em Reduções Certificadas de

Emissões (RCE's) e, posteriormente, poderão ser negociados no mercado de carbono. Os compradores podem ser países ou empresas com metas obrigatórias de redução de emissão. Além disso, as localidades de implantação desses empreendimentos oriundos dos projetos MDL poderão ser beneficiados com a distribuição de renda; sustentabilidade ambiental; melhorias nas condições de trabalho e geração líquida de emprego; capacitação e desenvolvimento tecnológico; e integração regional e articulação com outros setores (MCTIC, 2016).

Segundo Faria (2019), uma vez implantado o empreendimento oriundo de um projeto MDL que reduza ou evite a emissão de GEEs, esse projeto deverá ser submetido a um processo de validação, registro, monitoramento e verificação, para que depois se emitam as chamadas Reduções Certificadas de Emissão (RCE's), ou créditos de carbono, os quais poderão ser vendidos para os países desenvolvidos para que estes atinjam suas metas de redução estabelecidas no Protocolo de Kyoto.

Na Tabela 2 é apresentado o resumo dos instrumentos de redução de emissões permitidos pelo Mercado Regulado.

Tabela 2 - Resumo do Mercado de Carbono Regulado.

Tipo de Mecanismo	Denominação	Definição e Aplicabilidade	Unidade de Transação
Baseados em mercados	Comércio de Emissões.	Definido pelo Artigo 17 do Protocolo, permitiu que países desenvolvidos que tivessem unidades de emissões excedentes pudessem comercializá-las com países que ultrapassassem as suas cotas de emissão. Iniciou suas operações em 2005.	Termo original, em inglês, <i>Assigned Amount Unit (AAU)</i> , igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente.
Baseados em Projetos	Implementação Conjunta (IC)	Definido pelo Artigo 6 do Protocolo, permitiu que países desenvolvidos tivessem direito a redução de emissões a partir de um projeto desenvolvido em outro país, também desenvolvido, para deduzir de suas obrigações. Iniciou seu funcionamento em 2008.	Termo original, em inglês, <i>Emission Reduction Unit (ERU)</i> , igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente.
	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL)	Definido pelo Artigo 12 do Protocolo, permitiu que países signatários do Protocolo e com metas de redução adquirissem unidades de redução de emissões de projetos desenvolvidos em países também signatários, mas sem metas (em desenvolvimento, como o Brasil). Iniciou suas operações em 2006.	Termo original em inglês, <i>Certified Emission Reduction (CER)</i> , igual a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente.

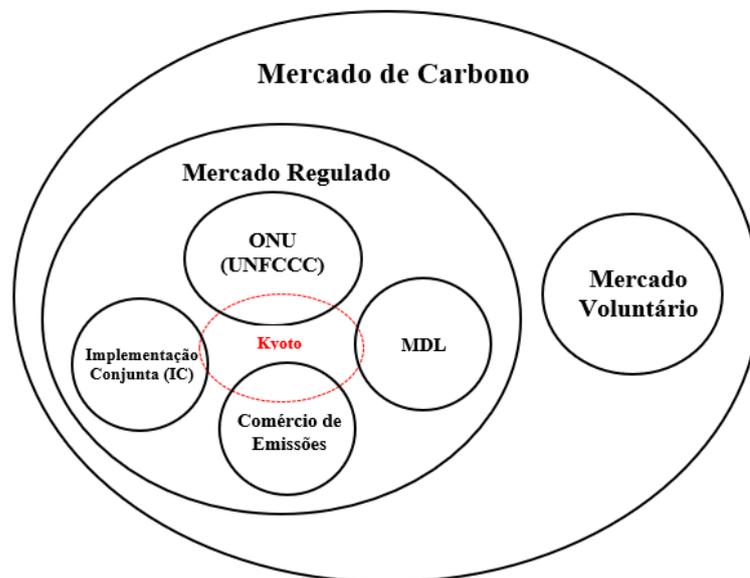
Fonte: Adaptado pelo autor (CGEE, 2010).

2.1.3 Mercado Voluntário de Carbono (MVC)

Os mercados voluntários de carbono funcionam fora de mecanismos de regulamentação específica das Nações Unidas (UNFCCC), ou seja, empresas, organismos e indivíduos que fazem parte dele operam voluntariamente para a aquisição dos créditos de carbono. Um viajante pode compensar suas emissões de viagens aéreas. Ou uma grande empresa pode optar por compensar parte de suas emissões como estratégia de sustentabilidade. Por exemplo, no início de 2018 a banda de rock Pearl Jam compensou as emissões associadas à sua turnê no Brasil através do pagamento em projetos de reflorestamento na Amazônia (HAMRICK; GALLANT, 2018).

Na Figura 1, uma visão geral dos mercados de carbono operados no mundo é apresentada.

Figura 1 – Comércio de Emissões em todo o mundo.



Fonte: Adaptado de WEAVER (2011).

Na figura 2, o círculo tracejado representa os regulamentos dos instrumentos criados pelo protocolo de Kyoto: Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), Implementação Conjunta (IC) e o Comércio de Emissões.

A difusão do mercado voluntário se deve à entrada em operação, no ano de 2003, da Bolsa do Clima de Chicago, nos Estados Unidos, ou *Chicago Climate*

Exchange (CCX). Ela consistia em um comércio de emissões voluntário, ou seja, sem obrigações aos participantes. Haja vista que os Estados Unidos não tinham ratificado o Protocolo de Kyoto, em 2001. Com isso, as instituições americanas passaram a buscar alternativas para manter a “Agenda do Clima”, considerando as discussões internacionais crescentes (BHATIA, 2012). Esta bolsa contou com mais de 500 participantes, dentre elas, a FORD e a DuPont (Empresa Química), e com uma redução de emissões acima dos 400 milhões de toneladas de carbono equivalente (CO_{2eq}) (GUIDA, 2018). Ela encerrou suas atividades em 2010, quando foi adquirida pela *Intercontinental Exchange (ICE)* (GRIESINGER, 2010)

O mercado voluntário opera paralelamente ao mercado regulado, mantendo com este certo intercâmbio (Figura 2). Já que os créditos de carbono comercializados no Mercado Voluntário incluem tanto os *CERs (Certified Emission Reduction)* resultantes dos Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), quanto as suas próprias unidades de redução de emissão, que são as chamadas *Voluntary Emission Reductions (VERs)* (CGEE, 2010).

Figura 2 – Intercâmbio entre mercados



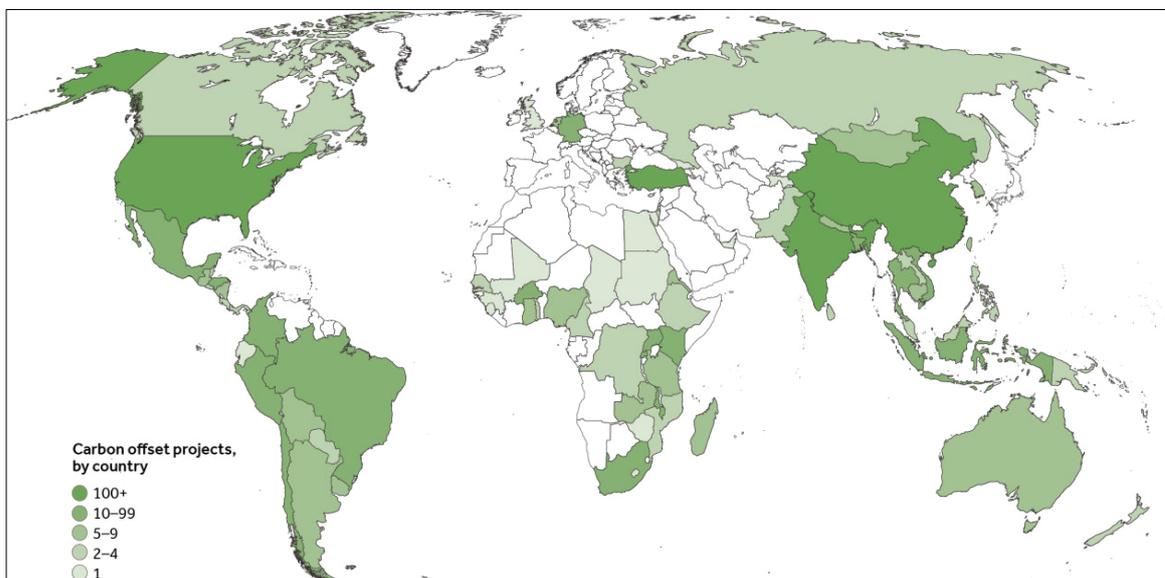
Fonte: Adaptado de WEAVER (2011).

De modo analógico ao mercado regulado, no mercado voluntário existem organismos que processam todas as etapas dos projetos até a emissão do certificado VER. Eles operam conforme suas próprias regulamentações, critérios e metodologias, normalmente regrados por aspectos parecidos ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Os processos de registros e certificações podem ser feitos em organizações como a Aliança Internacional de Redução e Compensação de Carbono (ICROA, do inglês *International Carbon Reduction & Offset Alliance*), *Verified Carbon Standard (VCS)*, *Gold Standard*, *American Carbon Registry (ACR)* etc (GUIDA, 2018).

As principais diferenças em relação ao mercado regulado se referem à flexibilização dos prazos de análise e a inexistência da necessidade de comunicação a uma entidade governamental. O processo é feito entre o proponente do projeto, o órgão de registro e as terceiras partes independentes, que consistem nas empresas auditoras dos projetos (HAMRICK; GALLANT, 2018).

Na Figura 3 é apresentado um mapa temático mundial das quantidades de projetos que utilizaram os padrões voluntários de carbono desde 2005.

Figura 3 - Locais de projetos voluntários de crédito de carbono, 2008-2018.



Fonte: Hamrick e Gallant (2018).

2.1.3 Ambientes de negociação

Conforme observado anteriormente, a instituição dos mecanismos de flexibilização no Protocolo de Kyoto possibilitou a origem de novos ativos financeiros (*commodities*), as tais certificações de carbono (*AAU*, *ERU*, *CER* e *VER*), e conseqüentemente a um novo mercado. E este, como em qualquer outro ambiente econômico, necessita de diferentes agentes atuando para que o processo de compra e venda de créditos seja possível.

Neste cenário, Melo (2011) descreve e caracteriza cada agente envolvido:

Proprietário ou hospedeiro do Projeto é o dono do local e operador da planta onde o projeto de redução de emissões está instalado. Pode ser um

indivíduo, empresa privada ou pública ou outra organização. **Desenvolvedor do Projeto** é o agente envolvido no desenvolvimento e elaboração do projeto de redução de emissões. Pode ser o próprio dono do projeto, consultor ou prestadores de serviços, tendo como objetivo a geração dos créditos de carbono. **Financiador do projeto** é o agente que fornece os recursos financeiros para a implantação do projeto como: bancos, fundos de crédito de carbono, empresas de private equity e até organizações sem fins lucrativos. Dependendo de suas políticas de investimentos, estes agentes podem apenas emprestar o dinheiro ou até se envolverem no projeto como sócios. **Corretores** são os agentes intermediários que atuam como facilitadores para que a transação ocorra, fazendo a ponte entre os vendedores e compradores dos créditos de carbono. **Operadores/negociadores de créditos de carbono** são as empresas especializadas no mercado de carbono que adquirem créditos para posteriormente vendê-los, aproveitando as oportunidades do mercado para lucrar com as diferenças de preços. Por fim o **comprador final**, que é o indivíduo ou organização que compra o crédito de carbono para cumprir com suas metas de emissões de GEE. (p.59)

Na Tabela 3 é apresentado um resumo da dinâmica de oferta versus demanda dos mercados de carbono, destacando principalmente suas diferenças quanto ao ambiente de negociação.

Tabela 3 - Oferta x Demanda nos Mercados de Carbono.

MERCADO REGULADO		MERCADO VOLUNTÁRIO	
DEMANDA	OFERTA	DEMANDA	OFERTA
Obrigações vinculativas aos pontos de obrigação para cumprir uma meta de redução de emissões ou assumir a responsabilidade pelas emissões.	Subsídios excedentários por obrigações regulamentares que tenham sido cumpridas; ou projetos conformes administrados através do MDL ou instrumentos de JI do protocolo de Kyoto (ou esquemas de compensação baseados em projetos do Comercio de Emissões).	Demanda por compensações de carbono como parte de um programa de responsabilidade social corporativa (CSR), como neutralidade de carbono.	Projetos voluntários de desenvolvimento limpo (ER) que reduzem as emissões de fontes ou melhoram as remoções, e que necessitam de co-financiamento para competir com tecnologias ou práticas menos sustentáveis.

Fonte: Adaptado de Weaver (2011)

Uma vez que possua os créditos de carbono, o vendedor poderá negociá-los em bolsas específicas para este tipo de mercado, a exemplo da **Intercontinental Exchange ICE**, empresa norte-americana, sediada em Atlanta e escritórios em Calgary (Canadá), Chicago, Houston (Texas), London, New York e Singapura, que comercializa via internet futuros e derivativos no mercado de balcão (*Over-the-Counter*) as *commodities* petróleo, gás natural, energia, **emissões** e o carvão (ICE, 2019).

Na plataforma da *ICE*, encontra-se o produto de **ICE EUA** (código **C**) cujo ativo é negociado através de um **contrato futuro**. Por meio deste seus negociantes (*traders*) se comprometem a fornecer (vendedor) ou receber (comprador) os créditos de carbono em uma data prefixada nos termos do contrato. A unidade de negociação é 1 (um) lote de 1.000 licenças de CO₂ dos países da União Europeia signatários do Protocolo de Kyoto. Cada licença tem o direito de emitir uma tonelada de gás equivalente de dióxido de carbono. A cotação é em Euro (€), ou Euro c (c), por tonelada métrica de CO_{2eq}, e a mínima variação de preço possível para este ativo é de €0,01 por tonelada, ou seja, 10€ por lote (*ICE*, 2019).

Um inconveniente nesta plataforma eletrônica da *ICE* é que para o monitoramento de cotações em tempo real o administrador do sistema exige que os interessados façam um cadastramento prévio, ou seja, o ambiente é seguro, mas burocrático. Em vista disso, uma outra opção de acesso fácil e direto às cotações dos diversos mercados (incluído o setor de emissões de carbono) seria a plataforma da **investing.com**, portal financeiro global de propriedade da *Fusion Media Limited*, registrada nas Ilhas Virgens Britânicas que disponibiliza dados em tempo real, cotações, gráficos, ferramentas financeiras, notícias de última hora e análises cobrindo 100 bolsas mundiais, em um site em mais de 30 idiomas (*INVESTING*, 2019).

Os contratos futuros se assemelham aos contratos por diferença *CFD* (**Contract For Difference**), em que as duas partes acordam um intercâmbio da diferença do preço de entrada e de saída de um ativo subjacente, no caso os “**créditos de carbono**”. Esse modelo de negócio é muito mais acessível para a maioria dos *traders* (investidores do mercado financeiro), e pode oferecer benefícios tanto em momentos de valorização crescentes como também em queda. A diferença entre eles reside na obrigatoriedade de uma data prefixada de entrega do ativo para os contratos futuros, independentemente da variação do seu valor no mercado, ou seja, as datas de validade aplicam-se aos futuros porque elas representam a data na qual o ativo deverá ser entregue ao preço estabelecido em contrato (*LIBERTEX*, 2019).

Na área ambiental, esses contratos futuros para a negociação dos créditos de carbono são conhecidos especificamente por ERPA (*Emission Reduction Purchase Agreement*) ou **compromissos de compra de reduções de emissões** em português. Este termo é um contrato legal entre entidades que compram e vendem

as licenças de CO_{2eq}. Na ótica ambientalista, o comprador de créditos de carbono paga em dinheiro pelo direito de emitir mais do que o nível de CO₂ alocado pelo Protocolo de Kyoto, e o vendedor recebe o incentivo pecuniário por produzir menos CO₂ (INVESTOPEDIA, 2018).

No Brasil, a então BM&FBOVESPA S.A. (Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo) - hoje B3 (Brasil, Bolsa e Balcão) - realizou a comercialização de créditos de carbonos por meio de leilões eletrônicos até 2012. Os agendamentos destes leilões eram solicitados por Instituições públicas ou privadas quando desejavam ofertar seus créditos de carbono no mercado (MONTEIRO *et al.*, 2018). Atualmente, a B3, juntamente com o BNDES, tem como principal objetivo incentivar, através de seus índices de sustentabilidade (ICO₂ e ISE), as empresas emissoras das ações mais negociadas a aferir, divulgar e monitorar suas emissões de GEEs, preparando-as, dessa forma, para atuarem em um mercado chamado de “baixo carbono”. Além disso, a B3 também visa fornecer para o mercado um indicador cuja performance será resultante de um *portfólio* balizado por fatores que incorporam as questões relacionadas às mudanças climáticas (B3, 2019).

Ainda no Brasil, o Ministério de Minas e Energia, através da RenovaBio, pretende expandir a produção de biocombustíveis no Brasil com a criação do mercado de carbono para o setor. Para isso, o MME pretende atrair investidores estrangeiros para os certificados de biocombustíveis (CBios), ativos previstos na Resolução nº 791/2019. A expectativa do MME é que os distribuidores de combustíveis possam adquirir esses certificados, regulamentados na resolução, e posteriormente cumprir suas metas de emissões de gases de efeito estufa. A RenovaBio é uma política nacional para os biocombustíveis, e tem como objetivos fomentar o aumento da produção em padrões mais sustentáveis e contribuir para o cumprimento das metas de redução de emissões de gases do efeito estufa com as quais o Brasil se comprometeu no Acordo de Paris (CEISE, 2018).

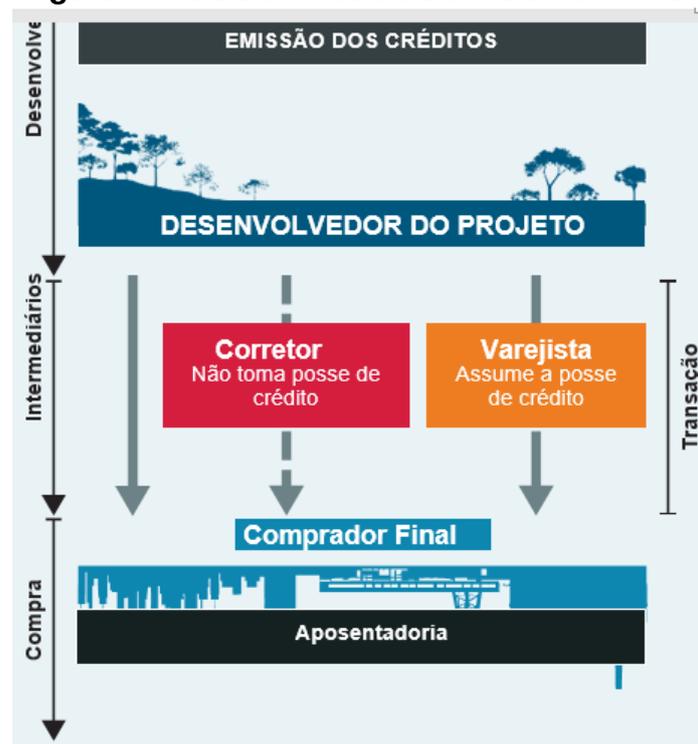
2.1.4 Ciclo de vida do crédito de carbono

O ciclo de vida das unidades de carbono inicia com a emissão de seus certificados (créditos elegíveis) e vai até sua aposentadoria (*retirements*). Esta

última ação nada mais é do que a reivindicação pelo proprietário, ou comprador final, das emissões de CO_{2eq} compensadas. Para assegurar que o crédito não possa ser revendido, o seu registro de rastreamento é removido permanentemente (número de série exclusivo do crédito em circulação) dos cadastros dos organismos que processam os projetos dos mercados Regulado ou Voluntário (HAMRICK, 2017).

O processo de fechamento do ciclo de vida dos créditos de carbono pode ser indefinido haja vista que os desenvolvedores dos projetos podem negociar esses certificados diretamente com compradores finais (Figura 4), ou vender para varejistas ou corretores, que, em seguida, revendem ou cobram taxas para encontrar compradores finais (HAMRICK, 2017).

Figura 4 – Ciclo de vida do crédito de carbono.



Fonte: Hamrick (2017).

2.2 Marco regulatório do MDL

O instrumento de compensação “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo” (MDL) teve origem em 1997, durante a terceira reunião da Conferência das Partes

(COP 3), sediada em Kyoto, no Japão. A ideia proveio de uma proposta brasileira para criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que seria custeado pelos países ricos. O MDL consistiu na possibilidade de países desenvolvidos em adquirir certificados de reduções de emissões dos GEEs - também conhecidos por créditos de carbono – a partir do financiamento de empreendimentos renováveis em países emergentes. Ou seja, os países do “Anexo I” poderiam cumprir parte de seus compromissos assumidos no protocolo de Kyoto a um custo menor, pois seus setores produtivos internos não seriam afetados de forma direta e/ou significativa, e, concomitantemente a isso, contribuir para o desenvolvimento sustentável nos países emergentes (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A proposta de MDL negociada na COP 3 foi estabelecida no artigo 12 do Protocolo com a seguinte transcrição:

[...] Fica definido um mecanismo de desenvolvimento limpo [...] O objetivo do mecanismo de desenvolvimento limpo deve ser assistir às Partes não incluídas no Anexo I para que atinjam o desenvolvimento sustentável e contribuam para o objetivo final da Convenção, e assistir às Partes incluídas no Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos no Artigo 3 [...](UNFCCC, 2019d)

Por se tratar de um Acordo Internacional, o Poder Legislativo Brasileiro o apreciou e validou por meio do decreto legislativo 144/2002. A promulgação Presidencial ocorreu em maio de 2005 através do Decreto nº 5.445. A partir de então, o Brasil se colocou à disposição para hospedagem de empreendimentos mitigadores de GEEs (TORRES *et al.*, 2016).

Anteriormente à internalização deste Acordo Internacional pelo Decreto nº5.445/2005, algumas normas sobre o tema meio ambiente e desenvolvimento sustentável já haviam sido editadas, dentre elas o decreto nº1.160/94, que instituiu a Comissão Interministerial de Desenvolvimento Sustentável (CIDES) e estabeleceu o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicação (MCTIC) como responsável pela coordenação dos compromissos resultantes dos acordos internacionais. Este decreto foi revogado pelo de número 5.178, de 26 de fevereiro de 1997, que criou a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda XXI Nacional. Posteriormente, através do Decreto Presidencial nº 8.200 de 7 de julho de 1999, foi concebida a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), vinculada ao MCTIC, tendo como função precípua a articulação das

ações de governo decorrentes da Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), bem como de seus instrumentos subsidiários com os quais o Brasil tenha se comprometido (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A CIMGC foi instituída como Autoridade Nacional Designada (AND), ou seja, com o status de entidade governamental para o MDL no Brasil, tendo como responsabilidades o processamento e a aprovação de projetos MDL alocados no país. Além disso, tornou-se responsável pela edição de Resoluções com o intuito de organizar o funcionamento do MDL no território brasileiro, da forma prevista no Protocolo de Kyoto. Em sua primeira resolução, publicada em setembro de 2003, foram explicitados as modalidades e os procedimentos para efeito de aprovação dos projetos trazidos pelo artigo 17 do Protocolo de Kyoto (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

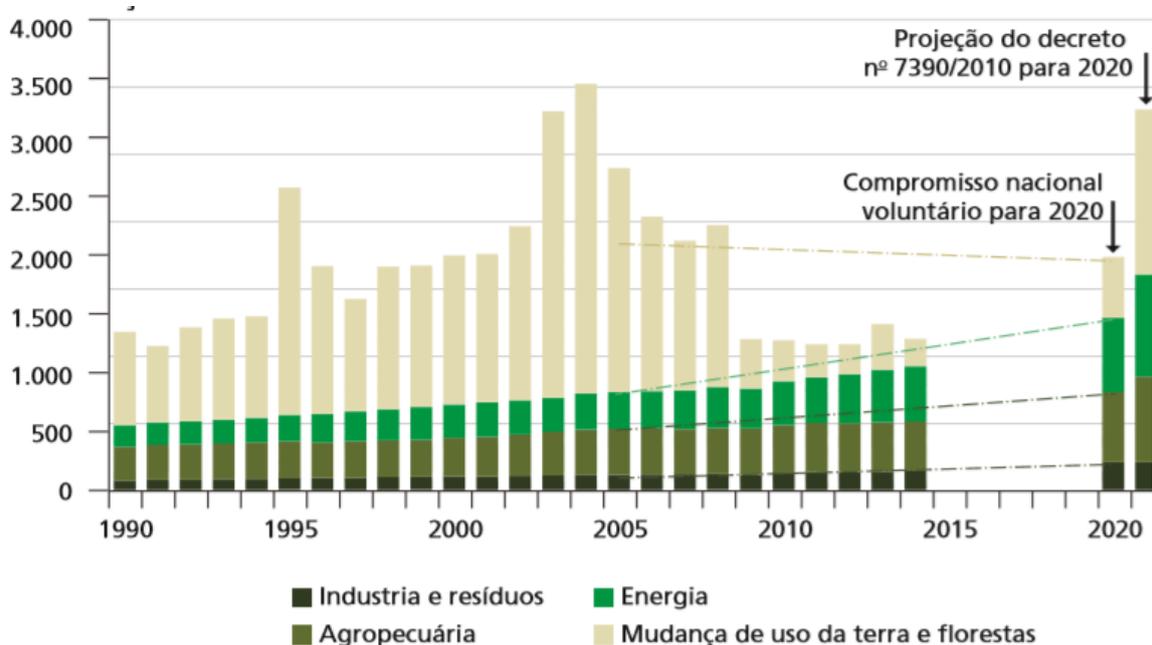
Art. 17. A Conferência das Partes deve definir os princípios, as modalidades, regras e diretrizes apropriados, em particular para verificação, elaboração de relatórios e prestação de contas do comércio de emissões. As Partes incluídas no Anexo B podem participar do comércio de emissões com o objetivo de cumprir os compromissos assumidos sob o Artigo 3. Tal comércio deve ser suplementar às ações domésticas com vistas a atender os compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos sob esse Artigo. A aquisição de créditos de carbono de outros Países deve ser suplementar, ou seja, não exime o País dos compromissos firmados de redução nas emissões. O artigo 6 do Protocolo de Kyoto justifica a necessidade de comercialização de créditos de carbono entre os signatários do Tratado (UNFCCC, 2019d).

Ainda na Resolução nº 1 da CIMGC, houve a determinação de que os proponentes de projetos MDL deveriam assegurar que seus empreendimentos contribuíssem para o desenvolvimento sustentável local, principalmente no que diz respeito à geração de empregos, distribuição de renda, capacitação e o desenvolvimento tecnológico etc. (PEREIRA, 2018)

Em 2009, durante a COP 15 em Copenhague, na Dinamarca, o Brasil assumiu o compromisso de atingir metas de redução de emissão de GEEs através da diminuição do desmatamento na Amazônia. A fim de atender este compromisso, foi instituída pela Lei nº 12.187/2009, a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), que veio a formalizar a meta de redução de GEEs numa faixa de 36,1% a 38,9% em relação às emissões estimadas até 2020. Estas emissões foram projetadas em 3,236 GtCO_{2eq} (giga toneladas equivalentes de dióxido de carbono) pelo decreto nº 7.390/2010 (Figura 5), ou seja, a política regulatória traçou uma linha de base de emissões de GEEs até 2020, sendo assim, levando-se em consideração

aquele valor, a redução absoluta deveria ficar entre 1,168 GtCO_{2eq} e 1,259 GtCO_{2eq}. Nesses cálculos projetados foram incluídas as emissões dos setores de energia, processos industriais, agropecuária, mudança do uso da terra e florestas e tratamento de resíduos. Além disso, este decreto determinou a confecção de planos setoriais de mitigação e adaptação às mudanças do clima, com a inclusão de ações, sendo um deles o Plano Decenal de Energia (PDE) que foi usado como base científica neste trabalho (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Figura 5 – Projeções de emissões de CO_{2eq} e meta de redução em Milhões de toneladas por ano.



Fonte: Teixeira *et al.* (2016).

Neto e Remígio (2018) destacam que o governo federal reforçou o ambiente regulatório do MDL através da Lei 12.187/2009. Em seu artigo 9º, ficou estabelecido o Mercado Brasileiro de Redução de Emissões (MBRE), em que as negociações de créditos de carbono poderiam ocorrer nos ambientes de bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores ou entidades de balcão, desde que previamente autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários (CVM).

Art 2º Para os fins previstos nesta Lei, entende-se por: IX - sumidouro: processo, atividade ou mecanismo que remova da atmosfera gás de efeito estufa, aerossol ou precursor de gás de efeito estufa; Art. 4º A Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC visará: IV - ao fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa no território nacional; VIII - ao estímulo ao desenvolvimento do Mercado Brasileiro de

Redução de Emissões - MBRE. Art. 5º São diretrizes da Política Nacional sobre Mudança do Clima: VI - a promoção e o desenvolvimento de pesquisas científico-tecnológicas, e a difusão de tecnologias, processos e práticas orientados a: a) mitigar a mudança do clima por meio da redução de emissões antrópicas por fontes e do fortalecimento das remoções antrópicas por sumidouros de gases de efeito estufa; Art. 6º São instrumentos da Política Nacional sobre Mudança do Clima: X - os mecanismos financeiros e econômicos referentes à mitigação da mudança do clima e à adaptação aos efeitos da mudança do clima que existam no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e do Protocolo de Quioto; Art. 9º O Mercado Brasileiro de Redução de Emissões - MBRE será operacionalizado em bolsas de mercadorias e futuros, bolsas de valores e entidades de balcão organizado, autorizadas pela Comissão de Valores Mobiliários - CVM, onde se dará a negociação de títulos mobiliários representativos de emissões de gases de efeito estufa evitadas certificadas [...] (PLANALTO, 2009).

Em 2016, o Congresso Nacional aprovou acordo de Paris por meio do decreto nº140, e em 2017, o Executivo promulgou através do decreto nº 9.073. O tratado tinha sido celebrado em 2015 durante a COP 21. A partir de então, as responsabilidades pelas reduções nas emissões dos GEEs tornam-se abrangentes, haja vista que a obrigação quanto ao combate ao aquecimento global passa a ser de as todas as partes envolvidas, e não apenas dos países do “Anexo I”, como estabelecido no Protocolo de Kyoto, ou seja, não seriam mantidos signatários com metas apenas voluntárias, como o Brasil. Agora as metas assumidas passam a ser formalizadas por intenções ou especificamente em Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, Nationally Determined Contribution em inglês), estabelecida pelo próprio país integrante do acordo. Neste novo modelo, os mecanismos de comércio de créditos de carbono possibilitaram que todas as partes fossem, ao mesmo tempo, compradoras e vendedoras de certificados de redução de emissão de GEEs, já que cada Nação passou a se comprometer obrigatoriamente por meio do *NDC* a reduzir suas emissões (FRAXE; KÄSSMAYER, 2016).

O acordo de Paris trouxe, ainda, em seu parágrafo 4º, artigo 6º, a criação do MDS (Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável) - uma versão expandida do MDL -, cujo foco não ficaria restrito aos créditos de carbono resultantes de projetos redutores de emissões, mas especialmente em empreendimentos que contribuíssem, também, de forma mais robusta, para o Desenvolvimento Sustentável local (OLSEN *et al.*, 2017).

Neste contexto, o Maranhão mostrou-se um potencial receptor de projetos advindos desses mecanismos de desenvolvimento, dada sua excelente localização geográfica para a produção de energia renovável. Nessa linha, considerando

apenas a geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica, há previsões que indicam uma representação em torno de 32 % na matriz elétrica brasileira em 2040. Para isso, os investimentos estimados são da ordem de R\$ 685 bilhões (RAMOS, 2017).

2.3 Ciclo de um projetos MDL

O primeiro passo no ciclo do projeto MDL é a identificação e formulação de potenciais projetos. Um projeto deve ser real, mensurável e adicional (detalhe na seção 2.5), podendo abranger uma série de atividades nos setores de energia, indústrias químicas, mineração, descarte de resíduos, silvicultura e agricultura. Especificamente no âmbito das Nações Unidas temos 16 espécies de empreendimentos disponíveis: (1) Indústria Energética (Fontes Renováveis/Não Renováveis); (2) Distribuição de Energia; (3) Demanda de Energia; (4) Indústria da Manufatura; (5) Indústria Química; (6) Construção; (7) Transporte; (8) Mineração/Produção Mineral; (9) Produção de Metais; (10) Emissões fugitivas de combustíveis (sólidos, petróleo e gás); (11) Emissões fugitivas da produção e consumo de Halo carbonos e Hexafluoreto de enxofre; (12) Uso de solventes; (13) Disposição e Manejo de Resíduos; (14) Florestamento/Reflorestamento; (15) Agricultura e (16) Captura e estocagem de carbono em formações geológicas (UNFCCC, 2019e).

Para Dixon *et al.* (2013), qualquer que seja o tipo de projeto, o seu proponente ou financiador só poderá receber os certificados de créditos de carbono após o projeto passar por 7 (sete) etapas distintas (Figura 6).

Figura 6 – Ciclo de Projeto no âmbito das Nações Unidas.



Fonte: Adaptado de Dixon *et al.* (2013).

Duque *et al.* (2017) esclarece cada etapa mostrada na figura 6 da seguinte forma:

Etapa I – Concepção do Projeto, essa fase é de responsabilidade do Proponente do Projeto, o qual confeccionará o Documento de Concepção do Projeto (DCP), onde será descrita a metodologia base de cálculos estimativos para as reduções dos GEEs, plano e métodos de monitoramento das emissões após a implantação do projeto, emissões de GEEs, declaração de impactos ambientais e comentários das partes interessadas.

Etapa II – Aprovação Nacional é a etapa de aprovação do projeto pela Autoridade Nacional Designada (AND) ou *Designated National Authority* (DNA). No Brasil, a instituição governamental responsável por essa aprovação é a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC), estabelecida no âmbito do Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC) desde 2002. Nesta fase, o CIMGC verificará também se o projeto proposto contribuirá para o Desenvolvimento Sustentável regional ou local, premissa dos projetos MDL.

Etapa III – Validação é o processo de avaliação independente - auditoria de terceira parte - da atividade proposta no projeto. As empresas que prestam esse serviço de auditoria são conhecidas por *Designated Operational Entity* (DOE) ou Entidade Operacional Designada (EOD).

Etapa IV – Registro. O Conselho Executivo do MDL (*CDM Executive Board*),

localizado nas Nações Unidas (UNFCCC), recebe o projeto, verifica as atestações da AND e da EOD, e caso não necessite de correções, o projeto é registrado. Nesta fase, podem haver novas requisições, ou pedidos de informações ao proponente. Ou simplesmente que o projeto seja rejeitado, caso se verifique que o mesmo não cumpra as exigências solicitadas.

Etapa V – Monitoramento. Nesta fase o empreendedor começa a monitorar atividades do seu projeto construído, apresentando relatórios de acompanhamento em que deverão constar as emissões efetivamente reduzidas a partir dos dados de operação.

Etapa VI – Verificação. Com base nos dados do monitoramento para o período verificado - a partir de 1 ano de operação do Empreendimento -, o Participante deverá contratar novamente o EOD para atestar os dados monitorados, incluindo nova visita ao local de operação. Daí é emitido um parecer que, se positivo, é submetido para o Conselho Executivo do MDL, no caso, na própria UNFCCC.

Etapa VII – Emissão dos Certificados de Redução. O Conselho Executivo do MDL avalia a documentação referente ao monitoramento do Empreendimento e emite as certificações CERs para o Participante.

2.4 Projetos MDL no Maranhão

No sítio eletrônico da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança Climática (UNFCCC) foram encontrados 4 (quatro) Projetos MDL Maranhenses, sendo 2 (dois) registrados como Atividade de Projeto (PA) e os outros 2 como Programas de Atividades (PoA).

Nesses bancos de dados podem ser encontradas informações relevantes sobre os empreendimentos registrados, tais como: o tipo, metodologia aplicada para estimar as reduções de emissões, período do programa, créditos de carbonos obtidos, investimentos, empresa auditora etc.

2.4.1 Projeto I - Carbonização da energia verde

O projeto “Carbonização da Energia Verde” foi implantado em um empreendimento do Grupo Queiroz Galvão, no município de Açailândia (MA), com o objetivo de mitigar as emissões de metano (CH_4) na produção do carvão vegetal. Este grupo empresarial investiu U\$12 Milhões (doze milhões de dólares) na melhoria do processo produtivo de sua planta. Este recurso não seria possível dispor sem o acesso ao MDL (PDD, 2010).

O programa de compensação desse projeto estimou um corte de 5.000 $\text{ktCO}_{2\text{eq}}$ nas emissões de metano em 20 anos (2011 a 2030). Na Figuras 7 é apresentado a diferença entre um processo típico de carbonização e seu melhoramento após a implantação do Projeto MDL (PDD, 2010).

Figura 7 - Processo típico e seu melhoramento: (a) Queima a céu aberto e (b) Fornos de tijolos com chaminés.



Fonte: PDD (2010).

Na Figura 7 (a) é apresentando a queima do carvão a céu aberto, enquanto na (b) o investimento na planta proporcionou que o carvão pudesse ser queimado em fornos de tijolos com chaminés.

Segundo o documento de concepção do projeto PDD (2010), além de reduzir as emissões de metano, este empreendimento permitiu o estabelecimento de padrões rigorosos de produção limpa e eficiente de carvão, bem como contribuiu para o Desenvolvimento Sustentável (DS) com as seguintes ações:

- Atenuou as Emissões de Metano (CH_4) na atividade de carbonização da

madeira;

- Adotou procedimentos melhorados na produção de carvão vegetal que limitam a poluição do ar e melhoram as condições de segurança ambiental no entorno das unidades de produção de carvão vegetal;
- Implementou medidas que melhoram as condições ambientais, a saúde e segurança dos trabalhadores nas unidades de produção de carvão vegetal;
- Contribuiu para os objetivos de desenvolvimento rural, promovendo a geração de emprego qualificado para os habitantes locais.

2.4.2 Projeto II - Gás do Aterro da CTR Rosário

Segundo o documento de concepção, PDD (2012), este projeto é uma atividade a ser executada pela empresa Vital Engenharia Ambiental S.A. na sua planta localizada no município de Rosário, Maranhão. Tem como objetivo a captura, queima e a geração eletricidade através do uso do gás de aterro sanitário produzido nas condições anaeróbicas na “Central de Tratamento de Resíduos de Rosário (CTR)”.

Deste modo, após a conclusão do projeto, o empreendimento possibilitará a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE) emitidos pela CTR Rosário através dos seguintes processos (Figura 8): sistema de coleta do biogás, sistema de transporte, sistema de sucção-distribuição e queima do gás

Figura 8 – Processos da CTR Rosário: (a) Sistema de Coleta; (b) Sistema de Transporte; (c) Sistema de Sucção-distribuição e (d) Queima do gás.

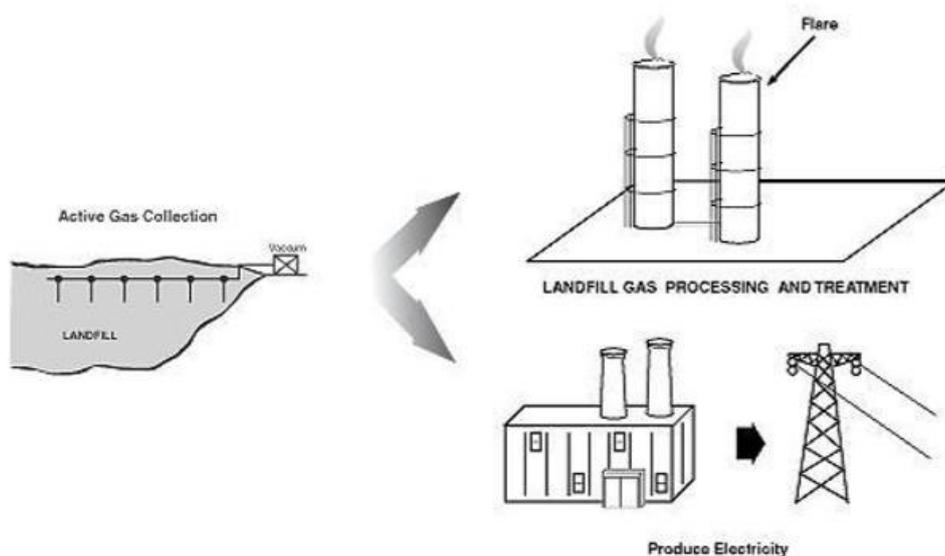




Fonte: PDD (2012).

Na Figura 8, o sistema de coleta permite que o gás contendo metano (CH_4) possa ser retirado do aterro e depois escoado até o sistema de sucção. Este fará a separação do metano dos outros gases que não tem uso na produção de eletricidade. Portanto serão queimados e emitidos para a atmosfera, enquanto o metano (biogás) sequeirá para o motor-gerador a fins de gerar energia elétrica. A planta completa dessa estação tratamento (Figura 9) conta com 4 geradores. Já a produção de eletricidade para a rede (SIN) foi estimada pelo projeto em 11 Megawatts-hora por ano (MWh/ano) durante 7 anos do programa MDL (PDD, 2012).

Figura 9 – Planta completa da estação de tratamento.



Fonte: PDD (2012).

O processo de melhoria na estação custou cerca U\$7,5 Mi (sete milhões e meio de dólares), e sem o incentivo financeiro do MDL, o cenário para a destruição do LFG - composto de Metano, Dióxido de Carbono e pequenas frações de Amônia e Sulfeto de Hidrogênio - era por meio da liberação parcial para a atmosfera através do sistema de captura passiva de LFG existente, e de sua combustão parcial em flares abertos (queimadores) (PDD, 2012).

2.4.3 Projeto III - Marco dos Ventos I (*Wind Power Plant*)

O empreendimento Marco dos Ventos I faz parte de um Programa de Atividade (PoA) dentro do MDL cadastrado com o título “*Grid connected electricity generation from wind source under Programme of Activities in Brazil*”. A Bioenergia Geradora de Energia S.A., proprietária do projeto, conta com o incentivo financeiro do MDL por 14 anos (7 anos mais 7 renováveis) para subsidiar a instalação e operação dos 18 aerogeradores de 1,6 Megawatts (MW) (cada) no município de Tutóia, Maranhão. A entidade coordenadora do programa, *WayCarbon* Soluções Ambientais e Projetos de Carbono Ltda, estimou uma redução de 273 ktCO_{2eq} nas emissões do Sistema Interligado Nacional (SIN), só nos primeiros 7 anos (2016 a 2022), com a injeção de 158.858 MWh/ano na rede (CPADD, 2012).

2.4.4 Projeto IV - Delta 3 (*Wind Power Plant*)

O projeto Delta 3 faz parte de um Programa de Atividade (PoA) da Omega Energia cujo objetivo visa captar recursos no mercado de carbono para subsidiar parte dos R\$ 1,536 bilhões investidos na instalação (figura 10), entre os municípios de Barreirinhas-MA e Paulino Neves-MA, das 8 (oito) unidades eólicas de 27,60 MW (cada). Além disso, a entidade administradora do programa (Omega Energia Renovável S.A.) pretende contribuir para a sustentabilidade ambiental, social e econômica da região (CPADD, 2017).

Figura 10 – Vista panorâmica das unidades eólicas do complexo Delta 3.



Fonte: GEMA (2017).

No projeto, foi estimada uma redução de 3.813.495 tCO_{2eq} nas emissões do Sistema Interligado Nacional (SIN) em 8 anos de operação (2017 a 2024), com a injeção de 1.150.363 MWh/ano na rede. A metodologia usada pela entidade coordenadora do programa, para projetar esses valores, foi a ACM0002 (CPADD, 2017).

2.5 Metodologias de reduções de emissões

O Acordo de Paris, em 2015, foi um estímulo para políticas e ações de desenvolvimento de baixo carbono, financiamento climático, transferência de tecnologia, capacitação e abordagens voltadas para o mercado de carbono. Nessa linha, padrões internacionalmente reconhecidos foram estabelecidos para quantificar as reduções de emissões dos GEEs, uma vez que a qualidade desses dados é de fundamental importância para a validação e certificação dos projetos MDL, por parte das Nações Unidas (UNFCCC, 2017).

Concernente a isso, durante a confecção do Documento de Concepção do Projeto (DCP), ainda na “etapa I” do ciclo de projeto MDL, o proponente deverá atentar para o tipo de metodologia que será usada para estimar as reduções dos

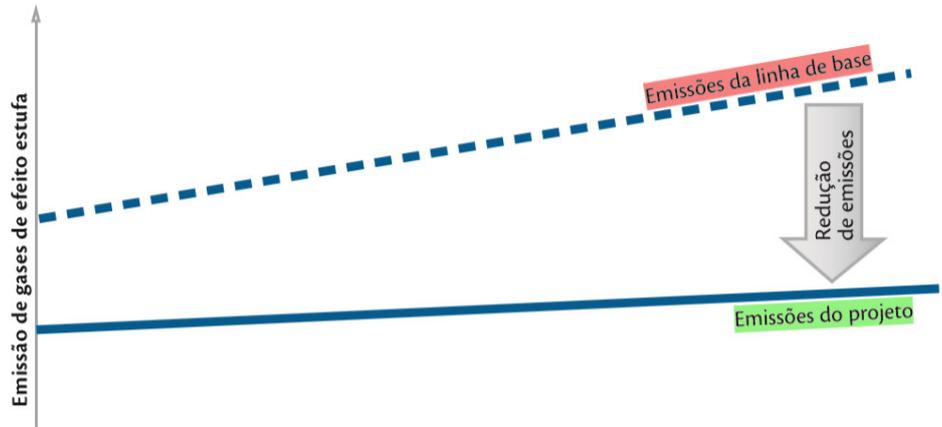
GEEs do seu empreendimento, haja vista que os créditos de carbono só serão emitidos após o monitoramento dos dados de operação do seu estabelecimento. Por conta disso, a UNFCCC disponibiliza em seu sítio eletrônico uma série de requisitos técnicos a serem seguidos pelos interessados, no sentido de adequar a intenção do seu projeto ao que realmente irá produzir. Ou seja, são oferecidas metodologias que contêm as “ferramentas” adequadas para os cálculos estimativos das reduções quantificadas de GEEs pelos Projetos Propostos (CGEE, 2010).

Um dos pontos chave oferecidos por essas ferramentas metodológicas, é a definição da linha de base, ou referência hipotética, que veio auxiliar sobremaneira nos cálculos estimativos apresentados pelos projetos. Este conceito foi inserido em 2005 como um termo aditivo ao artigo 12 do protocolo de Kyoto, que regulamentou o MDL (MCTIC, 2009).

A linha de base de uma atividade de projeto de MDL é o cenário que representa, de forma razoável, as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta. A linha de base deve cobrir as emissões de todos os gases, setores e categorias de fontes listadas no Anexo I que ocorram dentro do limite do projeto. Deve considerar-se que a linha de base representa, de forma razoável, as emissões antrópicas por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposta [...] (UNFCCC, 2009f).

Isto posto, a linha de base pode ser entendida como o cenário de referência em que se pode estimar as reduções de emissões de GEEs, ou seja, a redução de emissões é a diferença entre uma hipótese (a linha de base) e um fato, as emissões propostas pelo projeto, e posteriormente confirmadas na fase de monitoração dos dados do empreendimento (Figura 11). E caso se confirme que essas emissões são menores que as do cenário de linha de base, os créditos de carbonos poderão ser liberados pela entidade reguladora (CGEE, 2010).

Figura 11 – Cenário do cálculo estimativo de reduções de emissões.



Fonte: CGEE (2010).

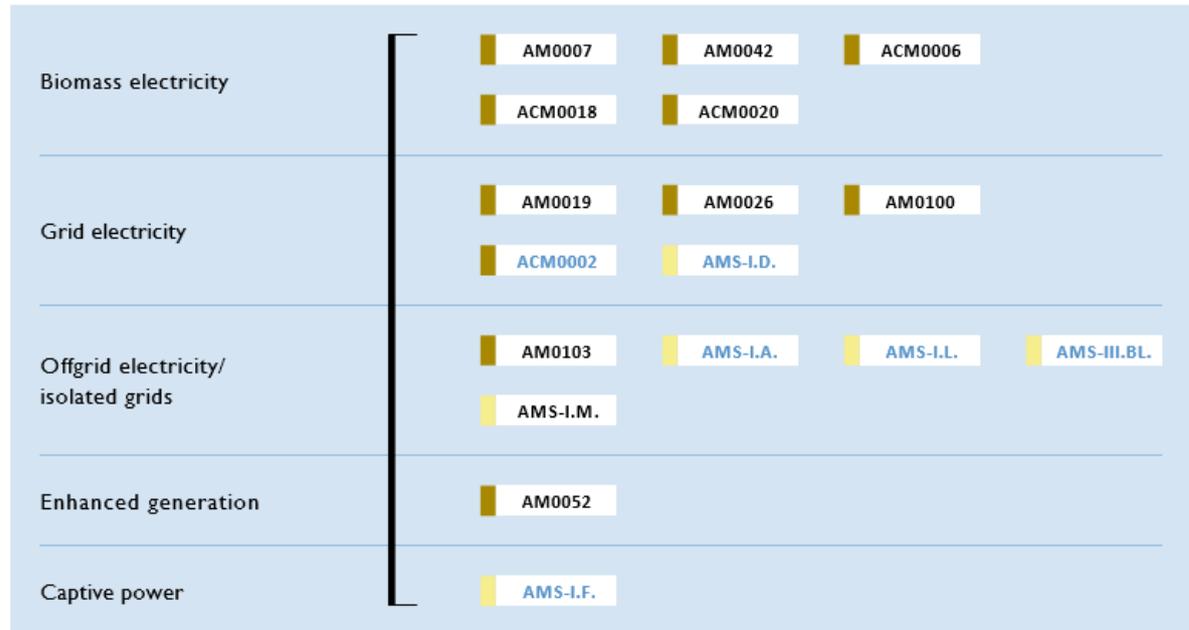
Até o momento, foram criadas 265 (duzentas e sessenta e cinco) metodologias para o cálculo estimativo de redução de emissões para 15 (quinze) setores, sendo que em cada setor elas ainda são subdivididas de acordo com o tamanho do empreendimento e o tipo de mitigação. Ou seja, os projetos podem ser de larga ou pequena escala, conjugados com o tipo de mitigação sugerido pelo empreendedor, que poderá se dar através da produção de energia renovável, implantação de medidas de eficiência energética, troca de combustível, destruição dos GEEs, entre outros (UNFCCC, 2017).

Na Figura 12 são apresentadas 17 (dezessete) metodologias disponibilizadas pelas Nações Unidas para estimar reduções de emissões em empreendimentos que se utilizam de recursos renováveis para a produção de eletricidade. O destaque vai para a metodologia ACM0002 (Activity Categorization by Mitigation). Ela é aplicada a empreendimentos de grande porte (ou de larga escala) que produzem eletricidade a partir de fontes renováveis (eólica, solar, maremotriz etc.) e que, ao mesmo tempo, injetam a produção (MWh) em sua Rede Nacional. No caso do Brasil, no Sistema Interligado Nacional (SIN) (UNFCCC, 2017).

Figura 12 - Lista de metodologias aplicáveis a empreendimentos que produzem eletricidade.

- Methodologies for large-scale CDM project activities
- Methodologies for small-scale CDM project activities
- Methodologies for small and large-scale afforestation and reforestation (A/R) CDM project activities
- **AM0000** Methodologies that have a particular potential to directly improve the lives of women and children

Figure VII-1. Methodologies for renewable electricity



Fonte: UNFCCC (2017).

Para evitar erros durante a validação do projeto, o proponente deve deixar claro no seu escopo qual será a configuração da planta mitigadora do empreendimento, haja vista que essa medida é determinante para a escolha da metodologia correta. Ou seja, o cenário de **linha de base**, que serve como referência para os cálculos estimativos de reduções nas emissões de GEEs proposto pelo projeto, depende do desenho do empreendimento (UNFCCC, 2017).

2.5.1 Metodologia ACM0002

Segundo Esparta e Nagai (2018), a maioria dos projetos propostos e validados no âmbito do MDL são de plantas renováveis que produzem eletricidade com intuito de conexão ao Sistema Interligado Nacional (SIN), ou seja, foram projetos que se valeram da metodologia ACM0002 para calcular suas reduções de

emissões.

Os cálculos estimativos dessa metodologia são recomendados para empreendimentos de larga escala (acima de 15 MW em carga instalada) que gerem eletricidade a partir de fontes como a solar, eólica, Pequenas Centrais Hidrelétrica (PCH), geotérmica e maré. E que venham a se conectar a uma rede nacional de eletricidade (ACM0002, 2018).

Como apresentado na subseção anterior (2.5) o cálculo estimativo de redução de emissão de um projeto no âmbito do MDL depende de duas variáveis: (1) Emissões da linha de base e (2) Emissões do projeto. Nas próximas seções será apresentado essa aritmética padronizada pela metodologia ACM0002.

2.5.1.1 Emissões da linha de base

A linha de base é um cenário hipotético, ou seja, uma referência da qual o projetista deve se basear para estimar a redução emissão do seu empreendimento, e evidenciar para o conselho executivo da UNFCCC de que o seu projeto atenderá uma das premissas mais importante do programa, que é a adicionalidade (CGEE, 2010). Esse conceito foi acordado em 2001 em Marrakesh (COP 7), Marrocos, e posteriormente inserido no relatório de Kyoto (UNFCCC, 2019f).

Uma atividade de projeto de MDL é adicional se reduzir emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto de MDL registrada. (UNFCCC, 2019f)

Trazendo esse conceito de “adicionalidade” para o âmbito da metodologia ACM0002. O proponente de um projeto MDL, que tenha como objetivo a conexão do seu empreendimento ao Sistema Interligado Nacional (SIN), deve demonstrar para o Conselho Executivo da UNFCCC que o seu projeto emitirá uma quantidade menor de dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}) em relação ao conjunto de empreendimentos que já fazem parte do SIN, considerando para isso o nível de produção energética requerida (PAIVA, 2015).

Diante disso, o primeiro passo para se calcular a linha de base utilizando esta metodologia, é conhecer o volume de emissões (tCO_2) para cada MWh produzido no SIN (ACM0002, 2018). Tarefa, esta, bastante complexa,

principalmente por conta de dois motivos: o primeiro é que cada fonte energética possui uma relação emissão-produção (tCO₂ por MWh) diferenciada (Figura 13); já o segundo trata-se da característica dinâmica do SIN, onde a sazonalidade dos reservatórios das usinas hidroelétricas e os níveis de consumo, em cada instante, determinam os conjuntos de empreendimentos que devem operar (MIRANDA, 2012).

Figura 13 – Fator de emissão por fonte.

Fonte de Energia	Fator de Emissão tCO ₂ equiv./MWh
Carvão	0,940 - 1,340
Óleo	0,690 - 0,890
Gás Natural	0,650 - 0,770
Energia Nuclear	0,008 - 0,027
Solar Fotovoltaico	0,081 - 0,260
Eólica	0,016 - 0,120
Hidroelétrica	0,004 - 0,018
Reservatórios brasileiros*	0,006 - 2,100

Fonte: Gedra (2009).

Entretanto, a Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima (CIMGC) decidiu em 2008 que, a partir daquele ano, o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) passaria a fornecer mensalmente fatores de emissão do SIN a serem aplicados nos projetos MDL cuja metodologia usada fosse a ACM0002 (CIMGC, 2019).

Ficou decidido, ainda, que o órgão responsável pelos cálculos dos fatores de emissões a serem disponibilizados pelo MCTIC seria o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (CIMGC, 2019). Esses fatores de emissões são calculados por algoritmos de alta performance e divididos em dois tipos. O primeiro é chamado de fator de emissão da margem de operação ($EF_{grid,OM}$), cujo valor reflete a intensidade das emissões de CO₂ das termelétricas durante períodos de demanda alta por energia. O segundo, seria o fator de emissão da margem de construção ($EF_{grid,BM}$), cujo valor reflete a intensidade das emissões CO₂ das últimas usinas construídas (CGEE, 2010). Na Tabela 4 são apresentados os valores dos últimos 4 (quatro) anos, desses fatores de emissões.

Tabela 4 – Fatores de emissão do SIN dos últimos 4 anos em tCO_{2eq}/MWh.

2015		2016		2017		2018	
<i>EF_{grid,OM}</i>	<i>EF_{grid,BM}</i>	<i>EF_{grid,OM}</i>	<i>EF_{grid,BM}</i>	<i>EF_{grid,OM}</i>	<i>EF_{grid,BM}</i>	<i>EF_{grid,OM}</i>	<i>EF_{grid,BM}</i>
0,5597	0,2553	0,6228	0,1581	0,5882	0,0028	0,5390	0,1370

Fonte: MCTIC (2019).

O passo a passo da metodologia recomenda que o projetista determine um fator de emissão único a partir da combinação dos dois outros fatores apresentados para que se possa concluir o cálculo da emissão da linha de base. Deste modo, se faz necessária a aplicação da equação a seguir (1) para determinação desse fator de emissão único, que também é chamado de fator de emissão da margem combinada ou, simplesmente, fator de emissão SIN (ACM0002, 2018).

$$EF_{grid,CM,y} = EF_{SIN} = [EF_{grid,OM,y} \times WOM] + [EF_{grid,BM,y} \times WBM] \quad (1)$$

Nesta fórmula, **y** refere-se ao ano para o qual as variáveis estão sendo calculadas. WOM (*Weighting of Operating Margin*) e WBM (*Weighting of Build Margin*) ponderam a influência de cada uma das margens dos fatores de emissões disponibilizados. Por definição, WOM e WBM são iguais à 0,5 cada um, exceto para os projetos com energia solar e eólica, cujos valores padrões dos pesos são de 0,75 para WOM e 0,25 para WBM. A unidade do fator de emissão da margem combinada é em tCO_{2eq} por MWh ou tCO_{2eq}/MWh (CPADD, 2017).

Após a aplicação dos pesos para o cálculo do fator de emissão da margem combinada (**EF_{grid,CM,y}**), temos a equação (2) como próximo passo para se estimar as emissões de linha de base (**BE**) do projeto proposto (ACM0002, 2018):

$$BE_{,y} = EG_{PJ,y} \times EF_{grid,CM,y} \quad (2)$$

Onde **y** refere-se ao ano para o qual as variáveis estão sendo calculadas. E **EG_{PJ,y}** é a energia em MWh que será produzida pelo empreendimento e injetada na rede nacional (CPADD, 2017).

Deste modo, as emissões de linha de base (**BE**) terão como resultado um valor em toneladas equivalentes de dióxido de carbono (tCO_{2eq}), haja vista a multiplicação entre as variáveis **EG_{PJ,y}**, em MWh, e **EF_{grid,CM,y}**, em tCO_{2eq}/MWh.

2.5.1.2 Emissões do projeto

Nesta parte, a metodologia recomenda que o projetista assuma nos cálculos que a produção energética oriunda das Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), Usinas Eólicas, Solar e Maremotriz não emite qualquer GEE, ou seja, que os projetos resultantes destas fontes apresentam zero emissões ($PE = 0 \text{ tCO}_{2eq}$) (ACM0002, 2018).

2.5.1.3 Reduções de emissões

Para o cálculo estimativo das Reduções de Emissões (**ER**) aplica-se a equação (3), em que o projetista executa a operação de subtração entre as emissões de linha base e as emissões do projeto proposto (ACM0002, 2018).

$$ER_{,y} = BE_{,y} - PE_{,y} \quad (3)$$

Onde:

ER_{,y} = Emissões Reduzidas para o ano y (tCO_{2eq}/y);

BE_{,y} = Emissões de Linha de Base para o ano y (tCO_{2eq}/y); e

PE_{,y} = Emissões de Projeto para o ano y (tCO_{2eq}/y).

Podemos concluir através da equação (3) que para projetos oriundos de fontes renováveis como Centrais Eólicas e Solar, o valor das reduções de emissões (**ER**) é igual ao valor de emissões de linha de base (**BE**) haja vista que as emissões desses projetos é zero.

Deste modo, construímos a equação (4): como $ER_{,y} = BE_{,y} - PE_{,y}$. Para $PE = 0$, teremos $ER_{,y} = BE_{,y}$. Temos ainda, que $BE_{,y} = EG_{PJ,y} \times EF_{grid,CM,y}$, então:

$$ER_{,y} = EG_{PJ,y} \times EF_{grid,CM,y} \quad (4)$$

Ou seja, os cálculos para estimar as reduções de um projeto MDL, cuja fontes sejam eólicas, solar, PCH e maremotriz, poderão ser determinadas pela energia gerada pelo empreendimento em MWh, multiplicada pelo fator de emissão do SIN em tCO_{2eq} por MWh. Sendo que os parâmetros para os cálculos deste último são disponibilizados mensalmente pelo Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

2.6 Matriz Energética

Matriz energética representa o conjunto de fontes disponíveis em um país, estado, ou no mundo, para suprir a necessidades por energia. Essas fontes podem ser o petróleo, carvão mineral, gás natural, água, vento, o sol, o urânio, a lenha, carvão vegetal, entre outras (EPE, 2019).

Coutinho (2015, p.30) destaca, ainda, que “matriz energética é uma representação quantitativa da oferta de energia que um determinado país ou região dispõe para sustentar o desenvolvimento de suas atividades econômicas”.

Para o Ministério de Minas e Energia - MME (2019), “a OIE (Oferta Interna de Energia), também denominada de matriz energética, representa toda a energia disponibilizada para ser transformada (Figura 14), distribuída e consumida nos processos produtivos do País”.

Figura 14 - Transformações de Energias.



Fonte: Energia Inovadora (2018).

Na Figura 14 podemos ver o processo transformador ao qual as fontes que compõem as matrizes energéticas são submetidas antes da fase de distribuição e consumo. As duas primeiras imagens retratam a conversão mecânica da força do vento, e da corrente d'água, para a produção de eletricidade. Nas duas outras, retratam a conversão química do petróleo, e dos raios solares, para produção de tração nos motores veiculares e eletricidade respectivamente (CCEE, 2019).

No Brasil, o órgão responsável pelas diretrizes da política energética nacional

é o Ministério de Minas e Energia (MME). Este órgão conta com uma estrutura estatal bastante qualificada, haja vista a necessidade de promover diversos estudos com a finalidade de orientar os tomadores de decisão sobre o planejamento do setor energético. Dentre os braços estatais, o MME conta com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), cuja implementação se deu em 2004 pela Lei nº 10.847. Em seu art. 4º, inciso II, foi estabelecida, para a EPE, a responsabilidade de elaborar e publicar o Balanço Energético Nacional (BEN). Este documento é um relatório divulgado anualmente onde são contabilizadas toda a oferta e consumo de energia no Brasil, contemplando as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, a importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia (EPE, 2019b).

Devido à multiplicidade de fontes e às diferentes formas de consumo, a EPE adotou como unidade padrão em seus relatórios do Balanço Energético a Tonelada Equivalente de Petróleo (TEP). O uso dessa unidade como base deve-se ao fato de a TEP estar diretamente relacionada à fonte primária mais consumida no mundo (PINTO JUNIOR, 2016; EIA, 2017).

Na Tabela 5 são apresentadas as unidades, e seu respectivos fatores de conversão para o TEP.

Tabela 5- Conversão de unidades na Matriz Energética.

Multiplicar Por	Para				
	J	BTU	Cal	Kwh	TEP
Joule (J)	1	$947,8 \times 10^{-6}$	0,2388	$277,8 \times 10^{-9}$	$2,388 \times 10^{-11}$
Unidade Térmica Britânica (BTU)	$1,055 \times 10^3$	1	252	$293,07 \times 10^{-6}$	$2,52 \times 10^{-8}$
Caloria (Cal)	4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	1×10^{-10}
Quilowatt-hora (Kwh)	$3,6 \times 10^6$	3.412	860×10^3	1	$8,598 \times 10^{-5}$
Tonelada Equivalente de petróleo (TEP)	$41,868 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	1.010	$11,63 \times 10^3$	1

Fonte: Adaptado de EPE (2018).

As fontes que compõem a matriz energética podem ser classificadas em relação a sua renovabilidade, ou seja, se sua disponibilidade é limitada em virtude

do esgotamento de suas reservas ou se possuem capacidade de renovação (GATTI, 2018).

As fontes renováveis são usualmente conhecidas pelo fato característico de apresentarem um ciclo natural de regeneração que pode ser mensurado em escala humana, ou seja, o reabastecimento de recursos oriundos da natureza acontece em um período que pode ser medido em anos. Além disso, estes recursos estão sempre disponíveis e não se esgotam (EPE, 2019).

Na Tabela 6 é apresentado a classificação das diversas fontes de energia.

Tabela 6 - Classificação das fontes energéticas.

<i>Fontes Energéticas</i>		<i>Energia Primária</i>	<i>Energia Secundária</i>
Não Renováveis	Fósseis	Petróleo e derivados; Carvão Mineral; Gás Natural etc.	Termoeletricidade, Calor e Combustível para Transporte.
	Tradicionais	Biomassa Primitiva (Lenha do Desmatamento)	Calor
	Convencionais	UHE (Usinas Hidroelétricas)	Hidroeletricidade
Renováveis	Modernas ou Novas	PCH (Pequenas Centrais Hidroelétricas); Eólica ; Solar ; Maremotriz e das ondas; Geotermal; Biomassa Moderna (cana de açúcar e óleos vegetais)	Calor, Eletricidade Fotovoltaica, Biocombustíveis, Termoeletricidade e Hidroeletricidade

Fonte: Gatti (2018).

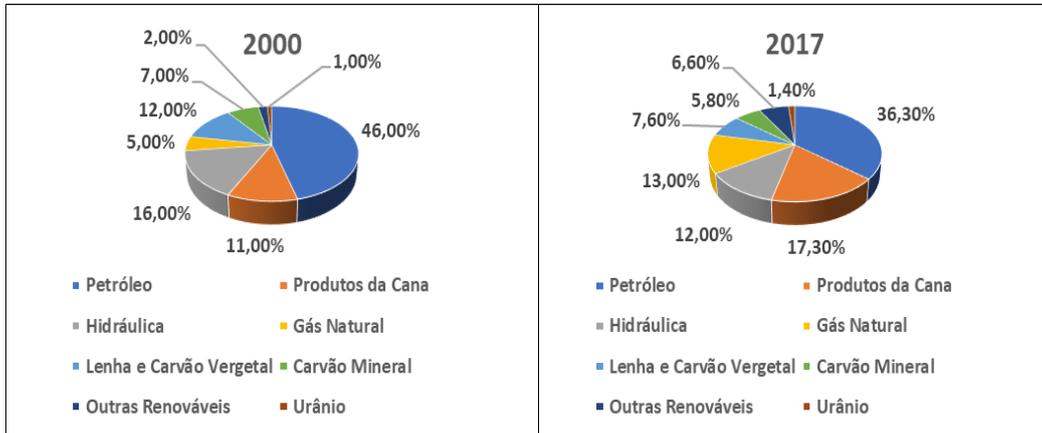
Os países signatários do acordo de Paris, incluindo o Brasil, definiram metas para aumentar a participação das energias renováveis em suas matrizes como um meio efetivo de mitigação das emissões dos GEEs, e de promoção para o desenvolvimento sustentável regional (LARRAGÁN, 2016). No Brasil, ações com esse objetivo foram implementadas bem antes desse acordo. Já em 2002 o país implementava o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) através da Lei nº 10.438 (MME, 2019).

Desde então, a política de incentivo às fontes alternativas em pouco alterou a composição renováveis versus não renováveis na matriz energética brasileira, ou seja, a oferta interna de energia primária permaneceu praticamente estável entre o conjunto hídrico e biomassa de um lado, e petróleo e gás natural do outro (EPE,

2019b).

Na Figura 15 é possível verificar esses dados em períodos diferentes.

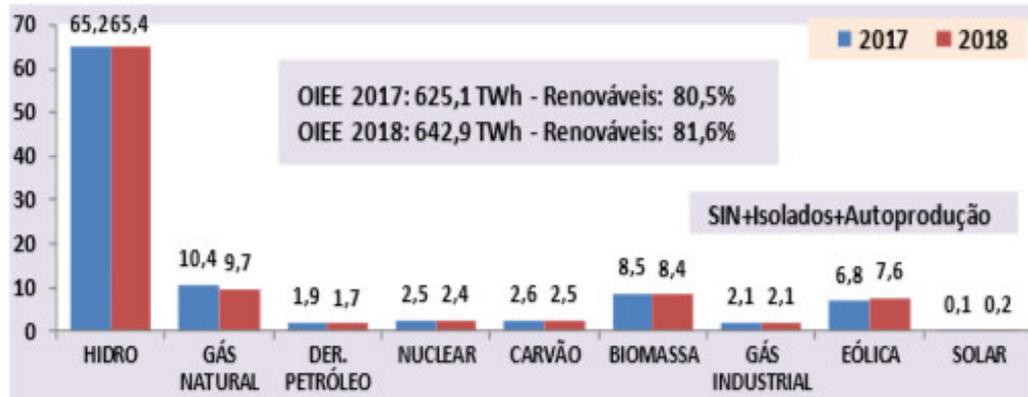
Figura 15 - Composição da oferta de energia primária no Brasil: 2000 esq x 2017 dir.



Fonte: EPE (2019b).

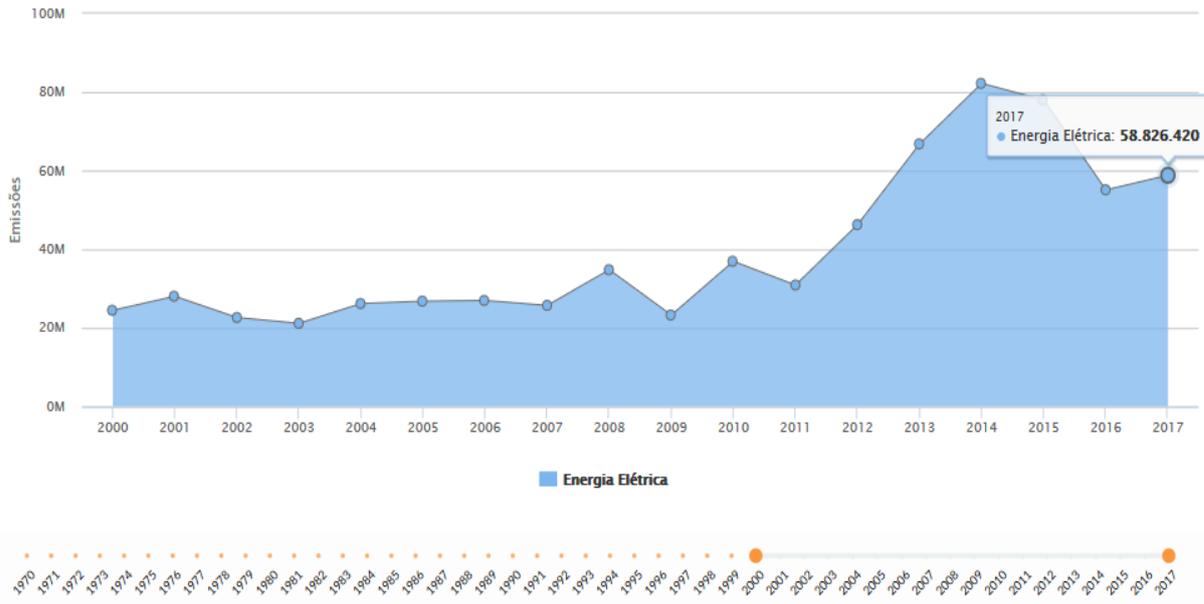
Há dois pontos a serem destacados na Figura 15. O primeiro, negativo, nos mostra que as fontes derivadas dos combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão mineral) continuam liderando a oferta interna de energia no país, com uma parcela correspondente à 55,10%. O segundo ponto, positivo, nos mostra um crescimento de 40% na parcela correspondente a “outras renováveis”, justamente na parcela onde se concentram as fontes eólicas e solar (EPE, 2018).

Quando passamos para a oferta interna de energia elétrica (OIEE), a participação das fontes renováveis dá um salto para mais de 80%, principalmente devido à capacidade hídrica do país, conforme podemos observar no Gráfico 3. Esse volume na oferta de eletricidade teve um peso de 18,37% para esse tipo de consumo na matriz energética nacional em 2017 (EPE, 2018).

Gráfico 3 - Oferta interna de eletricidade por fonte.

Fonte: EPE (2018).

Contudo, os 20% de participação das fontes não-renováveis na matriz elétrica (Gráfico 4) foram responsáveis por quase 59 MtCO_{2eq} (cinquenta e nove milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalentes) despejados para a atmosfera em 2017. Esse valor correspondeu ao quarto maior em 17 (dezessete) anos da série histórica do Observatório do Clima no Brasil (SEEG, 2019).

Gráfico 4 – Série histórica de emissões de CO_{2eq} pelo setor elétrico.

Fonte: SEEG (2019).

2.6.1 Matriz Elétrica Brasileira

Como visto na seção anterior, no Brasil, mais de 80% da oferta interna de

escoados pelo país. Esses níveis podem ser de 138 Kilovolts (kV) (linhas em amarelo), a 750 kV (linhas em preto). Porém, tem-se a predominância de tensões em 500 kV (em vermelho) como observado. Outro ponto a ser destacado no SIN, é que nem todas as capitais encontram-se interligadas ao Sistema. Para Boa Vista (RR), por exemplo, há apenas uma previsão futura de ligação dessa cidade ao SIN por meio de uma tensão em 500 kV, como ilustrado na Figura 16 (linha tracejada em vermelho (CEMIG, 2019)).

A importância da integração dos projetos MDL ao SIN para o processo de mitigação da emissão de GEEs pode ser constatada em números: dos 518 projetos brasileiros aprovados e registrados no mercado regulado de carbono, até maio de 2019, 238 utilizaram a metodologia ACM0002, ou seja, quase 50% dos projetos tiveram como objetivo a injeção de parte ou toda a eletricidade produzida do seu empreendimento no Sistema Interligado Nacional (UNFCCC, 2019c).

Como visto na seção 2.5.1, as fontes utilizadas por esses empreendimentos devem ser de origem eólica, solar, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), geotérmica ou de maré. Para Esparta e Nagai (2018), grande parte do interesse por esses tipos projetos pode ser motivada pela facilidade nos cálculos da linha de base e, conseqüentemente, nas estimativas de reduções das emissões oferecidas pela metodologia ACM0002, conforme trecho de sua pesquisa abaixo:

“[...] O cenário de linha de base é identificado por meio da eletricidade gerada pelo projeto antes do MDL. Assim, as reduções de emissão são diretamente determinadas pela diferença entre a geração anterior no cenário de linha de base e a geração com a expansão e/ou reforma. Portanto, a geração adicional com a expansão e/ou reforma multiplicada pelo fator de emissão de CO₂ da rede resulta nas emissões da linha de base proporcionadas pelo projeto. Dessa forma, o cenário de emissões da linha de base é facilmente definido pela metodologia, e a contabilização das reduções de emissão depende – quase que exclusivamente – da geração de energia despachada para a rede, que é monitorada pelos participantes de projetos (PPs).”

Deste modo, a aptidão do Brasil para a produção renovável, conjugada a um sistema financiador (MDL) em que é oferecida uma ferramenta (ACM0002) de fácil compreensão para o registro e validação dos projetos, poderá resultar em uma expressiva mitigação de GEEs.

Exemplo disso são os números parciais das metas assumidas pelo Brasil na COP 21, realizada na França, em 2015, para a redução de emissões de GEEs no período pós 2020. A EPE, através de seu Plano Decenal de Expansão de Energia

2027 (PDE), estimou que as metas para o setor de energia poderão ser alcançadas antes de 2030. As Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) brasileiras apresentaram metas indicativas para 2030 que incluem o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética e ganhos de eficiência (EPE, 2017).

Na Tabela 7 é apresentada uma estimativa comparativa entre os valores propostos como meta pelo Brasil para 2015 e valores parciais apresentados pelo relatório do PDE.

Tabela 7 - Indicadores da NDC versus o PDE 2027.

Indicadores	NDC	PDE 2027
	Ano de referência 2025	
Energia elétrica (participação de eólica, solar e biomassa, incluindo GD e autoprodução)	22%	22%
Energia elétrica (participação da hidroeletricidade na geração centralizada)	71%	73%
Matriz energética (participação de fontes renováveis, com exceção da hídrica)	32%	34%
Matriz energética (participação de bioenergia)	18%	21%
Matriz energética (participação das fontes renováveis)	45%	47%
Eficiência energética (elétrica)	8%	7%

Fonte: EPE (2017).

Podemos observar que, em 2025, a participação das energias eólica, solar e biomassa na matriz elétrica, bem como as metas de eficiência energética, serão atingidas com cinco anos de antecedência àquele do compromisso (2030), sendo, portanto, um bom indicador econômico e ambiental para o país.

2.6.2 Matriz Elétrica Maranhense

De acordo com a Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Energia (SEINC-MA) (2018), o Maranhão possui 11 (onze) empreendimentos geradores de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN), dos quais, 9 (nove) são termelétricas, ou seja, produzem a eletricidade a partir da queima de algum tipo de combustível, renovável ou não (EPE, 2017).

Na Tabela 8, é apresentada a capacidade instalada e o início de operação de

cada um dos tipos de empreendimentos e fontes na matriz elétrica Maranhense.

Tabela 8 – Capacidade instalada na matriz elétrica Maranhense.

EMPREENHIMENTO	TIPO	INÍCIO DA OPERAÇÃO	FONTES PRIMÁRIA	CAPACIDADE INSTALADA (MW)
UTE Geramar I	Térmica	2010	Óleo Pesado	165,87
UTE Geramar II	Térmica	2010	Óleo Pesado	165,87
UHE Estreito	Hidráulica	2012	Água	1.092,96
UTE Parnaíba I	Térmica	2013	Gás Natural	518,80
UTE Parnaíba II	Térmica	2013	Gás Natural	337,74
UTE Parnaíba III	Térmica	2013	Gás Natural	337,74
UTE Parnaíba IV	Térmica	2013	Gás Natural	234,45
UTE Porto do Itaqui	Térmica	2013	Carvão Mineral	360,00
UTE ALGAR	Térmica	2014	Biomassa (cana)	17,00
UTE Suzano	Térmica	2014	Biomassa (eucalipto)	354,84
Conjunto Paulino Neves (Delta 3, Delta 5 e Delta 6)	Eólica	2017	Vento	328,80
			Total	3.914,07

Fonte: ONS (2019).

Os dados de produção em Gigawatt-hora (GWh) foram coletados através do sítio eletrônico do Operador Nacional do Sistema, especificamente no menu “Conhecimento - Acervo Digital”. Nesta plataforma, são disponibilizados diversos relatórios de geração elétrica, divididos por estado ou por tipos de fontes energéticas (ONS, 2019).

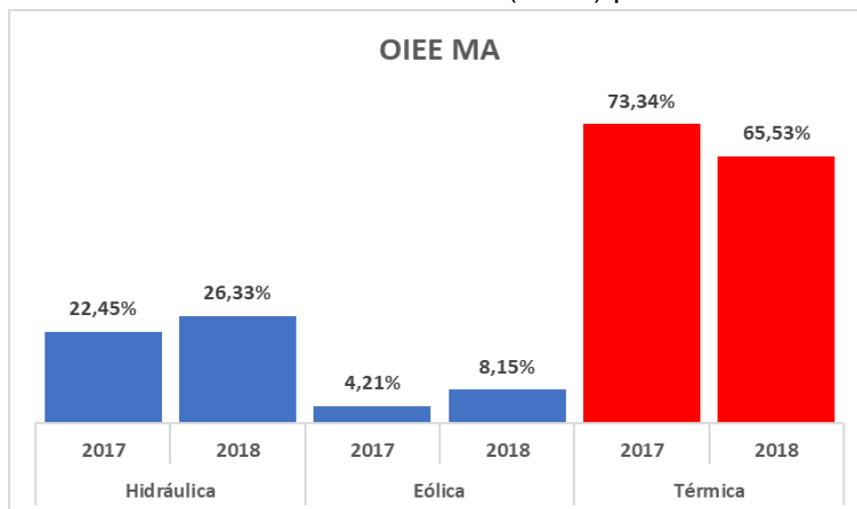
Desta forma, foram retirados os valores da produção de eletricidade injetados no Sistema Interligado Nacional (SIN) durante os anos de 2017 e 2018 por empreendimentos hidráulicos, eólicos ou térmicos instalados no Maranhão, conforme mostrado na Tabela 9. Foi escolhida a produção energética do ano 2017 para análise do efeito da geração eólica na matriz elétrica maranhense, a partir do momento que esta entrou na rede nacional.

Tabela 9 – Energia Gerada no SIN em GWh.

Mês	UHE Estreito (Hidráulica)		Conj. Paulino Neves (Eólica)		Usinas Térmicas	
	2017	2018	2017	2018	2017	2018
Jan	281,60	380,37	0,00	88,95	640,29	968,46
Fev	525,18	523,25	0,00	38,16	359,67	222,62
Mar	472,99	395,18	0,00	154,37	144,20	66,78
Abr	422,95	148,28	0,00	29,98	144,30	220,71
Mai	273,93	301,26	0,00	40,07	241,95	131,01
Jun	197,56	229,11	0,00	77,21	780,27	1.078,91
Jul	154,20	184,43	13,00	93,51	1.419,79	1.291,74
Ago	136,46	165,47	93,00	124,59	1.432,59	1.632,83
Set	126,92	187,84	132,12	141,08	1.327,82	1.549,91
Out	133,21	292,53	135,72	127,09	1.631,99	1.191,60
Nov	201,67	367,44	135,72	136,17	1.493,99	546,47
Dez	438,25	469,72	122,09	77,11	1.376,57	171,42
TOTAL	3.364,92	3.644,87	631,65	1.128,28	10.993,44	9.072,46

Fonte: ONS (2019).

De acordo com os dados levantados na Tabela 9, a produção de eletricidade na matriz maranhense caiu 7,5% em 2018 em relação ao ano anterior, ou seja, saiu de uma produção anual de 14.990 GWh (Gigawatt-hora) para 13.845 GWh em 2018. Nesse mesmo período, as térmicas tiveram uma queda significativa na produção de 17,47%. O que refletiu na sua participação na matriz elétrica maranhense, ou seja, as térmicas saíram de uma fatia de 73,32% na OIEE, em 2017, para 65,53% em 2018 (gráfico 5).

Gráfico 5 - Oferta interna de eletricidade (OIEE) por fonte no Maranhão.

Fonte: Adaptado pelo autor de ONS (2019).

Ainda na Tabela 9, a geração eólica no mesmo período deu um salto de produtividade de um ano para o outro (quase 80%), acompanhado pela energia hidráulica, que cresceu 8%. Esses aumentos de produtividade contribuíram para uma participação maior das renováveis na matriz elétrica maranhense, conforme se verifica no Gráfico 5.

A análise desses dados poderá indicar um marco histórico para o estado do Maranhão na substituição das chamadas “fontes sujas” pelas fontes renováveis. Principalmente porque 85% das fontes utilizadas pelas termelétricas maranhenses são de origem fóssil (EPE, 2018).

Segundo o Observatório do Clima, organização civil brasileira criada em 2001 para discutir os assuntos relativos as mudanças climáticas, o setor de energia no Maranhão foi responsável pela emissão, em 2017, de 12,29 milhões de toneladas equivalentes de dióxido de carbono na atmosfera. Tornando-se o terceiro setor mais poluidor do estado. Desse montante, quase 45% foram das emissões oriundas da produção de eletricidade (SEEG, 2019).

Contudo, a operação do conjunto eólico Paulino Neves, do grupo empresarial Omega Geração, poderá trazer melhoras significativas neste cenário de emissões, não apenas pelos sinais de substituição de fontes na matriz maranhense, mas também pelos seus indicadores econômicos. A partir destes, agentes financeiros poderão ser induzidos a investir em novos empreendimentos renováveis na região.

O principal indicador utilizado pelo setor, que tem reflexo direto no desempenho financeiro de empresa, é o Fator Capacidade (FC). Ele permite determinar (Equação 5) a porcentagem (%) de energia efetivamente produzida em relação à que poderia ser produzida caso as turbinas eólicas operassem a plena capacidade todo tempo (OMEGA GERAÇÃO, 2017).

$$(\%) \mathbf{FC} = \mathbf{EG} / (\mathbf{P} \times \Delta t) \quad (5)$$

Onde:

EG é a energia gerada pela turbina eólica;

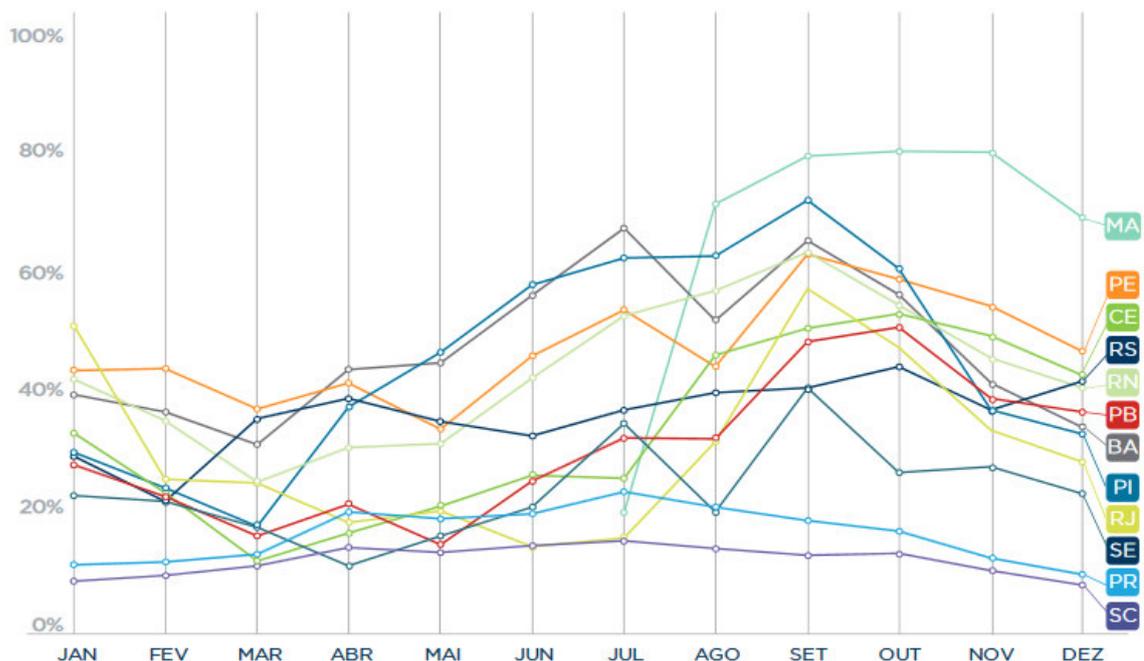
P é a potência disponível no momento. Seu valor depende da velocidade vento;

Δt é o intervalo de tempo em horas (h) considerado para o cálculo do FC (pode ser de 1 mês ou 1 ano).

As turbinas eólicas não operam a plena capacidade devido a variação da velocidade do vento ao longo do dia nas regiões dos parques eólicos. Deste modo, quanto mais próximo de 1 (ou 100%) indicar o Fator de Capacidade (FC) melhor para o investidor do parque eólico, haja vista que ele poderá dimensionar suas receitas e ainda decidir sobre novos investimentos (ABEEólica, 2018).

No Gráfico 6, é mostrado o desempenho do FC, por estado, de usinas eólicas instaladas no Brasil.

Gráfico 6 – FC por estados no Brasil.



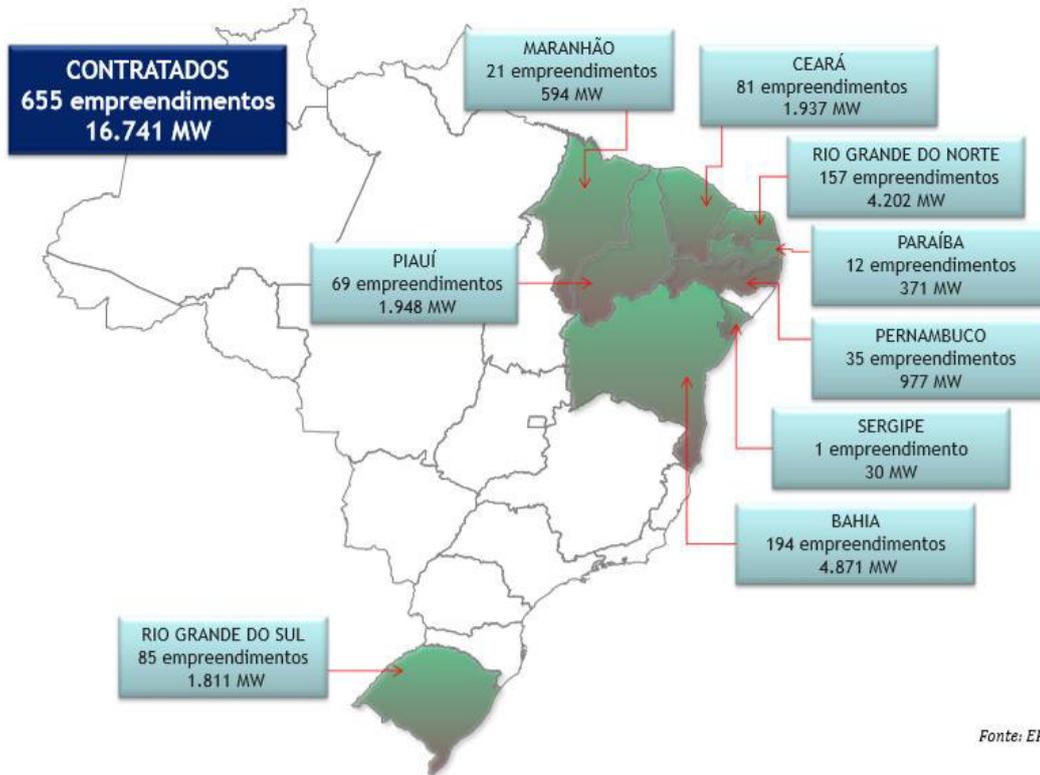
Fonte: ABEEólica (2018).

Como observado no Gráfico 6, o estado do Maranhão foi o mais eficiente quanto à produção eólica nacional. Destacando-se que o complexo Delta 3 só passou a injetar energia no SIN em meados de 2017 (ONS, 2019). Deste modo, o fator de capacidade (FC) poderá indicar o quanto uma região é interessante para investimentos em energia renovável, tanto no aspecto econômico, quanto para a mitigação dos Gases de Efeito Estufa através de Projetos MDL.

Para as perspectivas futuras, dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) mostram que já foram contratados 655 empreendimentos eólicos no Brasil, a partir da realização do segundo Leilão de Energia de Reserva em 2009. Esse conjunto de usinas totalizam uma capacidade instalada de 16.741 MW (Megawatts). Desse total, quase 90% está localizada no Nordeste (EPE, 2017).

Na Figura 17, é apresentada a distribuição dos 16.741 MW de energia eólica já contratados pelo Brasil.

Figura 17 – Usinas Eólicas contratadas nos Leilões de energia da ANEEL.



Fonte: EPE (2017).

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (PDE 2017), as fontes eólicas terão um crescimento anual médio de 14,3% entre 2018 a 2027 (10 anos) na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) nacional. Para a energia hidráulica, outra fonte renovável na matriz maranhense, que também é elegível pela metodologia ACM0002, a estimativa de crescimento, no mesmo período, é de, aproximadamente, 3,34% a.a. (EPE, 2017).

Na Tabela 10 são mostradas as estimativas de crescimento para diversas fontes na OIEE nacional até 2027.

Tabela 10– Estimativa na OIEEnacional até 2027.

Geração Centralizada (SIN)	2017 (produzido)	2027(estimado)	Variação	Período	Incremento
	TWh (Terawatt-hora)	TWh (Terawatt-hora)			
Hidráulica	404	539	(+) 33,41%	10 anos	3,34% a.a.
Gás Natural	54	56	(+) 3,7%	10 anos	-
Carvão	15	13	(-) 13,34%	10 anos	-
Biomassa	25	38	(+) 52%	10 anos	-
Eólica	42	102	(+) 143%	10 anos	14,3% a.a.

Fonte: Adaptado pelo autor de EPE (2017).

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), elaborado pela EPE desde 2006, quando ainda era PDEE (Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica), é um documento que permite extrair elementos importantes para o planejamento do setor de energia, com benefícios em termos de aumento de confiabilidade, redução de custos de produção e de impactos ambientais. Tendo em vista sua importância, foi regulamentado pelo decreto nº 7.390/2010, em atendimento aos acordos internacionais para monitoração e redução dos GEEs.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

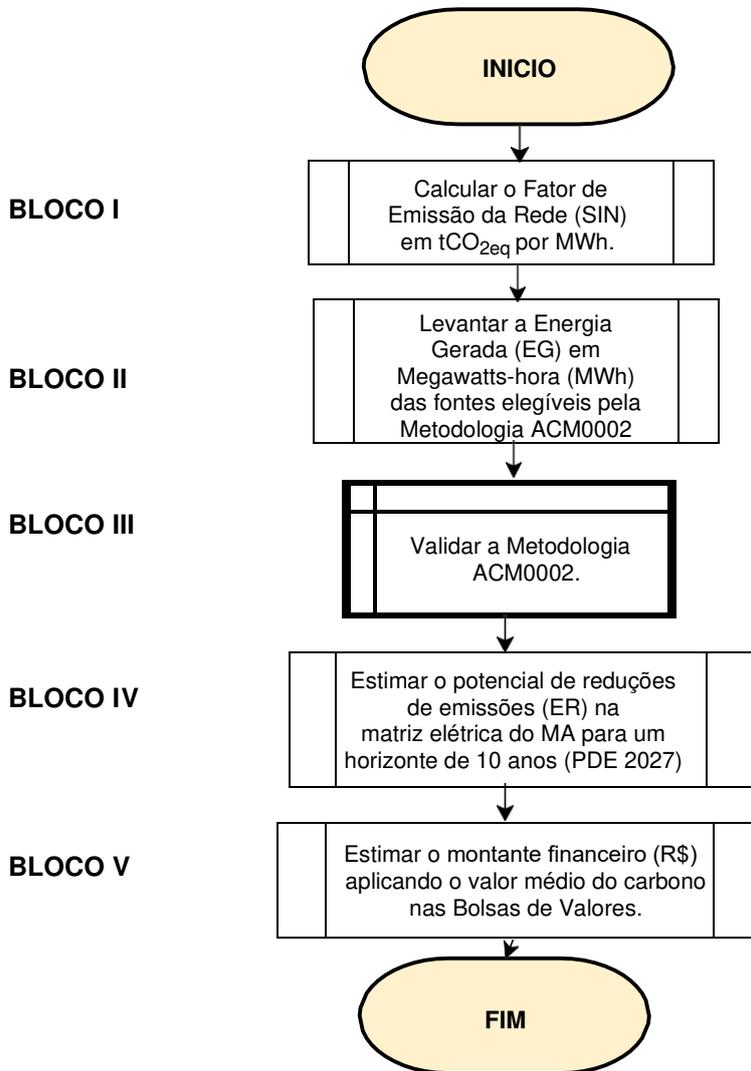
Os procedimentos adotados neste trabalho consistiram em três partes, sendo a primeira delas uma pesquisa qualitativa, realizada a partir do levantamento de dados bibliográficos em artigos, dissertações, teses, relatórios técnicos, legislações, sítios eletrônicos, entre outros documentos acerca do tema central (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Maranhão).

A segunda parte constituiu pesquisa quantitativa, tendo sido estimado o potencial das reduções de emissões (ER) de CO_{2eq} (dióxido de carbono equivalente) oportunizados pelo crescimento da matriz elétrica maranhense para um horizonte de 10 anos (2018 a 2027).

A terceira parte do estudo, também quantitativa, estimou o potencial financeiro (mercado de carbono) resultante dessas reduções nas emissões, considerando o mesmo horizonte de 10 anos. Para tanto, foi elaborado um fluxograma (Figura 18) das ações quantitativas propostas neste procedimento

metodológico.

Figura 18 – Fluxograma.



Fonte: Produção do próprio autor.

- **BLOCO I**

O fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (EF_{SIN}) é a principal variável a ser determinada pela metodologia ACM0002 quando se deseja interligar uma usina renovável ao Sistema Interligado Nacional. E, como apresentado na subseção 2.5.1, a Equação 1 é usada para seu cálculo.

$$EF_{SIN} = [EF_{grid,OM} \times WOM] + [EF_{grid,BM} \times WBM] \quad (1)$$

Os parâmetros “ $EF_{grid,OM}$ ” e “ $EF_{grid,BM}$ ” são os fatores de emissões da rede (*grid*) referentes a margem de operação (*Operating Margin - OM*), e margem de

construção (*Building Margin* - BM), determinados pela ONS e fornecidos pelo MCTIC. Os Fatores de Emissões da margem de operação (OM) e construção (BM) relativos aos anos de 2017 e 2018 são apresentados no APÊNDICE A.

Já os parâmetros “WOM” e “WBM”, conforme apresentado na subseção 2.5.1, são os pesos (*Weights*) a serem aplicados na equação (1). Seus valores são aplicados na proporção de 50% (0,5) para cada tipo de fator de emissão da rede (operação-OM e construção-BM). Exceto para projetos MDL de energia eólica e solar, cuja proporção fica em 75% (0,75) para WOM, e em 25% (0,25) para WBM.

De posse desses 4 (quatro) parâmetros ($EF_{grid,OM}$, $EF_{grid,BM}$, WOM e WBM) é possível calcular o fator de emissão do SIN (EF_{SIN}).

- **BLOCO II**

A energia gerada por um empreendimento renovável ($EG_{PJ,y}$) é a segunda variável a ser determinada quando se pretende estimar as reduções das emissões do projeto no âmbito MDL, ou quando se busca verificá-las na etapa de monitoramento do ciclo de projeto MDL. Como mostrado na Equação (4) pode-se identificar sua relação com o fator de emissão do SIN (EF_{SIN}) e as reduções de emissões propostas ($ER_{,y}$).

$$ER_{,y} = EG_{PJ,y} \times EF_{SIN} \quad (4)$$

Como os empreendimentos renováveis no Maranhão já estão na fase de operação, os valores desta variável foram coletados do “boletim mensal de geração por estado”, disponível no sítio eletrônico do Operador Nacional do Sistema (ONS).

Deste modo, foram levantados dados referentes à energia gerada pelas usinas de Estreito (Hidráulica) e Delta 3 (Eólica), haja vista que as fontes elegíveis pela metodologia ACM0002 estão restritas a solar, eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), geotérmica e maré.

- **BLOCO III**

A validação das emissões de um projeto MDL, como visto na subseção 2.3, faz parte das exigências do mercado regulado de carbono. Antes que um

empreendimento possa usufruir dos benefícios dos créditos de carbono, ele precisa comprovar, após 1 (um) ano de operação, que as suas reduções de CO_{2eq} propostas na concepção (PDD, *Project Design Document*) correspondem aos valores reais quando em funcionamento (UNFCCC, 2019).

Esta comprovação pode ser obtida comparando-se os valores estimados nos projetos de concepção com os valores calculados através da equação (4) “ $ER_y = EG_{PJ,y} \times EF_{SIN}$ ”, onde a variável energia gerada ($EG_{PJ,y}$) é divulgada por órgãos oficiais.

Neste bloco, portanto, foi verificada a eficácia da metodologia ACM0002 aplicada a dados reais da geração energética produzida pelo complexo eólico Delta 3, da Ômega Geração – o único empreendimento da matriz elétrica maranhense que se encontra apto para o recebimento dos créditos de carbono.

A hidrelétrica de Estreito, em operação desde 2012, ainda que elegível pela metodologia ACM0002, ainda não participa do programa MDL. Outro empreendimento maranhense que não pode passar por essa validação é o “Marco dos Ventos I”, do grupo empresarial Bioenergia Geradora de Energia S.A. Mesmo que já registrado na UNFCCC, suas usinas eólicas ainda não injetaram energia no Sistema Interligado Nacional (SIN). Deste modo, ainda não está apta a receber os créditos de carbono do mercado regulado (UNFCCC, 2019).

- **BLOCO IV**

A partir da confirmação da eficácia da metodologia ACM0002 no bloco anterior, ela foi utilizada para estimar as reduções de emissões possíveis com o incremento energético previsto no Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Nesse estudo foi estimado um crescimento médio de 14,3% a.a. na geração de energia eólica, e de 3,34% na hidráulica, entre os anos de 2018 e 2027 (10 anos), na matriz elétrica Brasileira (EPE, 2017).

Deste modo, foi utilizado como valor base de incremento desses percentuais a produção energética de 2018 para ambas as fontes.

- **BLOCO V**

Por fim, a partir do montante de reduções estimadas de tCO_{2eq} em 10 anos (2018 a 2027), aplicou-se o valor médio dos últimos 12 meses da tonelada do dióxido de carbono equivalente no mercado internacional (R\$ por tCO_{2eq}).

Para tanto, foi utilizada a plataforma eletrônica da *investing.com*, portal financeiro global de propriedade da *Fusion Media Limited*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Conforme demonstrado na seção 2.4, no estado do Maranhão há 04 (quatro) empreendimentos registrados no programa de incentivo financeiro MDL. Destes, apenas o Marco dos Ventos I, do grupo empresarial Bioenergia Geradora de Energia S.A, ainda não fechou o ciclo de projeto MDL (subseção 2.3), ou seja, não encontra-se apto para o recebimento dos créditos de carbono.

Desta forma, como parte complementar ao fluxograma da Figura 18, será apresentado nas subseções seguintes o montante de reduções de emissões (ER) estimado anualmente por estes empreendimentos, destacando-se principalmente a metodologia utilizada, a empresa auditora do projeto, investimentos e período de participação no programa.

Por fim, são exibidos os resultados de cada bloco propostos no fluxograma da Figura 18.

4.1 Reduções de emissões do projeto I (Carbonização da Energia Verde)

Conforme exibido na subseção 2.4.1, o projeto “Carbonização da Energia Verde” foi proposto para ser implementado em um empreendimento do Grupo Queiroz Galvão, no município de Açailândia, no Maranhão. Foi registrado na UNFCCC em dezembro de 2010, e contou com a consultoria da empresa CHARCONSULTING para execução do seu documento de concepção, bem como para o seu acompanhamento dentro do ciclo MDL (subseção 2.3). A UNFCCC concedeu para o Grupo Queiroz Galvão 10 (dez) anos de participação no programa MDL, com a possibilidade de renovação (PDD, 2010).

Após a confirmação das reduções nas emissões, estimadas pela metodologia AM0041, o Grupo Queiroz Galvão conseguiu captar 60% dos créditos de carbono planejados para os 2 (dois) primeiros anos do programa (Tabela 11), ou seja, o projeto de concepção do Grupo Queiroz Galvão estimou uma redução de 130.153 tCO_{2eq} em 2010 e 2011 (PDD, 2010). Mas, após a monitoração (etapa V do ciclo de projeto MDL) dos dados reais, foi constatado pelos auditores credenciados (empresa BV CERT) junto a UNFCCC que o empreendimento só conseguiu reduzir 78.054 tCO_{2eq} neste período. Deste modo, foram pagas apenas 78.054 CERs (reduções certificadas ou créditos de carbono) para o Grupo Queiroz Galvão (UNFCCC, 2019).

O investimento total do melhoramento dessa planta custou US\$12 Mi (doze milhões de dólares). Isso equivale à US\$ 53/tCO_{2eq}/ano (cinquenta e três dólares para cada tCO_{2eq} por ano de programa) (UNFCCC, 2019).

Tabela 11 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto I.

Redução de Emissão (tCO ₂)		Período de participação no programa		
		10 anos	Reduções médias anuais (ktCO _{2eq})	
			226,845	
ANO	2010	30.908	2016	289.228
	2011	99.245	2017	309.644
	2012	147.449	2018	309.644
	2013	192.818	2019	309.644
	2014	212.667	2020	129.018
	2015	238.187		
	Total		2.268,452 ktCO _{2eq}	

Fonte: PDD (2010).

4.2 Reduções de emissões do projeto II (Projeto de gás do aterro da CTR Rosário)

Conforme exposto na subseção 2.4.2, o projeto “Gás de Aterro da CTR Rosário” foi proposto para ser implantado pela Vital Engenharia Ambiental S.A., no município de Rosário, no Maranhão. Tendo sido registrado junto à UNFCCC em julho de 2012, e contado com a consultoria da empresa ECONERGY para execução do PDD (documento de concepção), bem como para o seu acompanhamento dentro do ciclo MDL (subseção 2.3). A UNFCCC concedeu 7 (sete) anos de participação no

programa MDL, com a possibilidade de renovações (PDD, 2012).

Na Tabela 12 são mostradas as reduções de emissões (ER) estimadas pelo Projeto II. A empresa consultora utilizou a metodologia ACM0001 para fazer essas projeções. O investimento total na adaptação dessa planta custou US\$ 7,5 Mi (onze milhões e meio de dólares), o equivalente a US\$ 115/tCO_{2eq}/ano (cento e quinze dólares) para cada tCO_{2eq} por ano de programa MDL (UNFCCC, 2019).

Tabela 12 – Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto II.

Redução de Emissão (tCO _{2eq})		Período de participação no programa		7 anos	
		Reduções médias anuais (ktCO _{2eq})		64,02	
ANO	Tratamento do Metano		Produção de Eletricidade		Subtotal
	2014	34,94	2014	0,00	34,94
	2015	46,62	2015	2,32	48,94
	2016	55,99	2016	2,32	58,31
	2017	63,74	2017	2,32	66,06
	2018	70,34	2018	3,61	73,95
	2019	76,12	2019	4,27	80,38
	2020	81,28	2020	4,27	85,55
Total		448,14 ktCO_{2eq}			

Fonte: PDD (2012).

4.3 Reduções de emissões do projeto III (Marco dos Ventos I)

O projeto “Marco dos Ventos I” foi proposto para ser implementado pelo grupo empresarial Bioenergia Geradora de Energia S.A., no município de Tutóia, no Maranhão, ao custo de US\$ 57Mi. Foi registrado na UNFCCC em novembro de 2012, e contou com a coordenação da entidade WAYCARBON para execução de seu projeto, bem como para o seu acompanhamento dentro do ciclo MDL. O conselho executivo do MDL concedeu 7 (sete) anos de programa, renováveis por mais 2 (dois) (CPADD, 2012).

Na Tabela 13 são exibidas as reduções de emissões (ER) estimadas pelo Projeto III, sendo que a entidade coordenadora utilizou a metodologia ACM0002 para projetar reduções tendo como referência a injeção de 158.858 MWh/ano na rede nacional (UNFCCC, 2019).

Tabela 13 - Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto III.

ANO	Fator de Emissão do SIN de 2011 (tCO ₂ /MWh)	Redução de Emissão (tCO ₂)
	EF _{SIN}	
2016	0,2454	38.979,00
2017	0,2454	38.979,00
2018	0,2454	38.979,00
2019	0,2454	38.979,00
2020	0,2454	38.979,00
2021	0,2454	38.979,00
2022	0,2454	38.979,00
Total		272.853,00
Período de participação no programa	7 anos	
Reduções médias estimadas por ano (toneladas de CO_{2eq})	38.979,00	

Fonte: CPADD (2012).

Esse empreendimento estava previsto iniciar suas operações em 01/01/2016, contudo não há registro de geração no “boletim mensal de geração por estado”, disponível no sítio eletrônico do Operador Nacional do Sistema (ONS). Por conta disso as reduções nas emissões propostas na Tabela 13 ainda não podem ser contabilizadas.

4.4 Reduções de emissões do projeto IV (Delta 3)

O projeto “Delta 3” foi proposto para ser implantado pelo grupo empresarial Ômega Geração entre os municípios de Barreirinhas e Paulino Neves, no estado do Maranhão. Foi registrado na UNFCCC em abril de 2017, e contou com a coordenação da entidade Omega Energia Renovável para execução de seu projeto, bem como para o seu acompanhamento dentro do ciclo MDL. O conselho executivo do MDL concedeu 7 (sete) anos de programa, renováveis por mais 2 (duas) vezes, ou seja, podendo ir até 2039 (CPADD, 2017).

A Ômega Geração precisou captar R\$ 1,536 Bi (um bilhão e meio de reais) para instalar esse parque eólico com 8 (oito) unidades geradoras. Desse valor, 70% foi financiado pelo BNDES, cuja devolução deve ser feita em 16 (dezesesseis) anos. Além disso, o custo operacional estimado foi de R\$ 37 Mi (trinta e sete milhões de reais) para 20 (vinte) anos de produção do empreendimento (CPADD, 2017).

As usinas entraram em operação gradativamente entre julho e dezembro de

2017 (ONS, 2019). Na Tabela 14 são mostradas as reduções de emissões (ER) estimadas. Sendo que a entidade coordenadora utilizou a metodologia ACM0002 para projetar as reduções tendo como referência a injeção de 1.150.363 MWh/ano na rede nacional (UNFCCC, 2019).

Tabela 14 - Reduções de Emissões (ER) estimadas pelo Projeto IV.

ANO	Fator de Emissão do SIN de 2015 (tCO ₂ /MWh)	Redução de Emissão (tCO ₂)
	EF _{SIN}	
2017 (6 meses)	0,4823	253.169,00
2018	0,4823	554.856,00
2019	0,4823	554.856,00
2020	0,4823	554.856,00
2021	0,4823	554.856,00
2022	0,4823	554.856,00
2023	0,4823	554.856,00
2024 (6 meses)	0,4823	231.190,00
Total		3.813.495,00
Período de participação no programa	7 anos	
Reduções médias estimadas por ano (toneladas de CO _{2eq})	544.785,00	

Fonte: CPADD (2017).

Este empreendimento já está reduzindo suas emissões de dióxido de carbono equivalente em conformidade ao projetado na Tabela 14 (ver resultados do bloco III).

4.5 Resultados do BLOCO I

Na Tabela 15 são apresentados os fatores de emissões de margem de operação (*Operating Margin* - OM), e margem de construção (*Building Margin* - BM), disponibilizados pelo MCTIC. Já na Tabela 16 são exibidos os pesos a serem aplicados ao tipo de projeto proposto.

Tabela 15 – Fatores de Emissões.

PARÂMETRO	2017	2018
EF _{grid,OM}	0,5882	0,5390
EF _{grid,BM}	0,0028	0,1370

Fonte: MCTIC (2019).

Tabela 16 – Os pesos.

<i>PARÂMETRO</i>	<i>Projetos Hidráulicos</i>	<i>Projetos Eólicos</i>
WOM	0,5	0,75
WBM	0,5	0,25

Fonte: CGEE (2010).

Para finalizar a execução do bloco, na Tabela 17 é mostrado o resultado da Equação (1). Cada valor determinado leva em consideração o ano e o tipo de empreendimento do qual se queira achar as reduções de emissões.

Tabela 17 – Fator de Emissão do SIN.

<i>EF_{SIN}</i> <i>(tCO_{2eq}/MWh)</i>	<i>Projetos Hidráulicos</i>		<i>Projetos Eólicos</i>	
	2017	2018	2017	2018
	0,2955	0,3380	0,4419	0,4385

Fonte: elaborado pelo autor.

Observa-se na Tabela 17 que os fatores de emissões para projetos Hidráulicos tem valores menores em comparação aos projetos Eólicos. Essa diferença se deve ao valor mais elevado do peso da margem de operação (WOM) do SIN aplicados à empreendimentos Eólicos (seção 2.5.1.1). Este tem o valor 50% maior que o WOM (*Weighting of Operating Margin*) para empreendimentos hídricos originário de projetos MDL (CGEE, 2010).

4.6 Resultados do BLOCO II

Na Tabela 18 é exposta a energia gerada (**EG_{PJ,y}**) pelos empreendimentos que fazem parte da matriz elétrica maranhense e que são ao mesmo tempo elegíveis pela metodologia ACM0002.

Tabela 18 – Energia Gerada (EG) no SIN pelas fontes elegíveis na ACM0002.

<i>FONTE</i>	<i>EMPREENHIMENTO</i>	<i>ENERGIA GERADA (EG)(MWh)</i>	<i>ANO</i>
Hidráulica	Conj. Paulino Neves (Delta 3)	631.650	2017*
		1.128.280	2018
Eólica	UHE Estreito	3.644.870	2018

* Iniciou a produção no SIN a partir de meados de 2017 de forma gradual até dezembro de 2017.

Fonte: adaptado de ONS (2019).

4.7 Resultados do BLOCO III

A partir dos dados de geração do Bloco II (Tabela 18) e dos fatores de emissões do SIN calculados no Bloco I (Tabela 17) foram determinadas através da Equação (4) as reduções de emissões reais do complexo eólico Delta 3 (Tabela 19).

Tabela 19 – Reduções de Emissões reais.

<i>ER</i> (<i>tCO_{2eq}</i>)	<i>Delta 3</i>	
	2017	2018
	279.126	494.751

Fonte: elaborado pelo autor.

Na Tabela 20 é exibida a comparação entre os valores de reduções de emissões reais e os valores estimados no projeto proposto de concepção do complexo Delta 3 para os anos de 2017 e 2018.

Tabela 20 – Validação da metodologia ACM0002.

Etapa do Ciclo MDL	Empreendimento	Delta 3	Fonte	Eólica	
	Ano	Redução de Emissão (ER)		Dif. (%)	Dif. acum (%)
Estimado em projeto	2017	253.169 tCO _{2eq}		+ 4,29%	- 4,23%
Verificação		279.126 tCO _{2eq}			
Estimado em projeto	2018	554.856 tCO _{2eq}		- 10,83%	
Verificação		494.751 tCO _{2eq}			

Fonte: elaborado pelo autor.

Por meio da Tabela 20 pode-se observar que, em 2017, as **emissões reais** superaram as estimadas pelo projeto em 4,29%. Para o programa MDL essa diferença é positiva, mas esconde um fator que pode ter contribuído significativamente, qual seja, o período em que esses dados foram coletados.

O complexo Delta 3 começou a produzir eletricidade no SIN somente a partir de julho de 2017, ou seja, os dados deste ano englobam, em grande parte, os valores do melhor período de produção eólica do estado, que é de setembro a novembro, conforme evidenciado no Gráfico 6.

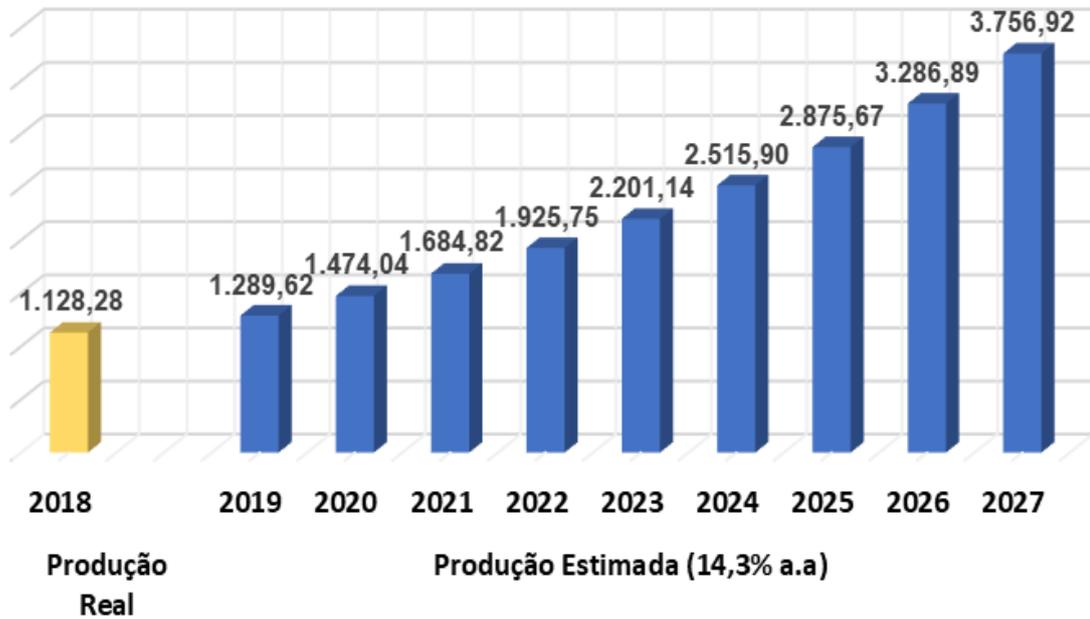
Esta análise torna-se evidente ao se observar que, em 2018, já inclusa a produção energética de todo o ano, os dados de emissões reduzidas calculados por este trabalho ficam abaixo dos estimados pelo projeto em 10,83%. Já quando é considerado todo o período de funcionamento das usinas eólicas do complexo Delta 3, a diferença cai para 4,23%.

Contudo, como visto nas seções anteriores, essa diferença menor do valor verificado em relação às emissões propostas não inviabilizam o projeto para o recebimento dos créditos de carbonos.

Na verdade, essa pequena divergência (4,23%) demonstra o quanto a metodologia ACM0002 é precisa nos cálculos quando comparada à outras metodologias da UNFCCC. Um exemplo disso são as estimativas de reduções do “Projeto I” apresentado neste trabalho. As suas emissões verificadas ficaram 40% abaixo das estimadas pelo projeto de concepção, cuja metodologia utilizada foi a AM0041.

4.8 Resultados do BLOCO IV

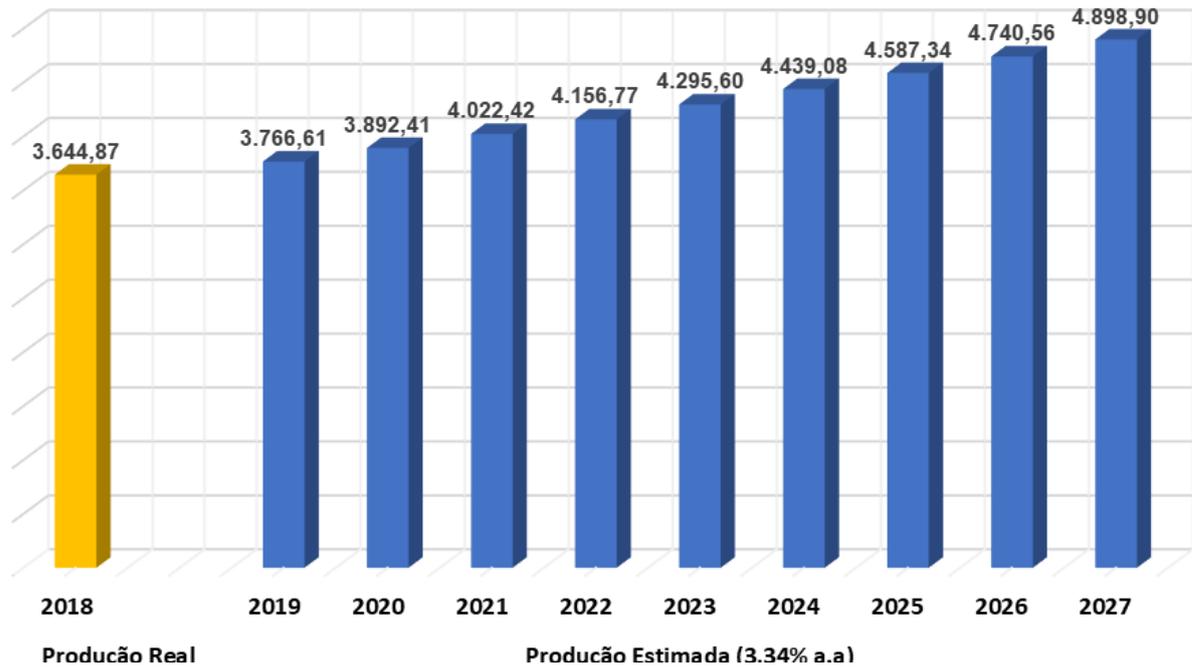
Como visto nas seções anteriores, antes de estimar as reduções de emissões através da Equação (4), é necessário conhecer a geração possível de energia ($EG_{PJ,y}$) pelas usinas. No Gráfico 7 foi aplicado o crescimento médio de 14,3% a.a. no último valor cheio de produção do complexo eólico Delta 3.

Gráfico 7 – Estimativa de Produção Eólica em GWh/ano Maranhão até 2027.

Fonte: elaborado pelo autor.

Pode-se observar que em 2027 a produção mais que triplicará em relação à geração de energia de 2018. No âmbito dos projetos MDL, esses dados podem servir como grandes indutores de usinas eólicas na região do complexo Delta 3, ou até mesmo do próprio grupo empresarial que já investe na localidade.

Já no Gráfico 8 foi aplicado o crescimento médio de 3,34% na produção hidráulica a partir de 2018.

Gráfico 8 – Estimativa de Produção Hidráulica em GWh/ano no Maranhão até 2027.

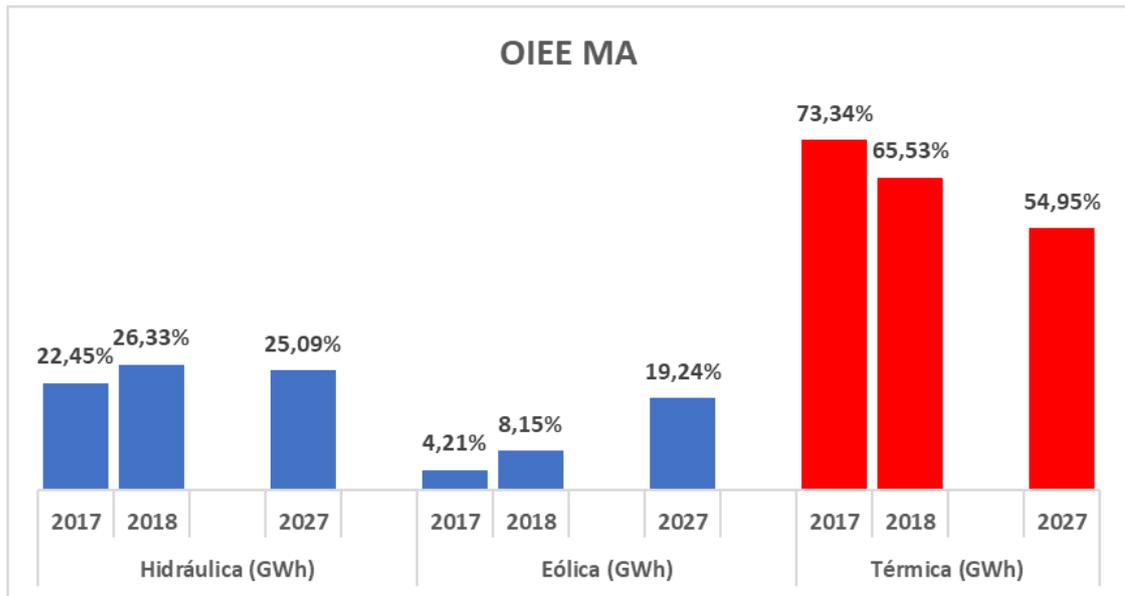
Fonte: elaborado pelo autor.

Esse incremento energético das fontes eólicas (Gráfico 7) e hidráulicas (Gráfico 8) na matriz elétrica maranhense poderá contribuir para uma redução de 10,58% (Gráfico 9) na participação das térmicas na Oferta Interna de Energia Elétrica em 2027, considerando que entre 2018 a 2027 (10 anos) a Oferta global de eletricidade terá um crescimento de 41% (Tabela 21).

Tabela 21 – OIEE global no Maranhão em 2027.

OIEE Maranhão	2018	2027	Crescimento percentual
	Medido (GWh)	Estimado (GWh)	
Conjunto de Fontes	13.845,61	19.522,31	4,1% a.a.médio

Fonte: Adaptado pelo autor de ONS (2019) e EPE (2017).

Gráfico 9 – Oferta interna de eletricidade (OIEE) por fonte no Maranhão.

Fonte: Adaptado pelo autor de ONS (2019) e EPE (2017).

Inserindo os valores estimados da energia gerada ($EG_{PJ,y}$) conforme os Gráficos 7 e 8 na Equação (4), foi possível projetar as reduções nas emissões da matriz elétrica maranhense entre os anos de 2019 e 2027. Nas Tabelas 22 e 23 são apresentadas essas reduções oportunizadas por empreendimentos eólicos e hidráulicos, respectivamente.

Tabela 22 – Reduções de Emissões estimadas para a Geração Eólica.

ANO	Estimado de Energia Gerada (MWh)	Fator de Emissão SIN de 2018 (tCO ₂ /MWh)	Redução de Emissão (tCO _{2eq})	Abater das Reduções de Emissão do Delta 3 (tCO _{2eq})	Saldo das Reduções de Emissões (tCO _{2eq})
	EG	EF _{SIN}	ER = EG x EF _{SIN}		
2019	1.289.621	0,4385	565.499	554.856	10.643
2020	1.474.036	0,4385	646.365	554.856	91.509
2021	1.684.823	0,4385	738.795	554.856	183.939
2022	1.925.753	0,4385	844.443	554.856	289.587
2023	2.201.136	0,4385	965.198	554.856	410.342
2024	2.515.898	0,4385	1.103.221	231.190	872.031
2025	2.875.672	0,4385	1.260.982		1.260.982
2026	3.286.893	0,4385	1.441.303		1.441.303
2027	3.756.919	0,4385	1.647.409		1.647.409
				Total	6,20 MtCO_{2eq}

Fonte: Produzido pelo autor.

Como pode ser visto na Tabela 22, foi preciso abater as emissões estimadas

pele projeto Delta 3 para evitar dupla contagem. Um cuidado recomendado pelo mercado regulador de carbono (UNFCCC, 2019).

Tabela 23 – Reduções de Emissões estimadas para a Geração Hidráulica.

ANO	Estimado de Energia Gerada (MWh)	Fator de Emissão SIN de 2018 (tCO ₂ /MWh)	Redução de Emissão (tCO ₂)	Abater das Reduções de Emissão de Estreito (tCO _{2eq})	Saldo das Reduções de Emissões (tCO _{2eq})
	EG	EF _{SIN}	ER = EG x EF _{SIN}		
2019	3.766.609	0,3380	1.273.114	1.231.966	41.148
2020	3.892.413	0,3380	1.315.636	1.231.966	83.670
2021	4.022.420	0,3380	1.359.578	1.231.966	127.612
2022	4.156.769	0,3380	1.404.988	1.231.966	173.022
2023	4.295.605	0,3380	1.451.914	1.231.966	219.948
2024	4.439.078	0,3380	1.500.408	1.231.966	268.442
2025	4.587.343	0,3380	1.550.522	1.231.966	318.556
2026	4.740.561	0,3380	1.602.309	1.231.966	370.343
2027	4.898.895	0,3380	1.655.827	1.231.966	423.861
				Total	2,03 MtCO_{2eq}

Fonte: Produzido pelo autor.

Já na Tabela 23, foi preciso abater as emissões evitadas pela usina de Estreito, ainda que esta não participe do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Pelo critério de aceitação de projetos no programa MDL, os proponentes devem atentar para o conceito de “adicionalidade”, ou seja, devem comprovar apenas as reduções novas (UNFCCC, 2019).

Por exemplo, caso os “donos” da hidrelétrica de Estreito pretendam ampliar ou melhorar sua planta utilizando-se dos benefícios financeiros do mercado regulado de carbono. Eles não poderão incluir, nos cálculos estimativos, as emissões evitadas pelo empreendimento anteriores a entrada no MDL (ACM0002, 2018).

Somando as reduções totais estimadas nas Tabelas 22 e 23, chega-se ao total de **8,23** Milhões de toneladas equivalente de dióxido de carbono (MtCO_{2eq}) a menos na atmosfera em 10 anos. Considerando o crescimento estimado pela EPE na produção de eletricidade no SIN, em 2027 a matriz elétrica maranhense proporcionará emissão 0 (zero) de carbono. Conforme exposto na Tabela 24.

Tabela 24 – Emissão zero na matriz elétrica Maranhense.

	2017	2027
Emissões da Matriz Elétrica do Maranhão considerando todo o conjunto de fontes (principalmente as fósseis)	5,53 MtCO _{2eq} ^{*1}	7,80 MtCO _{2eq} ^{*2 *3}
Total de reduções estimadas nas emissões proporcionadas pelo incremento das Eólicas e Hidráulica.	-	- 8,23 MtCO _{2eq}
SALDO		0
<small>*1Dados da SEEG (2019); *2 Estimado com base no crescimento médio de 4,1% a.a., de 2018 a 2027, das diversas fontes energéticas (inclusive as de origens fósseis) na matriz elétrica brasileira (EPE, 2017); *3Limitações: As emissões de CO_{2eq}de cada fonte depende do fator de emissão do SIN(EF_{SIN}) do ano corrente. Contudo, a relação diretaentre produção “suja” e emissões nos dar uma boa aproximação.</small>		

Fonte: Produzido pelo autor.

Um fator oculto nos números da Tabela 24, e que poderá contribuir para um crescimento bem menor nas emissões de dióxido de carbono na matriz elétrica maranhense para os próximos 10 anos está ligado a substituição progressiva dos combustíveis nas termelétricas. Enquanto o gás natural (único fóssil em acessão) crescerá 3,7% nesse período, a estimativa para a biomassa (bagaço da cana e eucalipto) é de 52% (EPE, 2017).

4.9 Resultados do BLOCO V

Caso o montante de reduções de emissões calculadas no bloco anterior fossem negociadas no mercado internacional de carbono (Gráfico 10), poderiam render um valor de R\$ 535 Mi (quinhentos e trinta e cinco milhões de reais), considerando a cotação média de 15 (quinze) euros para cada tonelada equivalente de dióxido de carbono (€15,00/tCO_{2eq}), ou de sessenta e cinco reais por tonelada de carbono (R\$ 65,00/tCO_{2eq})quando foi convertido no mês de fevereiro de 2019.

Gráfico 10 – Cotação do crédito de carbono.

Fonte: INVESTING (2019).

Na Tabela 25 é mostrada a diluição desse valor financeiro em um horizonte de 9 anos, considerando a cotação atual do crédito de carbono.

Tabela 25 – Estimativas de Financeiras.

ANO	Redução de Emissão (tCO _{2eq})	R\$ 65/tCO _{2eq}
2019	51.790	R\$ 3,37 Mi
2020	175.179	R\$ 11,39 Mi
2021	311.551	R\$ 20,25 Mi
2022	462.609	R\$ 30,07 Mi
2023	630.291	R\$ 40,97 Mi
2024	1.140.474	R\$ 74,13 Mi
2025	1.579.538	R\$ 102,67 Mi
2026	1.811.646	R\$ 117,76 Mi
2027	2.071.269	R\$ 134,63 Mi
Total	8,23 MtCO_{2eq}	R\$ 535,23 Mi

Fonte: Produzido pelo autor.

Somente o complexo eólico Delta 3 da Omega geração, que não está incluso na Tabela 25, poderá obter até 248 milhões de reais em 7 (sete) anos (2017 a 2024) de programa MDL. Sem contar os valores advindos das possíveis renovações (até 2 vezes). Esse valor corresponde a 16,14% do total investido no empreendimento, que foi de 1,536 bilhões de reais. Ou ainda, quase 7 (sete) vezes superior aos custos operacionais que foram estimados pela Omega geração em 37 Milhões de reais em 20 anos (CPADD, 2017).

5 CONCLUSÃO

Foram encontrados, no estado, 4 (quatro) empreendimentos registrados no conselho executivo para o MDL nas Nações Unidas (UNFCCC), dos quais, um já fez jus ao recebimento de créditos de carbono, ou seja, restou apto a negociar essa *commodity* nos mercados de carbono após sua passagem pelas 7 (sete) etapas do ciclo de projeto MDL. Já um outro projeto (Delta 3) chama atenção pelo grande volume de reduções de CO_{2eq} (dióxido de carbono equivalente) que proporcionará no Sistema Interligado Nacional (SIN) nos próximos anos. Através da metodologia ACM0002, seu documento de concepção projetou uma redução de quase 4 milhões de toneladas equivalente de dióxido de carbono (MtCO_{2eq}) em 7 anos (2017 a 2024). Em termos mundiais, corresponde uma redução de 72% nas emissões de 2017 oriundas do setor elétrico (OIEE) do Maranhão. Em termos locais, esses empreendimentos vêm contribuindo para o Desenvolvimento Sustentável (DS), bem como para a geração de emprego e renda.

O trabalho quantitativo envolveu o desenvolvimento de um fluxograma com a premissa de responder aos objetivos propostos em duas escalas (tCO_{2eq} e R\$). No primeiro resultado, verificou-se um potencial de redução de **8,23** Milhões de toneladas equivalente de dióxido de carbono (MtCO_{2eq}) de emissões de GEEs na atmosfera até o ano de 2027, oportunizados pelo crescimento das fontes eólica e hidráulica na matriz energética. No segundo resultado, esse volume de emissões resultou em uma cifra potencial de **R\$ 535,23** Mi (Milhões de reais) para incentivos em projetos MDL novos ou *retrofit* em empreendimentos renováveis que venham a se instalar, ou que já estejam instalados no estado do Maranhão.

Este estudo apresenta uma limitação devido à falta de relatórios técnicos a nível local. Todas as estimativas de crescimento energético regional levaram em conta os dados de crescimento médio nacional disponibilizados por trabalhos da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Apesar da limitação identificada, os dados utilizados possibilitam uma boa aproximação nos resultados, haja vista que as médias de crescimento energético projetadas pelo Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 são relativos aos empreendimentos que virão a ser conectados no Sistema Interligado Nacional (SIN). Ou seja, justamente os integrantes da Matriz Elétrica Maranhense.

Para complemento desta pesquisa, sugere-se sua extensão a novos estudos que possam aferir o potencial para a redução de emissões, concomitantemente ao potencial financeiro, oportunizado pelo crescimento das fontes de biomassa (bagaço da cana e eucalipto), ou de fontes menos intensivas que o óleo combustível, como o gás natural, nas usinas térmicas que fazem parte da matriz energética Maranhense.

Por fim, este estudo vem contribuir com informações relevantes para melhor embasar as políticas públicas nacionais e locais de fomento ao setor energético renovável e para o incremento dos benefícios gerados por projetos MDL. Dada a relevância do tema, considera-se que muito há ainda que se percorrer no campo da investigação nesta área, sendo, portanto, uma ampla seara de trabalho para outros pesquisadores.

REFERÊNCIAS

ABEEólica. Associação Brasileira de Energia Eólica. **BOLETIM ANUAL DE GERAÇÃO EÓLICA**. 2018. Disponível em: <<http://abeeolica.org.br/?s=boletim+anual>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

ACM0002. **LARGE-SCALE CONSOLIDATED METHODOLOGY: GRID-CONNECTED ELECTRICITY GENERATION FROM RENEWABLE SOURCES**. Versão 10.1. 2018. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/VJI9AX539D9MLOPXN2AY9UR1N4IYGD>>. Acesso em: 6 jun. 2019.

ANATER, M. J. N.; SANGUETTA, C. R.; SHIAVO, B. N. de V.; CORTE, A. P. D. C. **REDUÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELOS PROJETOS DE CRÉDITO DE CARBONO NO SETOR ENERGÉTICO BRASILEIRO**. HOLOS, ano 32, vol. 1. 2016.

BARBOSA, B. de R. **PROJETO DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO REALIZADO NA ASSOCIAÇÃO DE CATADORES E RECICLADORES DO BAIRRO TAIAMAN-ASSOMAN, EM UBERLÂNDIA-MG**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

BHATIA, T. P. S. **ECONOMIC ANALYSES OF WORLD'S CARBON MARKETS**. 2012. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Philosophy, Faculty Of Forestry And Centre For Environment University Of Toronto, Toronto, 2012.

B3. Brasil Bolsa Balcão. **ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE**. Disponível em: <http://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-desustentabilidade/>. Acesso em: 23 mar. 2019.

CCEE. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **FONTES**. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afLoop=131631866453977&_adf.ctrlstate=1v4g73719_1#!%40%40%3F_afLoop%3D131631866453977%26_adf.ctrl-state%3D1v4g73719_5>. Acesso em: 9 jun. 2019.

CEISE. Centro Nacional das Indústrias do Setor Sucroenergético e Biocombustíveis. **RENOVABIO BUSCA ATRAIR SETOR FINANCEIRO**. Disponível em: <<http://www.ceisebr.com/conteudo/renovabio-busca-atrair-setor-financeiro.html>>. Acesso em: 21 abr. 2019.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais S.A. **CEMIGEO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig_e_o_futuro/sustentabilidade/recursos_hidricos/paginas/regularizacao_setor_energetico.aspx>. Acesso em: 21 maio. 2019.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **MUDANÇA CLIMÁTICA E PROJETOS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)**. Manual de Capacitação. Edição revista e atualizada. Ministério da Ciência, Tecnologia,

Inovação e Comunicações (MCTIC). Brasília, 2010.

CIMGC. Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima. **ATAS DAS REUNIÕES DA CIMGC**. 1999-2010. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/atas_cimgc/1999_2010/1999_2010.zip>. Acesso em: 8 jun. 2019.

CPADD. Component Project Activity Design Document. **GRID CONNECTED ELECTRICITY GENERATION FROM WIND SOURCE UNDER PROGRAMME OF ACTIVITIES IN BRAZIL: MARCO DOS VENTOS I WIND POWER PLANT**. Versão 4.1. 2012. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/cpa_db/4PFV0781YNQ5LX2RZKC96MJ3UHTGAB/view>. Acesso em: 22 abr. 2019.

CPADD. Component Project Activity Design Document. **OMEGA WIND POWER PLANTS PROGRAMME OF ACTIVITIES: DELTA 3 WIND POWER PLANT CPA**. Versão 2.1. 2017. Disponível em: <https://cdm.unfccc.int/ProgrammeOfActivities/cpa_db/3SGRMYZU164Q2PI8B0JAK9NDX7WC5H/view>. Acesso em: 22 abr. 2019.

DUARTE, P. **O QUE É CRÉDITO DE CARBONO**. Revista Eletrônica sobre Meio Ambiente, n.1, p.1, 2008. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/artigos/oque-e-credito-de-carbono/9273/>>. Acesso em: 11 fev. 2019.

DUQUE, E.; GONZÁLEZ, J.; RESTREPO, J. **THE CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM AS A MEANS TO ASSESS THE KYOTO PROTOCOL IN COLOMBIA**. International Journal Of Renewable Energy Research. Colombia, p. 80-126. mar. 2017. Disponível em: <www.ijrer.org>. Acesso em: 1 jun. 2019.

EIA. Energy Information Administration. **ANNUAL ENERGY OUTLOOK**. 2017. Disponível em: <[https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **ABCD ENERGIA**. Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ENERGETICA>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

_____. **A BIOELETRICIDADE E O PLANEJAMENTO ENERGÉTICO**. 2017. VII Seminário de Bioeletricidade CEISE BR/UNICA. São Paulo, 2017.

_____. Publicações. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 8 jan. 2019b.

_____. Balanço Energético Nacional (BEN). **RELATÓRIO FINAL**. 2018. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 9 jan. 2019.

_____. **PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA (PDE) 2027**. 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

ENERGIA INOVADORA. Matriz Energética. **QUAL É A IMPORTÂNCIA DA MATRIZ ENERGÉTICA ?**. 2018. Disponível em: <<https://www.energiainovadora.net/matriz-energetica-o-que-e-e-qual-a-sua-importancia/>>. Acesso em: 9 jun. 2019.

ESPARTA, A. R. J.; NAGAI, K. M. **EXPERIÊNCIAS E LIÇÕES DO MDL NO SETOR DE ENERGIA**. IPEA. 2018.

FARIA, C. **ATERRO SANITÁRIO E MDL**. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/ecologia/aterro-sanitario-e-mdl/>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

FERREIRA, A.C.S. **CONTABILIDADE AMBIENTAL: UMA INFORMAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – INCLUEM CERTIFICADOS DE CARBONO**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

FERREIRA, A.C.S.; BUFONI, A. L.; MARQUES, J. A. V. da C.; MUNIZ, N. P. **PROTOCOLO DE KYOTO: UMA ABORDAGEM CONTÁBIL**. In: ENGEMA. 2007. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/266406877_protocolo_de_kyoto_uma_abordagem_contbil>. Acesso em: 22 mar. 2019.

FGV. Centro de Estudo em Sustentabilidade. EAESP. Programa Brasileiro GHG Protocol. **NOTA TÉCNICA. VALORES DE REFERÊNCIA PARA O POTENCIAL DE AQUECIMENTO GLOBAL (GWP) DOS GASES DE EFEITO ESTUFA-VERSÃO 1.0**. 2016. Disponível em: <http://mediadrawer.gvces.com.br/ghg/original/ghg-protocol_nota-tecnica_valores-de-gwp_v1.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GATTI, A. **ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA: COMPARAÇÃO BRASIL E ESTADOS UNIDOS**. 2018. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

GEDRA, R. L. **ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA PARA OBTENÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO EM PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

GEMA. Governo do Estado do Maranhão. Início. Ações do Governo. Desenvolvimento. **INVESTIMENTO EM ENERGIA GERADA PELO VENTO NO MARANHÃO É DESTAQUE NA MÍDIA NACIONAL**. 2017. Disponível em: <<http://www.ma.gov.br/agenciadenoticias/desenvolvimento/investimento-em-energia-gerada-pelo-vento-no-maranhao-e-destaque-na-midia-nacional>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

GRIESINGER, W. **DEATH TO THE CHICAGO CLIMATE EXCHANGE (\$7.40 TO A NICKEL PER CO₂ TON, THE MARKET HAS SPOKEN)**. Masterresource. A Free-Market Energy Blog. Disponível em: <https://www.masterresource.org/chicago-climate-exchange/death-chicago-climate-exchange/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

GUIDA, E. D. C. **EVOLUÇÃO, DESAFIOS E TENDÊNCIAS DOS CRÉDITOS DE CARBONO DA GERAÇÃO ELÉTRICA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS.** Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas-SP, Campinas, 2018.

HAMRICK, K.; GALLANT, M. **VOLUNTARY CARBON MARKETS OUTLOOKS AND TRENDS: JANUARY TO MARCH 2018.** Washington: Forest Trends, 2018. 31 p. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2018/07/VCM-Q1-Periodical_Draft_7.6_full.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

HAMRICK, K. **UNLOCKING POTENTIAL STATE OF THE VOLUNTARY CARBON MARKETS.** Washington: Forest Trends, 2017. 52 p. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2017/07/doc_5591.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2019.

ICAP. International Carbon Action Partnership. **ETS MAP.** 2019. Disponível em: <<https://icapcarbonaction.com/en/ets-map>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

ICE. Intercontinental Exchange. **ABOUT US.** Disponível em: <<https://www.theice.com/index>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

INVESTING. **CRÉDITOS DE CARBONO FUTUROS DADOS HISTÓRICOS.** Fusion Media. Disponível em: <<https://br.investing.com/commodities/carbon-emissions-historical-data#>>. Acesso em: 02 fev. 2019.

_____. **ABOUT US.** Disponível em: <https://br.investing.com/about-us/>. Acesso em: 02 Abr. 2019.

INVESTOPEDIA. **EMISSIONS REDUCTION PURCHASE AGREEMENT (ERPA).** 2018. Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/e/erpa.asp>>. Acesso em: 06 fev. 2019.

KÄSSMAYER, K.; FRAXE NETO, H. J. **A ENTRADA EM VIGOR DO ACORDO DE PARIS: O QUE MUDA PARA O BRASIL?** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Novembro/2016 (Texto para Discussão nº 215). Disponível em: <<https://www.senado.leg.br/estudos>>. Acesso em: 4 mar. 2019.

LARRAGÁN, J. de C. **THE PARIS AGREEMENT, THE KYOTO PROTOCOL AND THE FUTURE OF THE CARBON MARKET.** article. IBAnet. 2016.

LAZARO, L. L. B; GREMAUD, A. P. **CONTRIBUIÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DOS PROJETOS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO NA AMÉRICA LATINA.** Revista O&S. UFBA. v. 24, n. 80, p. 53-72. Salvador. Jan./Mar. de 2017.

LIBERTEX. **TRADING DE CFD VS. CONTRATOS FUTUROS: QUAL É A DIFERENÇA?** Disponível em: <<https://libertex.org/pt/blog/trading-de-cfd-vscontratos-futuros-qual-e-diferenca>>. Acesso em: 06 abr. 2019.

MELO, M. Q. de. **MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO E A DIFUSÃO DE TECNOLOGIAS DE FONTES RENOVÁVEIS NO SETOR DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRO**. 2011. 130 f. Tese (mestrado) - Curso de Política Científica e Tecnológica., Unicamp, Campinas, 2011.

MENEGUIN, F. **O QUE É O MERCADO DE CARBONO E COMO ELE OPERA NO BRASIL? BRASIL ECONOMIA E GOVERNO, 2012**. Disponível em: <<http://www.brasil-economiagoverno.org.br/2012/08/13/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

MICHAELOWA, A. **OPPORTUNITIES FOR AND ALTERNATIVES TO GLOBAL CLIMATE REGIMES POST-KYOTO**. Annual Review of Environment and Resources, v. 40, p. 395-417, 2015.

MME. Ministério de Minas e Energia. **ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfa/o-programa/energiasrenovaveis?inheritRedirect=true>>. Acesso em: 10 jun. 2019.

MIRANDA, M. M. de. **FATOR DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: IMPLICAÇÕES DA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MCTIC. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **STATUS DOS PROJETOS DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) NO BRASIL**. 2016. Disponível em: <https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/arquivos/status_md/Status-janeiro-2016.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

_____. **O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO: GUIA DE ORIENTAÇÃO**. 2009. Pág. 32 e 33. Disponível em: <<https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/arquivos/publicacao/clima/205947.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

_____. **MÉTODO DA ANÁLISE DE DESPACHO. FATORES DE EMISSÃO DA MARGEM DE OPERAÇÃO PELO MÉTODO DA ANÁLISE DE DESPACHO**. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_despacho.html>. Acesso em: 8jun. 2019.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **INDC**. Contribuição Nacionalmente Determinada. 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/10570-indc-contribui%C3%A7%C3%A3o-nacionalmente-determinada>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

_____. **CLIMA**. Convenção das Nações Unidas. Acordo de Paris. 2019b. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2019.

MONTEIRO, M. K. D.; NETO, J. A. de S.; VIEIRA, A. S. **MEASUREMENT AND DISCLOSURE OF CARBON CREDITS: A CASE STUDY ON GRANJA PARAÍSO, MINAS GERAIS – BRAZIL**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), Eletrônica, v. 6, n. 2, p.45-66, nov. 2018. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/download/24887/16704>>. Acesso em: 6 jul. 2019.

NETO, H. J. F.; REMÍGIO, H. G. **NATUREZA JURÍDICA E QUESTÕES CREDITÍCIAS E TRIBUTÁRIAS DAS REDUÇÕES CERTIFICADAS DE EMISSÕES**. Brasília: IPEA, 2018. 426 p.

OLIVEIRA, A. N. **CARBON MARKET VOLUNTEER FOR BRAZILIAN COMPANIES: ANALYSIS OF (IN)EFFICIENCY OF THIS INSTRUMENT FOR THE ENVIRONMENT THROUGH ECOLOGICALLY BALANCED**. Revista Direito Ambiental e Sociedade, Caxias do Sul - RS, v. 8, n. 1, p.83-105, abr. 2018. Semestral. Disponível em: <<http://www.ucs.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

OLIVEIRA, A. S. de.; MIGUEZ, J. D. G.; ANDRADE, T. C. M. de A. **A CONVENÇÃO SOBRE MUDANÇA DO CLIMA E O SEU PROTOCOLO DE QUIOTO COMO INDUTORES DE AÇÃO**. BRASÍLIA: IPEA, 2018. 426 p.

OLSEN, K. H.; ARENS, C.; MERSMANN F. **LEARNING FROM CDM SD TOOL EXPERIENCE FOR ARTICLE 6.4 OF THE PARIS AGREEMENT**. Climate Policy. Copenhagen, fev. 2017. p. 383-395. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1277686>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

OMEGA GERAÇÃO. **RELATÓRIO ANUAL**. 2017. Disponível em : <http://www.omegageracao.com.br/download_arquivos.asp?id_arquivo=F102F946-0379-4689-B5D7-B1C2F2CCFACC>. Acesso em: 13 jun. 2019.

ONS. Operador Nacional do Sistema. **CONHECIMENTO: ACERVO DIGITAL. DOCUMENTOS E PUBLICAÇÕES**. Disponível em: <http://ons.org.br/paginas/conhecimento/acervo-digital/documentos-e-publicacoes>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

PAIVA, D. S. **PROJETOS DO MERCADO VOLUNTÁRIO DE CARBONO NO BRASIL: ANÁLISE DOS COBENEFÍCIOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Tese apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Administração, Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Administração. Salvador, 2015.

PDD. Project Design Document. **ENERGIA VERDE CARBONIZATION PROJECT - MITIGATION OF METHANE EMISSIONS IN THE CHARCOAL PRODUCTION OF GRUPO QUEIROZ GALVÃO, MARANHÃO, BRAZIL**. Versão 4. 2010. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/BVQI1292618983.34/view>> Acesso em: 01 jun. 2019.

PDD. Project Design Document. **CTR ROSÁRIO LANDFILL GAS PROJECT**. Versão 2. 2012. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/ICONTEC1352986596>>.

44/view>Acesso em: 01 jun. 2019.

PEREIRA, A. K. **DESENVOLVIMENTISMO, CONFLITO E CONCILIAÇÃO DE INTERESSES NA POLÍTICA DE CONSTRUÇÃO DE HIDRELÉTRICAS NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**. 2013. Texto para Discussão. Nº 1884, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2013.

PINTO JUNIOR, H. Q.; ALMEIDA, E. F. de; BOMTEMPO, J. P. **FUNDAMENTOS ECONÔMICO, EVOLUÇÃO HISTÓRICA E ORGANIZAÇÃO INDUSTRIAL**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PLANALTO. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **LEI Nº 12.187, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2009**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PELLISSARI, B.; SEVERO, E. A.; GUIMARAES, J. C. F. de. **O MERCADO BRASILEIRO DE CRÉDITOS DE CARBONO**. XIX Simpósio de Engenharia de Produção. Sustentabilidade Na Cadeia de Suprimentos. Bauru, SP, novembro de 2012.

PEREIRA, H. de A. **CONTRIBUIÇÃO DO MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO AO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**. Brasília: Ipea, 2018. 426 p.

RAMOS, C. **SALTO DOS INVESTIMENTOS EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA**. 2017. GESEL. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Relatório. Disponível em: <<http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/IFES/BV/ramos1.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2019.

RIBEIRO, M. S. **O TRATAMENTO CONTÁBIL DOS CRÉDITOS DE CARBONO**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005.

ROCHA, M. da S.; PAIANO, D. B. **O PROTOCOLO DE QUIOTO E A NOVA PROPOSTA PARA QUIOTO**. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 18., 2013, São Paulo-SP. Anais..., São Paulo, 2013. p. 94.

SANTOS, R. E. R. D. **A CONTRIBUIÇÃO DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM INSTALAÇÕES RESIDENCIAIS E SEU IMPACTO NO PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DA GERAÇÃO FUTURA, COM BASE NA ANÁLISE DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - PEE DESENVOLVIDAS PELAS CONCESSIONÁRIAS DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2018.

SEINC-MA. Secretaria de Indústria e Comércio do Maranhão. **ENERGIA RENOVÁVEL**. Disponível em: <<http://www.seinc.ma.gov.br/areas-de-atuacao/energia-renovavel/>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

SEEG. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa.

ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. Observatório Nacional. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Disponível em: <plataforma.seeg.eco.br>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SERENO, A. **QUO VADIS “EUROPA VERDE”? A POLÍTICA DE AMBIENTE DA UNIÃO EUROPEIA E O COMBATE ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.** Análise Europeia - Revista da Associação Portuguesa de Estudos Europeus 3 (5) 123-149. 2018

SOUZA, C. S.; MILLER, D. S. **O PROTOCOLO DE QUIOTO E O MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL): AS REDUÇÕES CERTIFICADAS DE EMISSÕES (RCES), SUA NATUREZA JURÍDICA E A REGULAÇÃO DO MERCADO DE VALORES MOBILIÁRIOS, NO CONTEXTO ESTATAL PÓS-MODERNO.** Advocacia Geral da União; Brasília-DF, 2003. Disponível em: <www.agu.gov.br/page/download/index/id/703301>. Acesso em: 15 fev. 2019.

TEIXEIRA, D. F. F. **ASPECTOS CONTÁBEIS REFERENTES AOS CRÉDITOS DE CARBONO.** 2011. Monografia (Graduação em Ciências Contábeis) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/34884>. Acesso em: 12 abr. 2019.

TEIXEIRA, B. S.; MOLLETA, D. G. S.; LUEDEMANN, G. **BRASIL: ESFORÇOS NACIONAIS SOBRE AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.** Brasília: Ipea, 2016. 352 p.

TORRES, V. **A NATUREZA CONTÁBIL DOS CRÉDITOS DE CARBONO.** Monografia (Graduação em Ciências Contábeis)–Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/34831>. Acesso em 10 mar. 2019.

TORRES, C.; FERMAM, R. K. S.; SBRAGIA, I. **CDM PROJECTS IN BRAZIL: MARKET OPPORTUNITY FOR COMPANIES AND NEW DESIGNATED OPERATIONAL ENTITIES.** Ambiente e Sociedade, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 199-212. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n3/1809-4422-asoc-19-03-00199.pdf>. Acesso em 10 mar. 2019.

UNFCCC. **UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. PROGRAMMES OF ACTIVITIES (POAS).** Disponível em:<https://cdm.unfccc.int/programmeofactivities/index.html>. Acesso em: 30 mar. 2019.

EMISSIONS TRADING: GREENHOUSE GAS EMISSIONS A NEW COMMODITY. Disponível em: <https://unfccc.int/process/the-kyoto-protocol/mechanisms/emissions-trading>. Acesso em: 10abr. 2019b.

CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM). DATABASE FOR PAS AND POAS. Disponível em:<https://cdm.unfccc.int/>. Acesso em: 30 mar. 2019c.

KYOTO PROTOCOL (1998).Resources. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf#page=12>>. Acesso em: 21 mar. 2019d.

PROJECT SEARCH. CDM. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>>. Acesso em: 01 jun. 2019e.

FCCC/KP/CMP/2005/8/ADD.1.Resources. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Reference/COPMOP/08a01.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2019f.

CLEAN DEVELOPMENT MACHANISM. CDM Methodology Booklet. Ninth Edition. 2017. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>>. Acesso em: 23 mar. 2019.

VIEIRA, A. S.; NETO, J. A. de S.; SARMENTO, R. C. S. S.; VIEIRA, A. S. **EVALUATION AND MEASUREMENT OF CARBON CREDITS: A CASE STUDY IN THE PIG INDUSTRY SECTOR COMPANY BRF - BRAZIL FOODS S.A.**Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 6, n. 2, p.27-44, 2018.

WATTS, D.; ALBORNOZ, C.; WATSON, A. **CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM (CDM) AFTER THE FIRST COMMITMENT PERIOD: ASSESSMENT OF THE WORLD'S PORTFOLIO AND THE ROLE OF LATIN AMERICA**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1176–1189. 2015.

WEAVER, S. **CLIMATE CHANGE LAW AND POLICY IN NEW ZEALAND**. Wellington: Lexisnexis Nz Ltd, 2011. Chapter 12. 511p.

**APÊNDICE A – FATORES DE EMISSÕES DA MARGEM DE
OPERAÇÃO (OM) E CONSTRUÇÃO (BM) RELATIVOS
AOS ANOS 2017 E 2018**

MARGEM DE CONSTRUÇÃO												
Fator de Emissão Médio (tCO ₂ /MWh) - ANUAL												
2017	0,0028											
MARGEM DE OPERAÇÃO												
Fator de Emissão Médio (tCO ₂ /MWh) - MENSAL												
2017	MÊS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,5419	0,5148	0,5867	0,5905	0,6086	0,5846	0,6052	0,6102	0,6060	0,5997	0,6019	0,6078
	MÉDIA											0,5882

MARGEM DE CONSTRUÇÃO												
Fator de Emissão Médio (tCO ₂ /MWh) - ANUAL												
2018	0,1370											
MARGEM DE OPERAÇÃO												
Fator de Emissão Médio (tCO ₂ /MWh) - MENSAL												
2018	MÊS											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	0,5652	0,5559	0,5750	0,5058	0,5461	0,6691	0,5989	0,5948	0,5718	0,5782	0,3654	0,3423
	MÉDIA											0,5390

ANEXO 1 – PAÍSES DO “ANEXO I” DO PROTOCOLO DE KYOTO

Alemanha	Finlândia	Nova Zelândia
Austrália	França	Noruega
Áustria	Grécia	Polônia
Bélgica	Hungria	Portugal
Bielo-Rússia	Irlanda	Reino Unido da Grã-Bretanha
Bulgária	Islândia	Irlanda do Norte
Canadá	Itália	Romênia
Croácia	Japão	Suécia
Dinamarca	Letônia	Suíça
Eslováquia	Liechtenstein	Turquia
Eslovênia	Lituânia	Ucrânia
Espanha	Luxemburgo	Estados Unidos
Estônia	Mônaco	
Federação Russa	Holanda	