



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA E DA RESTAURAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS POR
INCÊNDIOS FLORESTAIS EM EMPRESA DE MINAS GERAIS**

Débora Christine Vasconcelos Borges

Belo Horizonte

2020

Débora Christine Vasconcelos Borges

**VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA E DA RESTAURAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS POR
INCÊNDIOS FLORESTAIS EM EMPRESA DE MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Brianezi

Coorientador: Dr. Guilherme Corrêa Abreu

Belo Horizonte

2020

DÉBORA CHRISTINE VASCONCELOS BORGES

**VALORAÇÃO ECONÔMICA AMBIENTAL DAS EMISSÕES DE GASES DE
EFEITO ESTUFA E DA RESTAURAÇÃO DE ÁREAS ATINGIDAS POR
INCÊNDIOS FLORESTAIS EM EMPRESA DE MINAS GERAIS**

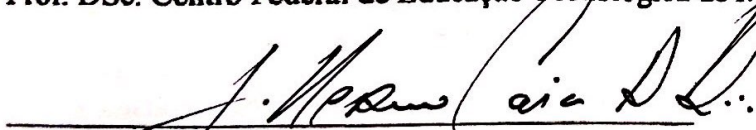
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 25 de novembro de 2020

Banca examinadora:



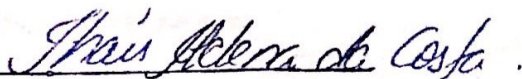
Daniel Brianezi – Presidente da Banca Examinadora
Prof. DSc. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientador



Guilherme Corrêa Abreu
DSc. Gerente Geral de RI e Sustentabilidade da ArcelorMittal - Coorientador



Erlon Barbosa Valdetaro
DSc. Coordenador na STCP Engenharia de Projetos Ltda.



Thais Helena da Costa Porfirio
MSc. Especialista em Licenciamento Ambiental, Processos Minerários e Florestais da
ArcelorMittal

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora, por se fazerem presentes em todas as etapas de aprendizado em minha vida, desde a escola até a conclusão do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária.

À minha família. Aos meus pais, Alex e Terezinha, e à minha irmã, Mirian, pelo amor, exemplo e apoio. Mesmo distante 120 km, vocês estiveram comigo em todos os momentos. À minha querida tia Célia, por me acolher de braços abertos e me fazer sentir em casa durante esses cinco anos.

Ao meu orientador, professor Daniel Brianezi, por dividir seus conhecimentos comigo, pela confiança e paciência, pela disponibilidade de tempo inclusive no longo período de pandemia.

Ao Guilherme Abreu, pela coorientação e convivência profissional, e à toda equipe da Gerência Geral de Sustentabilidade da ArcelorMittal Brasil. Felipe, Leonardo e Fátima, obrigada pela motivação, ensinamentos e amizade.

Ao Cléber Pereira, da segurança patrimonial da ArcelorMittal BioFlorestas, pelo compartilhamento dos dados utilizados neste trabalho, contribuição nas discussões e esclarecimento de dúvidas.

Aos amigos que a graduação me presenteou, em especial: Ana Luiza, Arthur, Gabriela, Lohanne, Lucas, Maluzinha e Mayra. Agradeço pelo companheirismo e por tornarem meu dia a dia mais alegre.

Aos professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, aos quais tenho muita admiração e respeito. Muito obrigada pela experiência transmitida, solicitude e incentivo de sempre.

Ao CEFET-MG, minha eterna gratidão!

RESUMO

BORGES, Débora Christine Vasconcelos. **Valoração econômica ambiental das emissões de gases de efeito estufa e da restauração de áreas atingidas por incêndios florestais em empresa de Minas Gerais.** 2020. 77f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

A valoração econômica ambiental é uma ferramenta que tem a finalidade de auxiliar na atribuição de valor monetário aos recursos ambientais, por isso, é muito utilizada para a preservação do meio ambiente. O presente trabalho tem como objetivo principal valorar as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o custo necessário para a restauração de áreas da ArcelorMittal BioFlorestas atingidas por incêndios florestais, no período de 2015 a 2019. Foi utilizada a metodologia de cálculo do IPCC para o critério de emissões de GEE e o custo médio das técnicas de restauração por hectare de floresta queimada. Verificou-se que a Regional Rio Doce (RRD) foi a unidade da empresa com maior área total atingida no período de estudo, seguida pela Regional Centro-Oeste (RCO) e pela Regional Norte (RNO). As florestas da RRD situam-se em áreas de relevo ondulado, localizados em região de domínio do bioma Mata Atlântica, enquanto que as outras duas unidades estão situadas em áreas de topografia plana do Cerrado. Observou-se ainda que as áreas de florestas de eucalipto atingidas pelos incêndios superaram as áreas de florestas nativas em praticamente todo o período e em todas as unidades. O custo ambiental total das emissões de GEE foi de R\$ 8.749.113,81 na RRD, R\$ 500.858,41 na RCO e R\$ 20.793,59 na RNO. Em relação ao critério de restauração, seis técnicas foram avaliadas para as florestas nativas, sendo que a média da valoração em todo o período foi de R\$ 7.783.654,29 na RRD, R\$ 5.271.226,50 na RCO e R\$ 32.174,58 na RNO, considerando o cenário ambiental mais desfavorável. Para as florestas de eucalipto foi avaliado o método de reforma dos plantios, que resultou nos seguintes valores totais: R\$ 18.050.640,00 na RRD, R\$ 5.323.920,00 na RCO e R\$ 783.600,00 na RNO. Por fim, destaca-se que as principais causas dos incêndios florestais detectados nas áreas da empresa nos últimos anos são criminais e devido às longas estiagens de chuva, mas que a adoção de medidas de prevenção e combate mostraram-se importantes na redução dos registros de ocorrências e dos impactos ambientais.

Palavras-Chave: Queima controlada. Emissão de GEE. Restauração florestal.

ABSTRACT

BORGES, Débora Christine Vasconcelos. **Environmental economic valuation of greenhouse gas emissions and restoration of areas affected by forest fires in a company in Minas Gerais**. 2020. 77f. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

Environmental economic valuation is a tool to assist the allocation of monetary value to environmental resources, so it is widely used for the preservation of the environment. This study aims to value Greenhouse Gases (GHG) emissions and the necessary cost for the restoration of areas of ArcelorMittal BioFlorestas affected by forest fires, between 2015 and 2019. The IPCC calculation methodology was used for the GHG emission criterion and the average cost of restoration techniques per hectare of forest burned. The Regional Rio Doce (RRD) was the company's unit with the largest total area reached in the study period, followed by the Regional Centro-Oeste (RCO) and the Regional Norte (RNO). The RRD's forests situated in areas of undulating relief, located in a region of Atlantic Forest, while the other two units are in areas of flat topography of Cerrado. The areas of eucalyptus forests affected by the fires surpassed the areas of native forests in practically all the period and in all units. The total environmental cost of GHG emissions was R\$ 8,749,113.81 in RRD, R\$ 500,858.41 in RCO, and R\$ 20,793.59 in RNO. Regarding the area restoration criterion, six techniques were analyzed for native forests, of which the average value in the entire period was R\$ 7,783,654.29 in RRD, R\$ 5,271,226.50 in RCO, and R\$ 32,174.58 in RNO, considering the most unfavorable environmental scenario. For the eucalyptus forests was evaluated the reform method, which resulted in the evaluation of: R\$ 18,050,640.00 in RRD, R\$ 5,323,920.00 in RCO, and R\$ 783,600.00 in RNO. Finally, it should be noted that the main causes of the forest fires, in recent years, are criminal and due to the dry seasons, but that the adoption of prevention and combat measures proved to be important in reducing records of occurrences and environmental impacts.

Keywords: Controlled burn. GHG emission. Forest restoration.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral.....	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Aspectos do fogo	17
3.2	Incêndios florestais	19
	<i>3.2.1 Prevenção e combate a incêndios florestais aplicados na empresa</i>	<i>21</i>
3.3	Histórico de incêndios florestais em Minas Gerais.....	22
3.4	Valoração econômica ambiental	23
	<i>3.4.1 Métodos de valoração.....</i>	<i>25</i>
4	METODOLOGIA.....	28
4.1	Informações gerais sobre a empresa e a atividade	28
	<i>4.1.1 Caracterização das áreas de florestas nativas.....</i>	<i>29</i>
	<i>4.1.2 Caracterização das áreas de florestas de eucalipto.....</i>	<i>30</i>
4.2	CrITÉRIOS de valoração econômica ambiental	31
	<i>4.2.1 Emissões de gases de efeito estufa</i>	<i>31</i>
	<i>4.2.2 Restauração da área.....</i>	<i>33</i>
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1	Apresentação geral das informações levantadas	37
	<i>5.1.1 Análise detalhada da Regional Centro-Oeste</i>	<i>40</i>
	<i>5.1.2 Análise detalhada da Regional Norte.....</i>	<i>45</i>
	<i>5.1.3 Análise detalhada da Regional Rio Doce.....</i>	<i>50</i>
5.2	Valoração econômica ambiental	55
	<i>5.2.1 Emissões de gases de efeito estufa</i>	<i>56</i>
	<i>5.2.2 Restauração da área.....</i>	<i>62</i>
6	CONCLUSÕES.....	69
7	RECOMENDAÇÕES.....	70
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
	APÊNDICE A - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Centro-Oeste de Minas Gerais.....	75

APÊNDICE B - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Norte de Minas Gerais	76
APÊNDICE C - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Rio Doce de Minas Gerais	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquema de quebra do triângulo do fogo	18
Figura 3.2 - Elementos que compõem o tetraedro do fogo	18
Figura 3.3 - Classificação dos incêndios florestais quanto ao meio onde se propagam.....	20
Figura 3.4 - Cartazes de divulgação da SIPIN	22
Figura 3.5 - Frequência de focos ativos por regionais do IEF em Minas Gerais, no período de 1999 a 2009	23
Figura 3.6 - Quadro de taxonomia geral do valor econômico do recurso ambiental (VERA)	25
Figura 4.1 - Localização das unidades da ArcelorMittal BioFlorestas em Minas Gerais por bioma	28
Figura 4.2 - Quadro de caracterização das áreas de estudo	29
Figura 4.3 - Esquema da dinâmica das florestas renováveis de eucalipto para produção de carvão vegetal.....	30
Figura 5.1 - Total de ocorrências de incêndios florestais registradas em áreas nativas e plantações de eucalipto por unidade da empresa entre 2015 e 2019	37
Figura 5.2 - Área florestal total atingida pelos incêndios por unidade da empresa entre 2015 e 2019 (em hectares).....	38
Figura 5.3 - Área de cada tipo de vegetação florestal atingida pelos incêndios por unidade da empresa entre 2015 e 2019 (em hectares)	39
Figura 5.4 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2015.....	40
Figura 5.5 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2016.....	41
Figura 5.6 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2017.....	42
Figura 5.7 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2018.....	43
Figura 5.8 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2019.....	44
Figura 5.9 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2015	45

Figura 5.10 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2016	46
Figura 5.11 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2017	47
Figura 5.12 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2018	48
Figura 5.13 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2019	49
Figura 5.14 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2015.....	51
Figura 5.15 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2016.....	52
Figura 5.16 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2017.....	53
Figura 5.17 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2018.....	54
Figura 5.18 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2019.....	55
Figura 5.19 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RCO entre 2015 e 2019, em toneladas de CO _{2e}	56
Figura 5.20 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RNO entre 2015 e 2019, em toneladas de CO _{2e}	57
Figura 5.21 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RRD entre 2015 e 2019, em toneladas de CO _{2e}	57
Figura 5.22 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RCO na série histórica de cinco anos (2015 – 2019).....	59
Figura 5.23 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RNO na série histórica de cinco anos (2015 – 2019).....	60
Figura 5.24 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RRD na série histórica de cinco anos (2015 – 2019).....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Fator do potencial de aquecimento global (GWP) para os gases de efeito estufa de interesse	32
Tabela 4.2 - Massa de combustível disponível para combustão (M_B) por tipologia vegetal ..	32
Tabela 4.3 - Fator de combustão (C_f) por tipo de floresta	33
Tabela 4.4 - Fator de emissão (G_{ef}) para os gases de efeito estufa de interesse	33
Tabela 4.5 - Custo médio de cada técnica de restauração aplicável às áreas de florestas nativas por tipo de bioma e cenário de referência ($R\$.ha^{-1}$)	36
Tabela 5.1 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RCO entre 2015 e 2019 (em R\$)	58
Tabela 5.2 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RNO entre 2015 e 2019 (em R\$)	59
Tabela 5.3 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RRD entre 2015 e 2019 (em R\$)	61
Tabela 5.4 - Análise estatística dos resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para as três unidades da empresa (em R\$ por ano)	63
Tabela 5.5 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RCO entre 2015 e 2019 (em R\$)	66
Tabela 5.6 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RNO entre 2015 e 2019 (em R\$)	67
Tabela 5.7 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RRD entre 2015 e 2019 (em R\$)	68

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

- AAVC Áreas de Alto Valor de Conservação
- AFOLU *Agriculture, forests and other land use*
- APP Área de Preservação Permanente
- BDMEP Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
- CAD Condições ambientais desfavoráveis
- CAF Condições ambientais favoráveis
- CH₄ Metano
- CO₂ Dióxido de carbono
- CO_{2e} Dióxido de carbono equivalente
- DAA Disposição a aceitar
- DAP Disposição a pagar
- EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- FGV Fundação Getúlio Vargas
- FSC® *Forest Stewardship Council*®
- GEE Gases de Efeito Estufa
- GWP *Global Warming Potential*
- HFCs Hidrofluorcarbonos
- IEF Instituto Estadual de Florestas
- IGP-M Índice Geral de Preços de Mercado
- INMET Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC *Intergovernmental Panel on Climate Change*
- IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
- ISO *International Organization for Standardization*
- MBS Método de mercado de bens substitutos
- MCV Método do custo de viagem
- MG Minas Gerais
- MPH Método de preços hedônicos
- MPM Método de produtividade marginal

- MVC Método de valoração contingente
- N₂O Óxido nitroso
- OHSAS *Occupational Health and Safety Assessment Series*
- PFCs Perfluorcarbonos
- RCO Regional Centro-Oeste
- RNO Regional Norte
- RPPN Reserva Particular de Patrimônio Natural
- RRD Regional Rio Doce
- RVZ Regional Vazante
- SEEG Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
- SF₆ Hexafluoreto de enxofre
- SIPIN Semana Integrada de Prevenção de Incêndios
- Sisnama Sistema Nacional do Meio Ambiente
- SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação
- TNC *The Nature Conservancy*
- VERA Valor econômico do recurso ambiental
- VE Valor de existência
- VNU Valor de não uso
- VO Valor de opção
- VU Valor de uso
- VUD Valor de uso direto
- VUI Valor de uso indireto

1 INTRODUÇÃO

A temperatura média global da superfície do planeta é fortemente influenciada pela quantidade de luz solar absorvida por meio da atmosfera e da superfície da Terra, que aquece o planeta, e pela existência do efeito estufa, o processo pelo qual os gases e as nuvens afetam a maneira como a energia acaba sendo irradiada de volta ao espaço. Os principais Gases de Efeito Estufa (GEE) são: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hexafluoreto de enxofre (SF₆), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs) (IPCC, 2013).

Em contrapartida a esse fenômeno natural que vem sendo intensificado pelas atividades antrópicas nos últimos séculos tem-se o processo de sequestro de carbono. A conservação das florestas aliada a práticas sustentáveis de manejo de culturas é destacada como uma estratégia ao estabelecimento do equilíbrio dinâmico entre a emissão de CO₂ e a conversão deste em biomassa através do ciclo do carbono (ARNETH *et al.*, 2019).

Entretanto, White *et al.* (2013) apontam que o fogo é a principal causa desencadeante de danos às florestas, tanto naturais quanto plantadas, que pode corroborar na alteração desse equilíbrio dinâmico e, conseqüentemente, atuar na emissão de CO₂ para a atmosfera e no contexto das mudanças climáticas globais. De acordo com o 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, sigla em inglês para *Intergovernmental Panel on Climate Change*), das 49 Gt de CO₂ equivalente (CO_{2e}) emitidas no ano de 2010, o setor de agricultura, florestas e outros usos do solo (AFOLU, sigla em inglês para *agriculture, forests and other land use*) contribuiu com 24% das emissões diretas, percentual que contabiliza as emissões provenientes de incêndios florestais (IPCC, 2014).

O panorama no Brasil, sexto maior país emissor de GEE do mundo com 3,2% do total, mostra que a atividade agropecuária foi responsável por aproximadamente 80% das emissões entre 1990 e 2019, segundo análise do Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG). No ano de 2019, o relatório apontou a emissão de 2,17 Gt de CO_{2e}: 44% foi proveniente das mudanças de uso da terra, sobretudo do desmatamento na Amazônia, seguida de 28% da agropecuária, 19% do setor de energia, 5% de processos industriais e os 4% restantes de resíduos. O SEEG também estimou que as remoções em áreas protegidas foram de 358,6 MtCO_{2e} e de 239,1 MtCO_{2e} por vegetação secundária (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

Entre 1994 e 2002, Minas Gerais registrou o maior número de ocorrências de incêndios florestais no Brasil, bem como a maior extensão de terra queimada, resultado que pode ser justificado pelo fato do estado apresentar a maior área reflorestada do país e uma estação de seca prolongada em grande parte do território (SANTOS; SOARES; BATISTA, 2006). Além da liberação de GEE, outras externalidades negativas podem ser causadas pelos incêndios, tais como: danos à saúde humana na forma de doenças respiratórias provocadas pela fumaça, fechamento de aeroportos, interrupção nas redes de energia e até acidentes de trânsito devido à redução na visibilidade das estradas (DIAZ *et al.*, 2002).

Conforme salienta Leite e Pimenta (2011), as organizações estão buscando cada vez mais uma conformidade ambiental de seus processos e produtos a fim de obter vantagem competitiva no mercado e manter um controle mais eficaz de seus aspectos ambientais, minimizando os impactos a eles associados. Uma vez que o sequestro de carbono em áreas de reflorestamento é visto como uma excelente alternativa para mitigar as emissões de GEE em diferentes biomas do Brasil (CARVALHO *et al.*, 2010), a busca pela neutralização de CO₂ através da utilização de carvão vegetal oriundo de florestas plantadas de eucalipto em altos fornos é uma realidade nas siderúrgicas do país.

Contudo, as perdas econômicas anuais causadas por incêndios nessas plantações são diretas, sendo que o método mais aconselhável para os evitar é a instalação de um sistema eficaz de prevenção e combate ao fogo (WHITE *et al.*, 2016; CANZIAN *et al.*, 2020). Borges *et al.* (2011) destacam dois fatores como os principais para o alto risco de ocorrência de incêndios em áreas com plantio de eucalipto: a disponibilidade de madeira e o depósito contínuo de folhas e galhos sobre a superfície do solo, este último permite a formação de uma camada orgânica que serve como material combustível em incêndios florestais.

Um amplo campo de estudo da interface existente entre meio ambiente e economia, que permite uma melhor compreensão dessas perdas econômicas, é a valoração econômica dos recursos ambientais, que se constitui em uma ferramenta pela qual atribuímos valores aos bens e serviços ambientais por meio de critérios, visando o uso mais eficiente deles (LIMA, 2018). Para Portugal Júnior, Portugal e Abreu (2012), a economia de meio ambiente surge justamente do desafio de se criar métodos de valoração ambiental que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável, o qual inclui o crescimento da produção, justiça distributiva e preservação ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Aplicar uma metodologia para valoração econômica ambiental das emissões de gases de efeito estufa e da restauração de áreas da ArcelorMittal BioFlorestas atingidas por incêndios florestais, no período de 2015 a 2019.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar as áreas florestais da empresa atingidas por incêndios numa série histórica de cinco anos (2015 – 2019) com registro de ocorrência;
- Valorar a externalidade negativa ocasionada pelas emissões de gases de efeito estufa nos incêndios e o custo necessário para a restauração das áreas atingidas;
- Comparar as áreas atingidas pelo fogo em florestas nativas e em florestas plantadas de eucalipto para produção de carvão vegetal considerando dois cenários: condições ambientais favoráveis (CAF) e condições ambientais desfavoráveis (CAD).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aspectos do fogo

O fogo é um agente de perturbação dos ecossistemas em diferentes lugares do mundo. Técnicas de limpeza de terrenos que tem como base o ateamento do fogo ainda são utilizadas por inúmeras unidades produtivas agrícolas, inclusive sem o devido planejamento e/ou domínio completo do método, o que pode comprometer o resultado desejado. Nos casos em que o fogo sai do controle, os danos de ordem ambiental, econômica e até mesmo humana podem alcançar grandes proporções.

O uso de fogo na vegetação é permitido em situações específicas, discriminadas no art. 38 da Lei 12.651/2012, mais conhecida como “novo” Código Florestal Brasileiro:

I - em locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais, mediante prévia aprovação do órgão estadual ambiental competente do Sisnama, para cada imóvel rural ou de forma regionalizada, que estabelecerá os critérios de monitoramento e controle;

II - emprego da queima controlada em Unidades de Conservação, em conformidade com o respectivo plano de manejo e mediante prévia aprovação do órgão gestor da Unidade de Conservação, visando ao manejo conservacionista da vegetação nativa, cujas características ecológicas estejam associadas evolutivamente à ocorrência do fogo;

III - atividades de pesquisa científica vinculada a projeto de pesquisa devidamente aprovado pelos órgãos competentes e realizada por instituição de pesquisa reconhecida, mediante prévia aprovação do órgão ambiental competente do Sisnama (BRASIL, 2012).

Para que haja a ocorrência de fogo são necessários três elementos, mais conhecidos como triângulo do fogo: combustível, comburente e calor. O combustível corresponde à cobertura vegetal (viva ou morta) em condições de entrar em ignição e queimar, a qual pode estar disponível no solo, sobre o solo ou acima dele. O comburente é o oxigênio presente na atmosfera. Já o calor é representado pela liberação de energia e é transferido da zona de combustão para os combustíveis próximos a fim de que a chama possa se propagar. Sendo assim, o combate a incêndios florestais é o conjunto de atividades realizadas por equipe técnica que objetivam a desestabilização do triângulo do fogo, como esquematizado na Figura 3.1 (GOIÁS, 2017).

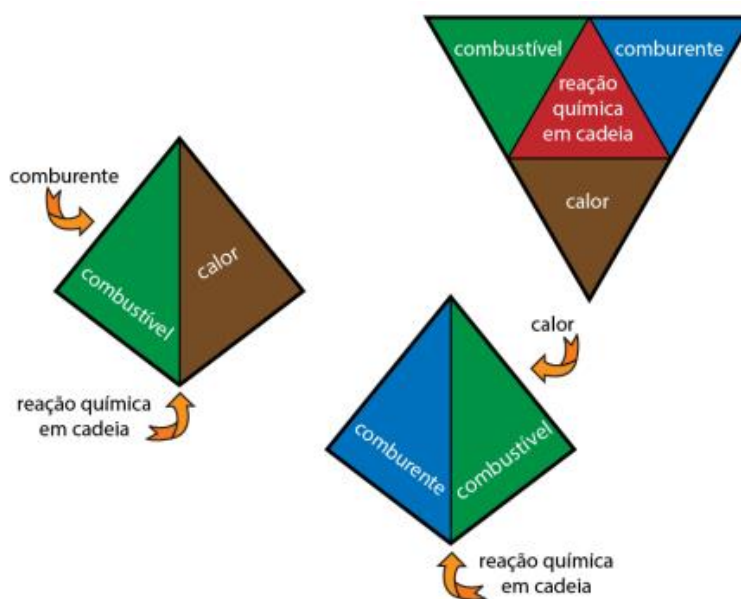
Figura 3.1 - Esquema de quebra do triângulo do fogo



Fonte: Goiás (2017)

Com o aprofundamento dos estudos a respeito da temática do fogo, a literatura englobou um quarto componente fundamental para a sua ocorrência que não era mencionado de forma explícita, mas subentendido no triângulo do fogo: a existência de reações em cadeia. Desta maneira, surgiu o conceito de tetraedro do fogo, em que cada uma das faces mostradas na Figura 3.2 representa um elemento do fogo – combustível, comburente, calor e reação em cadeia – e devem coexistir em união para que o mesmo se mantenha (SEITO *et al.*, 2008).

Figura 3.2 - Elementos que compõem o tetraedro do fogo



Fonte: Simiano e Baumel (2013)

3.2 Incêndios florestais

Queimada e incêndio florestal não são conceitos sinônimos, apesar de ambos poderem ocasionar impactos negativos aos ecossistemas e contribuir para a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, com destaque para o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). O manejo do fogo em uma área delimitada a fim de se atingir um objetivo específico, como a limpeza de uma área para atividades agropastoris, é chamado de queima controlada. Por outro lado, a ocorrência do fogo de forma descontrolada em vegetação é classificada como um incêndio florestal (FEARNSIDE; BARBOSA; PEREIRA, 2013).

Os incêndios florestais podem ocorrer em diversos biomas e atingir unidades de conservação, áreas de preservação e de reflorestamento, além de propriedades particulares, margens de estrada, proximidades de aglomerados urbanos, dentre outras localidades (COSTA *et al.*, 2009). O Cerrado e a Mata Atlântica são fortemente atingidos pelos problemas decorrentes do fogo e a ação humana dentre as causas de ocorrência dos incêndios florestais é um episódio recorrente em escala global (PEREIRA *et al.*, 2014; TORRES *et al.*, 2018).

Em relação às espécies florestais plantadas, cada uma tem suas próprias características. Porém, o fato dos plantios de eucalipto possuírem árvores com copa pequena e pouco adensada após dois anos de idade proporciona quantidade expressiva de sub-bosque, com ocorrência de plantas competidoras que, juntamente com a desfolha e desrama natural das espécies de eucalipto, compõem parte de uma camada orgânica de material combustível inflamável, o que torna essas áreas suscetíveis à ocorrência de incêndios (CANZIAN *et al.*, 2020).

Conforme destacado por Torres *et al.* (2017), as interações existentes entre vegetação, clima e topografia, bem como as atividades antrópicas ao longo do tempo, afetam as características dominantes dos incêndios. Para os autores, o clima é o principal responsável por controlar essas características, uma vez que ele determina o teor de umidade do combustível e a quantidade de biomassa, enquanto o uso do solo e o relevo influenciam a frequência, a velocidade de propagação das chamas e a extensão das áreas atingidas.

Os incêndios florestais, quer sejam em matas nativas ou vegetação secundária, são classificados em três tipos, de acordo com o meio onde se propagam (REZENDE; OLIVEIRA, 2015):

- a) **Incêndios subterrâneos:** como o próprio nome sugere, são aqueles que se propagam debaixo da superfície terrestre e são alimentados por matéria orgânica seca, raízes e turfas (matérias finas, bem compactadas, de combustão morosa e contínua), caracterizando-se principalmente pela lenta propagação devido ao déficit de oxigênio. Apesar de serem discretos visualmente por causa da pouca liberação de fumaça, são incêndios altamente nocivos, culminando em uma difícil detecção e combate.
- b) **Incêndios superficiais ou de superfície:** ocorre pela queima da vegetação morta e rasteira (herbáceas), folhas e galhos que se misturam com a terra que cobre o solo da mata (serapilheiras), além de troncos e do húmus, sendo caracterizado sobretudo por uma propagação rápida, muitas chamas e liberação intensa calor. É o mais comum no Brasil e nos demais países da América Latina, ocasionando danos extremamente prejudiciais às vegetações rasteiras e jovens.
- c) **Incêndios de copa:** ocorrem com maior frequência nas florestas de coníferas e pinares, vegetações típicas da América do Norte e Europa e, em geral, consomem todo combustível disponível a partir de 1,80 m de altura. Possuem alta velocidade e devido à grande circulação de ventos nas copas das árvores, propagam-se rapidamente e com intensidade elevada. Portanto, são os que mais causam danos à vida humana e silvestre, também sendo de difícil combate (Figura 3.3).

Figura 3.3 - Classificação dos incêndios florestais quanto ao meio onde se propagam



Fonte: Barbosa (2011)

Além disso, os incêndios florestais podem ser classificados quanto à proporção em pequeno, médio e grande. No incêndio pequeno, um único indivíduo treinado é capaz de combatê-lo, por outro lado, no médio é necessária uma guarnição de combate a incêndio florestal para extinguir as chamas por completo. Por último, o incêndio grande é aquele no qual uma só guarnição não tem condições de extingui-lo, sendo inevitável o apoio de veículos, como tratores, máquinas e até mesmo aviões adaptados para esse fim (ANTÔNIO, 2006).

São três as ações básicas de segurança contra incêndios: prevenção, proteção e combate. A prevenção engloba os instrumentos que tendem a evitar a deflagração de incêndios, como a educação da população, a fiscalização e aplicação da legislação e técnicas de eliminação ou redução das fontes de propagação. Já a proteção é o conjunto de medidas preventivas aliadas ao preparo material e pessoal de combate a incêndios. Por fim, o combate a incêndios compreende a sequência de fases desde a detecção, comunicação, mobilização, chegada ao local e estudo de situação, até o combate do fogo propriamente dito e o rescaldo, que é definido como a operação de checar a existência e apagar qualquer foco que possa reacender as chamas (PEREIRA; ARAÚJO JR, 2013).

3.2.1 Prevenção e combate a incêndios florestais aplicados na empresa

As ações de prevenção e combate a incêndios florestais na ArcelorMittal BioFlorestas incluem uma rede para detecção por meio de torres de vigilância, equipamentos de comunicação (rádios), veículos especializados de combate e equipe de trabalho constantemente treinada para este fim. A empresa conta também com uma rede de estações meteorológicas instaladas nas sedes de suas unidades que monitoram as condições meteorológicas em tempo real, tais como: a temperatura, a umidade relativa do ar, a precipitação pluviométrica, a direção e a velocidade do vento, e a radiação solar. Entretanto, as principais causas de incêndios florestais detectadas nos últimos anos nas fazendas da empresa são criminais e devido à redução na pluviosidade nos períodos de seca (ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS, 2020).

Todos os anos ocorre a Semana Integrada de Prevenção de Incêndios (SIPIN), que tem como objetivo levar conhecimentos sobre os riscos das queimadas e dos incêndios florestais para o meio ambiente e suas possíveis consequências. A Figura 3.4 mostra exemplos dos cartazes de divulgação do evento. As ações mobilizam funcionários próprios e terceiros, bem como o público externo.

Figura 3.4 - Cartazes de divulgação da SIPIN



Fonte: ArcelorMittal BioFlorestas (2014)

Fonte: ArcelorMittal BioFlorestas (2020)

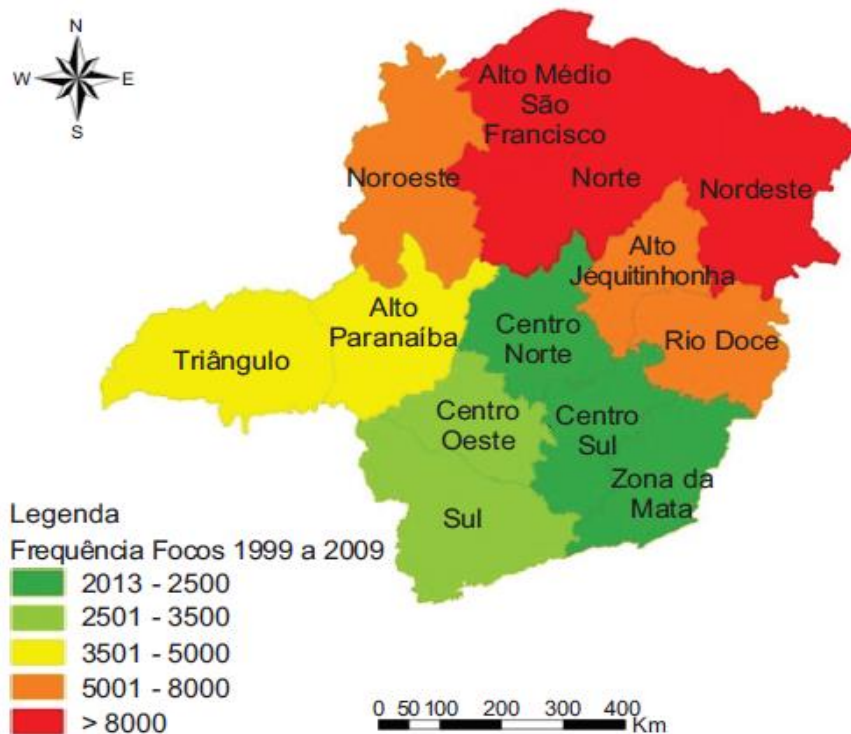
3.3 Histórico de incêndios florestais em Minas Gerais

As preocupações com incêndios florestais em Minas Gerais, assim como em outros estados do país, são mais constantes nos meses de inverno e primavera, sobretudo em virtude dos baixos índices pluviométricos. A frequência e a magnitude dos incêndios variam de um ano para o outro, mas conhecer as prováveis causas e os locais de maior ocorrência é importante para se trabalhar com programas voltados para a prevenção e proteção.

Santos, Soares e Batista (2006) realizaram um estudo no período de 1998 a 2002 que objetivou a coleta de dados de incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, ou seja, áreas que possuem sistemas de controle de incêndios, a saber: empresas florestais, empresas agrícolas com reflorestamento, instituições de pesquisa e órgãos públicos que administram áreas florestais. Os resultados mostraram que Minas Gerais apresentou o maior número de ocorrências (50,32%) e a maior área queimada (64,74%), confirmando o cenário observado entre 1994 e 1997. A principal causa desses incêndios detectada no país foi o grupo “incendiários”, que corresponde ao fogo que é ateadado por vingança ou desequilíbrio mental do agente que o provocou, seguida do grupo “queima para limpeza”, que visa a futura utilização da área para fins agropecuários e florestais. Os autores também concluíram que durante o intervalo de tempo analisado, aproximadamente 13,5 mil hectares de eucaliptos foram atingidos em todo o território brasileiro.

O período compreendido entre 1999 e 2009 foi alvo do estudo desenvolvido por Pereira *et al.* (2014) especificamente para o estado de Minas Gerais, que resgatou o histórico de focos ativos provenientes de processamentos digitais de imagens de satélites meteorológicos. Ao longo dos onze anos foram registradas 67.334 ocorrências, com uma média anual de 6.121 focos ativos. Observou-se que o período mais crítico tem início em julho e término em novembro, sendo que o pico foi apresentado no mês de outubro. As seguintes regionais do Instituto Estadual de Florestas (IEF) foram as que apresentaram a maior frequência de focos: Alto Médio São Francisco, Norte e Nordeste (Figura 3.5). Tais regionais são caracterizadas por possuírem grandes áreas de vegetação nativa e baixos índices de umidade.

Figura 3.5 - Frequência de focos ativos por regionais do IEF em Minas Gerais, no período de 1999 a 2009



Fonte: Pereira *et al.* (2014)

3.4 Valoração econômica ambiental

O aparecimento da economia de meio ambiente, que tem o estudo da valoração dos recursos ambientais e de seus métodos como um de seus componentes, se deve principalmente ao fato de que nos processos produtivos ocorrem externalidades negativas, sobretudo ambientais, como a poluição atmosférica, dos mananciais de água em decorrência de descargas de efluentes e os danos aos ecossistemas devido à eliminação inadequada de resíduos sólidos.

Valorar um recurso ambiental significa estimar a quantia monetária deste em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia. O processo de valorar recursos ambientais contribui significativamente para a tomada de decisão dos agentes econômicos e políticos, pois permite detectar quais são os custos e benefícios, tanto econômicos e sociais quanto individuais e coletivos, que estejam relacionados ao uso de determinado recurso ambiental (GOULART; ALVIM, 2017). De acordo com Motta (1997), a estimativa destes custos e benefícios requer a capacidade de identificá-los e a definição de critérios que tornem essas aproximações comparáveis entre si e no tempo.

O valor econômico dos recursos naturais (VERA) é composto por seu valor de uso (VU) e por seu valor de não uso (VNU), sendo que o VU é expresso pela soma de três parcelas – valor de uso direto (VUD), valor de uso indireto (VUI) e valor de opção (VO) – e o VNU pelo valor de existência (VE). Assim, o VERA pode ser expresso pela equação (1) a seguir:

$$\text{VERA} = (\text{VUD} + \text{VUI} + \text{VO}) + \text{VE} \quad (1)$$

O VERA pode ainda ser classificado pela sua capacidade de gerar fluxos de serviços ecossistêmicos, os quais são tipificados em serviços de provisão, regulação, suporte e culturais. Os serviços de provisão são aqueles que geram consumo direto de material, como alimentos, água e energia. Os serviços de regulação controlam as funções dos ecossistemas, a exemplo da autodepuração dos corpos hídricos e do sequestro de carbono, enquanto aqueles que fornecem a base a essas funções são chamados de serviços de suporte, como a formação do solo e a fotossíntese. Por último, os serviços culturais geram consumo não material nas formas cultural, intelectual, recreacional, espiritual e científica (MOTTA, 2011).

A Figura 3.6 apresenta uma diferenciação dos dois tipos de métodos, mas é importante ressaltar que a escolha de um ou outro dependerá dos seguintes fatores: objetivo da valoração, hipóteses consideradas, disponibilidade de dados e conhecimento científico a respeito da dinâmica ecológica do objeto em questão (MOTTA, 2011).

Figura 3.6 - Quadro de taxonomia geral do valor econômico do recurso ambiental (VERA)

	Valor de uso (VU)			Valor de não uso (VNU)
	Valor de uso direto (VUD)	Valor de uso indireto (VUI)	Valor de opção (VO)	Valor de existência (VE)
Valor	Bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumidos hoje. Ex: extrativismo, turismo, recreação e atividades de pesquisa científica.	Bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas e apropriados e consumidos indiretamente hoje. Ex: contenção de erosão, controle climático e proteção de mananciais.	Bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro. Ex: benefício advindo de terapias genéticas com base em propriedades de genes ainda não descobertos de plantas em florestas tropicais.	Valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruístas. Ex: mobilização para salvamento das baleias mesmo em regiões em que a maioria das pessoas nunca poderá estar ou fazer qualquer uso de sua existência.
Serviços ecossistêmicos relacionados	Serviço de provisão e regulação.	Serviços de regulação, suporte e culturais.	Serviços de provisão, regulação, suporte e culturais ainda não descobertos.	Serviços culturais.

Fonte: Adaptado de Motta (2011)

3.4.1 Métodos de valoração

Os métodos de valoração são classificados em diretos e indiretos. Aqueles que captam as preferências dos consumidores através do quanto estariam dispostos a pagar pelos bens e serviços ambientais são os métodos diretos. Por outro lado, os métodos indiretos são os que recuperam o valor dos bens e serviços ambientais através das alterações nos preços de produtos do mercado resultantes das mudanças ambientais, por meio de uma função de produção. Independentemente da técnica de valoração utilizada, a necessidade de valorar os bens e serviços ambientais tem como objetivo supremo a garantia dos recursos naturais às futuras

gerações, na perspectiva dos princípios do desenvolvimento sustentável (MIRANDA; VITALE; ZAMPIER, 2009).

Dentre os métodos diretos de valoração econômica ambiental, tem-se: método de valoração contingente (MVC), método de preços hedônicos (MPH) e método do custo de viagem (MCV). Já dentre os métodos indiretos podem ser citados o método de produtividade marginal (MPM) e o método de mercado de bens substitutos (MBS). A seguir, segue uma caracterização de cada um dos principais métodos de acordo com Motta (1997) e Maia, Romeiro e Reydon (2004):

O método de valoração contingente (MVC) considera a preferência que os indivíduos atribuem aos diferentes tipos de bens ou serviços ambientais, estimando os valores de disposição a aceitar (DAA) em compensação para suportar uma perda de bem-estar e disposição a pagar (DAP) para garantir a melhoria de bem-estar, ambos com base em mercados hipotéticos. A grande vantagem de utilização do MVC é que ele é flexível e adaptável a um amplo espectro de casos, sendo bastante utilizado para avaliação de projetos de grandes impactos ambientais.

O método de preços hedônicos (MPH) fundamenta-se na identificação de atributos ou características ambientais (índices de poluição e proximidade a parques, por exemplo) de um bem privado que sejam complementares aos bens ou serviços ambientais. A aplicação mais clássica do MPH é em preços de propriedades.

O método do custo de viagem (MCV) é muito utilizado para a valoração de patrimônios naturais de visitação pública, em que o valor do recurso ambiental é determinado a partir dos gastos dos visitantes para se deslocar ao local da atividade de recreação ou turismo, incluindo transporte, tempo de viagem, taxa de entrada e outros gastos complementares.

O método de produtividade marginal (MPM) atribui um valor econômico ao uso da biodiversidade ao relacionar a quantidade ou a qualidade de um recurso ambiental diretamente à produção de outro produto que tenha seu preço estabelecido no mercado. Sendo assim, o papel do recurso ambiental no processo produtivo é representado por uma função denominada dose-resposta, a qual associa o nível de provisão de um bem natural ao nível de produção do produto no mercado. Como exemplo dessa função, podemos citar o grau de contaminação da água representando a dose de poluição, e a queda da qualidade dos rios e a consequente diminuição da produção pesqueira representando a resposta.

O método de mercado de bens substitutos (MBS) parte do pressuposto de que a perda de qualidade ou escassez de certo bem ou serviço ambiental irá implicar na procura por algum substituto a ele, de forma a manter estável a qualidade de vida da população. São derivadas quatro técnicas desse método: custos evitados, muito utilizados em estudos de mortalidade e morbidade humana; custos de controle, que representam os gastos necessários para evitar a variação do bem ou serviço ambiental; custos de reposição, cujo reflorestamento em áreas desmatadas é um dos exemplos; e custos de oportunidade, que preconiza as perdas econômicas da população em virtude das restrições de uso dos recursos naturais por determinada atividade produtiva.

4 METODOLOGIA

4.1 Informações gerais sobre a empresa e a atividade

A ArcelorMittal BioFlorestas é uma empresa do Grupo ArcelorMittal Brasil, produtor de aços longos e planos e que opera, ainda, em áreas diversificadas como mineração, geração de energia para consumo próprio e tecnologia da informação. Atuando no setor florestal, mais especificamente na produção de carvão vegetal a partir de florestas renováveis de eucalipto, todas as unidades da ArcelorMittal BioFlorestas são certificadas em normas internacionais ISO 9.001, ISO 14.001 e OHSAS 18.001, referentes aos quesitos qualidade, meio ambiente, saúde e segurança ocupacional, respectivamente. Além disso, a empresa possui a certificação FSC® (*Forest Stewardship Council*®), sendo considerada referência na adoção de modelos de gestão sustentável (ARCELORMITTAL BRASIL, 2020).

Quatro unidades em Minas Gerais são responsáveis por fornecer carvão vegetal para produção de ferro-gusa nas siderúrgicas da ArcelorMittal Brasil: Centro-Oeste, Norte, Rio Doce e Vazante (Figura 4.1). A produção média é de 350 mil toneladas de carvão vegetal por ano, que atendem principalmente a demanda da usina situada no município de Juiz de Fora (MG) (ARCELORMITTAL BRASIL, 2020).

Figura 4.1 - Localização das unidades da ArcelorMittal BioFlorestas em Minas Gerais por bioma



Fonte: A autora.

Com exceção da Regional Vazante (RVZ), cuja aquisição foi realizada no ano de 2018, as outras três unidades são objeto de estudo do presente trabalho, por isso suas características principais são detalhadas na Figura 4.2.

Figura 4.2 - Quadro de caracterização das áreas de estudo

Unidade	Municípios de atuação	Clima predominante	Solo predominante	Precipitação (mm.ano⁻¹)	Topografia
Regional Centro-Oeste (RCO)	Abaeté, Martinho Campos, Bom Despacho, Quartel Geral e Dores do Indaiá	Tropical típico	Latossolo vermelho	1.300	Plana
Regional Norte (RNO)	Carbonita, Diamantina e Senador Modestino Gonçalves	Subtropical úmido subúmido	Latossolo vermelho	1.056	Plana/Chapada
Regional Rio Doce (RRD)	Dionísio, Marliéria, São José do Goiabal e São Pedro dos Ferros	Tropical subquente	Latossolo amarelo	1.104	Ondulada

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal BioFlorestas (2020)

Conforme visto na Figura 4.1, a RCO e a RNO localizam-se no bioma Cerrado, pertencendo mais especificamente às tipologias Cerrado *Strictu Sensu* e Campo Cerrado, respectivamente. Já a RRD está situada na Mata Atlântica, tendo como tipologia predominante a Floresta Estacional Semidecidual. Nenhuma unidade está localizada na área de abrangência do bioma Caatinga (SCOLFORO; CARVALHO, 2006).

4.1.1 Caracterização das áreas de florestas nativas

Nas fazendas da empresa, encontram-se intercalados com os plantios de eucalipto cerca de 30 mil hectares de áreas protegidas voltadas à conservação da biodiversidade, como Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) e Áreas de Alto Valor de Conservação (AAVC), que são aquelas identificadas por possuírem um ou mais atributos significativos que necessitam ser conservados, como corredores ecológicos, áreas de proteção de bacias hidrográficas e de uso frequente pelas comunidades locais (ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS, 2020).

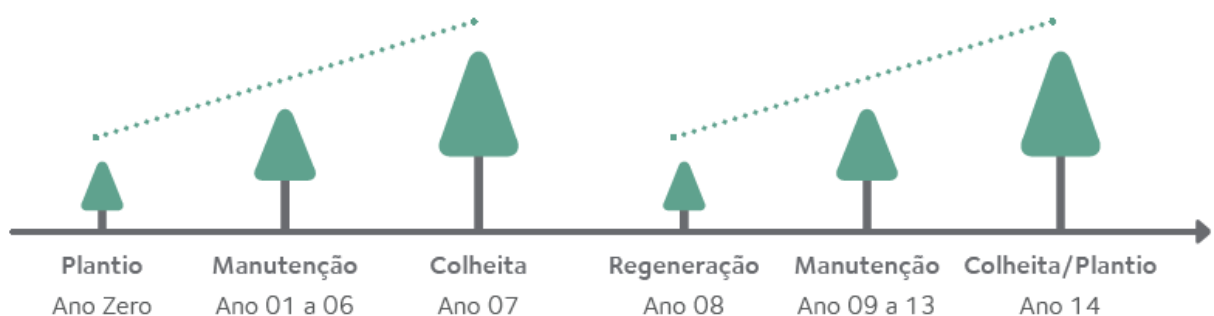
A proteção dos ecossistemas e da biodiversidade local é de suma importância, uma vez que as áreas com matas nativas favorecem o deslocamento da fauna, contribuem com o equilíbrio ambiental das propriedades e com o controle natural de pragas e doenças. O APÊNDICE A, o APÊNDICE B e o APÊNDICE C destacam em amarelo as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e de Reserva Legal da RCO, RNO e RRD, nesta sequência.

4.1.2 Caracterização das áreas de florestas de eucalipto

Os plantios de eucalipto da empresa tiveram início em 1957 e são realizados apenas em locais que não possuem cobertura florestal nativa. A área total efetivamente disponível para as plantações nas três unidades de estudo é de aproximadamente 72 mil hectares. Esses plantios são formados predominantemente por híbridos de eucalipto obtidos a partir do cruzamento entre as espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, selecionados por melhor se adaptarem às condições locais de clima e solo (ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS, 2020).

Em geral, o planejamento da empresa contempla duas rotações do sistema florestal produtivo, ou seja, após a primeira colheita dos indivíduos arbóreos, as plantações são manejadas por reforma (novo plantio) ou condução de rebrota. A madeira é colhida aos sete anos, em média, podendo variar entre seis e oito, devido às condições edáficas (solo) e climáticas, como esquematizado na Figura 4.3 (ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS, 2020).

Figura 4.3 - Esquema da dinâmica das florestas renováveis de eucalipto para produção de carvão vegetal



Fonte: ArcelorMittal BioFlorestas (2020)

No preparo do solo para a formação de novas florestas, o empreendimento utiliza a técnica de cultivo mínimo, que revolve o menor volume possível de solo, mantendo os resíduos orgânicos nele. Com a eliminação do uso do fogo nesse processo, as características do solo são preservadas, evitando-se a erosão, compactação e redução da fertilidade e mantendo-se a

umidade (ALMADO; MARTINS, 2014). O APÊNDICE A, o APÊNDICE B e o APÊNDICE C mostram na cor verde, respectivamente, as áreas de florestas plantadas de eucalipto da RCO, RNO e RRD.

4.2 Critérios de valoração econômica ambiental

Os critérios definidos para realizar a valoração econômica ambiental nas áreas da ArcelorMittal BioFlorestas atingidas por incêndios florestais entre 2015 e 2019, tanto de florestas nativas quanto de florestas plantadas de eucalipto para produção de carvão vegetal, foram as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e o custo necessário para a restauração das áreas.

4.2.1 Emissões de gases de efeito estufa

Para a quantificação das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) foi utilizada a metodologia proposta pelo IPCC (2006), mostrada na equação (2) abaixo:

$$L_{\text{fire}} = A \times M_B \times C_f \times G_{\text{ef}} \times 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

L_{fire} = quantidade de emissões de GEE do incêndio, em toneladas de cada GEE (t);

A = área florestal atingida por incêndios, em hectares (ha);

M_B = massa de combustível disponível para combustão, em toneladas por hectare ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$);

C_f = fator de combustão, adimensional;

G_{ef} = fator de emissão, em gramas por quilograma de matéria seca queimada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Os GEE considerados foram o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Após a obtenção do L_{fire} , é necessário realizar a conversão da quantidade em toneladas para CO_2 equivalente (CO_{2e}) por meio do fator de potencial de aquecimento global (GWP, sigla em inglês para *Global Warming Potential*), conforme valores apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Fator do potencial de aquecimento global (GWP) para os gases de efeito estufa de interesse

Gás de efeito estufa	GWP
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido nitroso (N ₂ O)	298

Fonte: Programa Brasileiro GHG Protocol (2016)

Os valores utilizados da quantidade de massa de combustível disponível para combustão, variável M_B da equação (2), foram os sugeridos por Martins (2018), que realizou os cálculos da mesma dividindo o estoque de carbono por 0,47 para conversão de carbono em biomassa seca, fator preconizado na metodologia do IPCC (2006). Presume-se que toda a área convertida tenha sido sujeita ao incêndio. A Tabela 4.2 expõe os dados por tipologia de cada um dos biomas.

Tabela 4.2 - Massa de combustível disponível para combustão (M_B) por tipologia vegetal

Bioma	Tipologia	M_B (t.ha⁻¹)	Estoque de carbono (tC.ha⁻¹)
Cerrado	Cerrado	359,57	169,00
	Campo Cerrado	11,36	5,34
	Cerrado <i>Strictu Sensu</i>	30,23	14,21
	Cerradão	67,62	31,78
	Veredas	17,47	8,21
Mata Atlântica	Campo Rupestre	32,38	15,22
	Floresta Estacional Semidecidual	171,81	80,75
	Floresta Ombrófila	222,77	104,70

Fonte: Adaptado de Martins (2018)

Para o fator de combustão (C_f) e o fator de emissão (G_{ef}), aplicou-se os valores do IPCC (2006), os quais são mostrados na Tabela 4.3 e na Tabela 4.4, respectivamente.

Tabela 4.3 - Fator de combustão (C_f) por tipo de floresta

Tipo de floresta	C_f
Florestas nativas	0,36
Florestas de eucalipto	0,63

Fonte: Adaptado de IPCC (2006)

Tabela 4.4 - Fator de emissão (G_{ef}) para os gases de efeito estufa de interesse

Gás de efeito estufa	G_{ef} (g.kg⁻¹)
Dióxido de carbono (CO ₂)	1580 ± 90
Metano (CH ₄)	6,8 ± 2,0
Óxido nitroso (N ₂ O)	0,20

Fonte: Adaptado de IPCC (2006)

Finalmente, o valor monetário atribuído ao critério de emissões de GEE é obtido através da soma das emissões dos gases CO₂, CH₄ e N₂O, em CO_{2e}, seguido de sua multiplicação pelo preço médio da tonelada de carbono para projetos florestais no mercado de carbono voluntário em 2018, que é de US\$ 3,2/tCO_{2e} (DONOFRIO *et al.*, 2019). No primeiro semestre de 2020, a média da cotação do dólar americano foi de R\$ 5,0488.

4.2.2 Restauração da área

A Lei 9.985/2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), diferencia em seu art. 2º os conceitos de restauração e recuperação. Restaurar um ecossistema significa restituí-lo o mais próximo possível à sua condição original, enquanto que recuperar um ecossistema é definido como a sua restituição a uma condição não degradada, a qual pode ser diferente de sua condição original (BRASIL, 2000).

Para valorar o custo necessário para a restauração das áreas florestais da empresa que foram atingidas pelos incêndios, utilizou-se a equação (3):

$$CR = CT \times A \tag{3}$$

Onde:

CR = custo de restauração total, em reais (R\$);

CT = custo médio por técnica de restauração, em reais por hectare (R\$.ha⁻¹);

A = área florestal atingida por incêndios, em hectares (ha).

Além disso, foram consideradas dois cenários de referência: condições ambientais favoráveis (CAF), caracterizado por condições mais amenas, requerendo uma menor quantidade de atividades e insumos para a restauração da área atingida; e condições ambientais desfavoráveis (CAD), que pressupõe dificuldades adversas como maior degradação do solo, impossibilidade de mecanização, dificuldade de acesso e inexistência de regenerantes.

A caracterização e os custos das técnicas de restauração que foram aplicados a cada um dos tipos de vegetação afetada pelo fogo (florestas nativas e florestas de eucalipto) são mostrados nos próximos tópicos.

4.2.2.1 Caracterização e custo das técnicas de restauração em áreas de florestas nativas

Os principais métodos de restauração de áreas nativas são descritos a seguir, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019):

- a) **Plantio em área total:** a técnica do plantio total de mudas e de sementes é amplamente utilizada e consiste no plantio de espécies vegetais (herbáceas, arbustivas e arbóreas), nativas ou não, de uma ou mais espécies, com o intuito de formar uma comunidade vegetal. É indicada sobretudo para áreas degradadas sem regeneração natural ou cujo potencial seja extremamente pequeno, sendo que o sucesso da técnica depende do monitoramento dos plantios.
- b) **Regeneração natural com manejo:** é embasada em ações de manejo que irão estimular a ocorrência dos processos de regeneração, como o controle de plantas competidoras e de formigas cortadeiras, o coroamento (limpeza ao redor das mudas), a roçada, a adubação de cobertura, o plantio de enriquecimento, o adensamento e a nucleação. O adensamento e o enriquecimento, tanto de mudas quanto de sementes, constituem-se na introdução de indivíduos de espécies do estágio inicial de sucessão ecológica nos espaços com falhas de regeneração natural, bem como de indivíduos de espécies dos estádios finais em áreas com solos em melhores condições, mas que ainda apresentem baixa biodiversidade.
- c) **Regeneração natural sem manejo:** consiste em deixar que os processos naturais atuem de forma livre no ambiente. Em geral, o controle das formigas cortadeiras é o principal

custo envolvido. A vegetação competidora, especialmente gramíneas exóticas e outras espécies agressivas, destaca-se como um dos possíveis riscos do método, além de que pode não ocorrer aporte de novas espécies devido à ausência de remanescentes de vegetação nativa próximos à área de interesse.

Para realizar a valoração econômica ambiental das florestas nativas da empresa atingidas pelos incêndios, considerou-se o custo médio de restauração das principais técnicas utilizadas nos biomas Cerrado e Mata Atlântica, a saber: plantio total de mudas, plantio total de sementes, condução da regeneração natural, regeneração natural, adensamento/enriquecimento de mudas e adensamento/enriquecimento de sementes.

Os custos médios de restauração de cada uma das técnicas por tipo de bioma e cenário ambiental utilizados foram os propostos por Benini e Adeodato (2017), que tem como base os estudos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e pela *The Nature Conservancy* (TNC). A atualização dos valores foi realizada por meio de uma multiplicação pelo acréscimo do Índice Geral de Preços de Mercado (IGP-M), indicador medido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) que reflete a evolução de preços de atividades produtivas que são passíveis de serem sistematicamente pesquisadas. No primeiro semestre de 2020, a média do IGP-M foi de 0,72%. Isto posto, os custos médios corrigidos são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Custo médio de cada técnica de restauração aplicável às áreas de florestas nativas por tipo de bioma e cenário de referência (R\$.ha⁻¹)

Técnica de restauração	Cerrado		Mata Atlântica	
	CAF	CAD	CAF	CAD
Plantio total (mudas)	8.153,28	22.276,24	7.844,07	21.424,15
Plantio total (sementes)	8.680,05	27.475,41	-	-
Condução da regeneração natural ¹	1.532,96	3.210,95	318,28	2.961,17
Regeneração natural ²	-	181,30	-	186,33
Adensamento/ enriquecimento (mudas)	3.424,48	13.871,16	3.681,32	12.814,61
Adensamento/ enriquecimento (sementes)	301,15	10.203,94	540,87	6.354,42

¹ A técnica de plantio total de sementes não é usualmente empregada no bioma Mata Atlântica.

² Não foram listados itens de custo para a técnica de regeneração natural no cenário de condições ambientais favoráveis (CAF).

Fonte: Adaptado de Benini e Adeodato (2017)

4.2.2.2 Caracterização e custo das técnicas de restauração em áreas de florestas de eucalipto

No processo de valoração econômica ambiental das florestas de eucalipto da empresa atingidas pelos incêndios, foi avaliado o método de reforma dos plantios. Desta forma, considerou-se dispêndios envolvidos na implantação de uma nova floresta, como aquisição de mudas, limpeza e preparo do solo, fertilização e controle de pragas (formigas cortadeiras, cupins e lagartas).

Assim sendo, o custo da técnica de reforma foi obtido junto a consultores do ramo de silvicultura¹. Para áreas com menor dificuldade operacional (ou CAF), como baixa intensidade de pragas e matocompetição, a média é de R\$ 5.500,00.ha⁻¹. Já para áreas com maior dificuldade operacional (ou CAD), que envolvem um número alto de ciclos, resíduos (serapilheira, tocos, galhos, ponteiros, folhas e cascas), alta intensidade de pragas, bem como a reforma de aceiros, a média de reforma dos plantios de eucalipto é de R\$ 8.000,00.ha⁻¹, considerando a localização das áreas de estudo.

¹ Dados coletados por meio de ligações telefônicas em 13 jul. 2020.

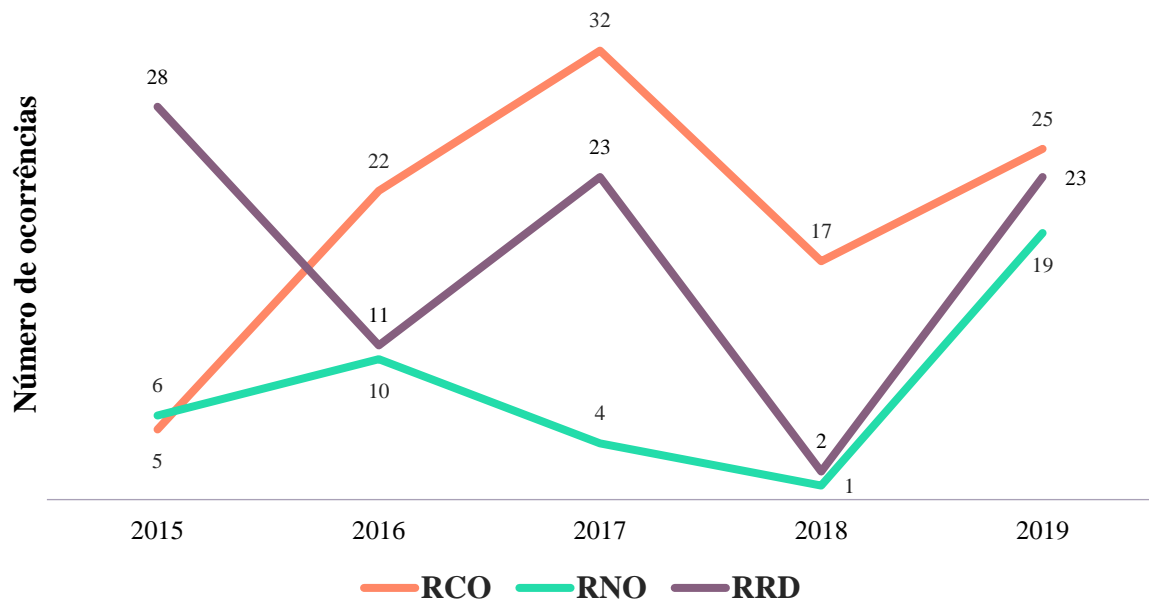
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão das etapas desenvolvidas neste trabalho, os resultados foram expostos em duas seções, sendo a primeira parte referente à apresentação e análise das informações levantadas, enquanto na segunda focou-se na valoração econômica ambiental.

5.1 Apresentação geral das informações levantadas

A Figura 5.1 mostra o total de ocorrências de incêndios florestais registradas em cada um dos anos nas três unidades da ArcelorMittal BioFlorestas que são interesse deste estudo. O número corresponde à soma dos incêndios ocorridos em áreas nativas e de plantações de eucalipto, pois não foram obtidos os dados de ocorrência separados por tipo de vegetação. No ano de 2015, a RRD apresentou o maior valor, seguida pela RNO e RCO com diferença de apenas um incêndio entre elas. Entretanto, uma mudança de comportamento foi observada entre 2016 e 2019, período em que a RCO foi a unidade que obteve mais registros. A RNO apresentou a menor média de quantidade de incêndios florestais no período, com oito ocorrências por ano.

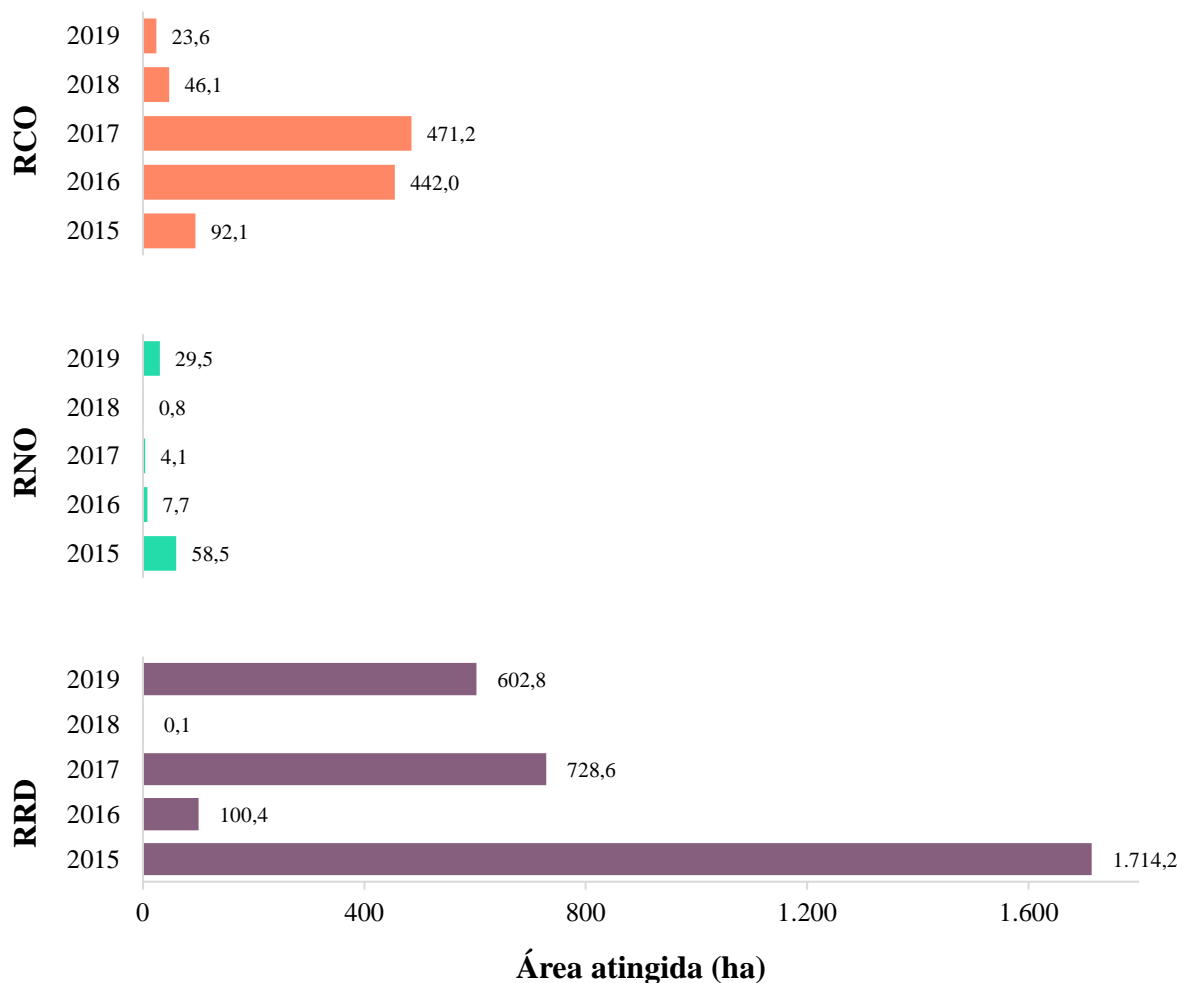
Figura 5.1 - Total de ocorrências de incêndios florestais registradas em áreas nativas e plantações de eucalipto por unidade da empresa entre 2015 e 2019



Fonte: A autora.

A seguir, a Figura 5.2 apresenta a área total que foi atingida pelos incêndios florestais em cada unidade. A RNO teve a menor extensão territorial afetada nos cinco anos analisados, com 100,5 ha. Já a RCO, apesar de ter registrado o maior número de ocorrências entre as unidades, teve uma área total atingida menor que a RRD, 1.075,1 e 3.146,1 ha, respectivamente.

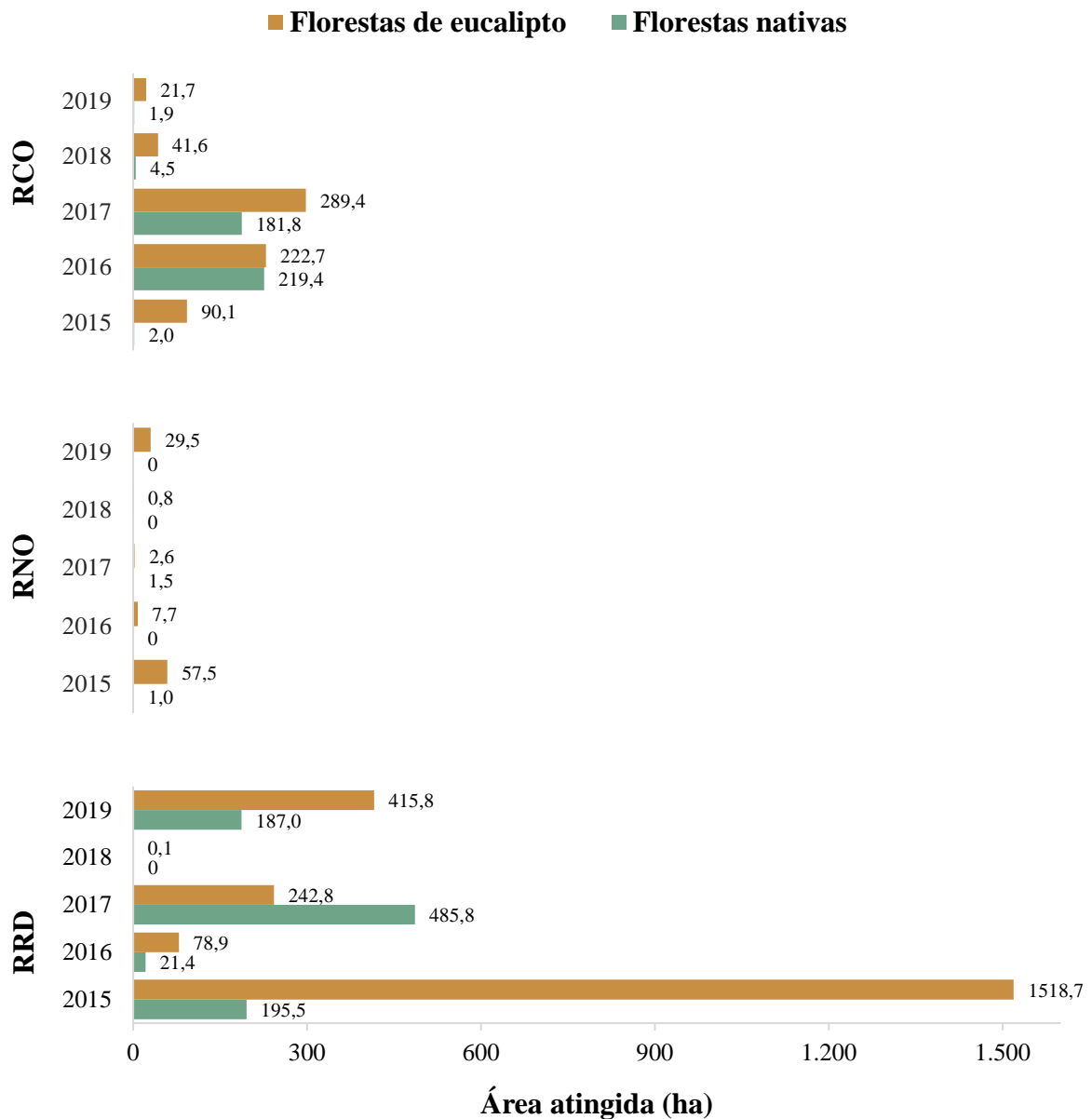
Figura 5.2 - Área florestal total atingida pelos incêndios por unidade da empresa entre 2015 e 2019 (em hectares)



Fonte: A autora.

Verifica-se pela análise da Figura 5.3 que a área de florestas de eucalipto afetada pelo fogo foi superior à área de florestas nativas em praticamente todo o período e em todas as unidades, à exceção do ano de 2017 para a RRD, em que as florestas nativas tiveram pouco mais que o dobro da extensão de florestas de eucalipto queimadas. Dentre as razões que contribuem para a explicação do resultado, destaca-se a vulnerabilidade das áreas de plantações: acesso de muitos transeuntes em suas estradas internas, proximidade a rodovias e comunidades.

Figura 5.3 - Área de cada tipo de vegetação florestal atingida pelos incêndios por unidade da empresa entre 2015 e 2019 (em hectares)



Fonte: A autora.

As informações de cada unidade da empresa foram mais bem detalhadas nos tópicos a seguir, levando-se em consideração outras variáveis, como a temperatura e a precipitação. Os dados históricos foram extraídos do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponibilizados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As estações automáticas mais próximas da RCO, RNO e RRD estão localizadas nos municípios de Bom Despacho, Carbonita e Viçosa, nesta ordem. Vale ressaltar que outros fatores estão relacionados à ocorrência de incêndios florestais, mas como temperatura e pluviosidade são

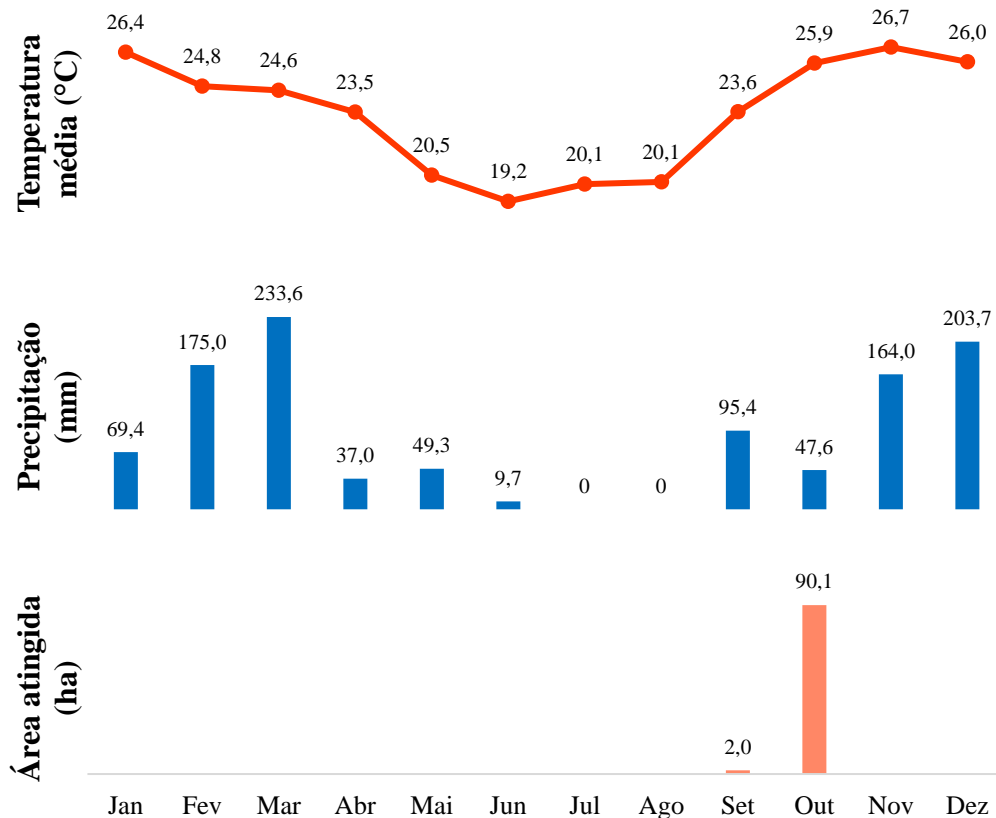
bons indicadores de tendência, optou-se pela avaliação com base nesses parâmetros (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

5.1.1 Análise detalhada da Regional Centro-Oeste

Conforme visto anteriormente, a RCO foi a unidade que apresentou o maior número de ocorrências de incêndios florestais no período de 2015 a 2019, porém sua área total afetada foi menor que a da RRD. Dentre as três unidades de estudo, a RCO é favorecida por situar-se em uma região de maiores precipitações e de relevo plano.

No ano de 2015, os meses de julho e agosto foram extremamente secos, mas nenhum incêndio florestal foi registrado, fato que pode ser explicado pelas baixas temperaturas alcançadas. Em setembro do referido ano, 2,0 ha de florestas nativas foram queimados e, no mês de outubro, em que houve acréscimo da temperatura média e baixa precipitação, foi registrado o maior pico de áreas atingidas pelos incêndios no ano, todas de florestas de eucalipto (Figura 5.4).

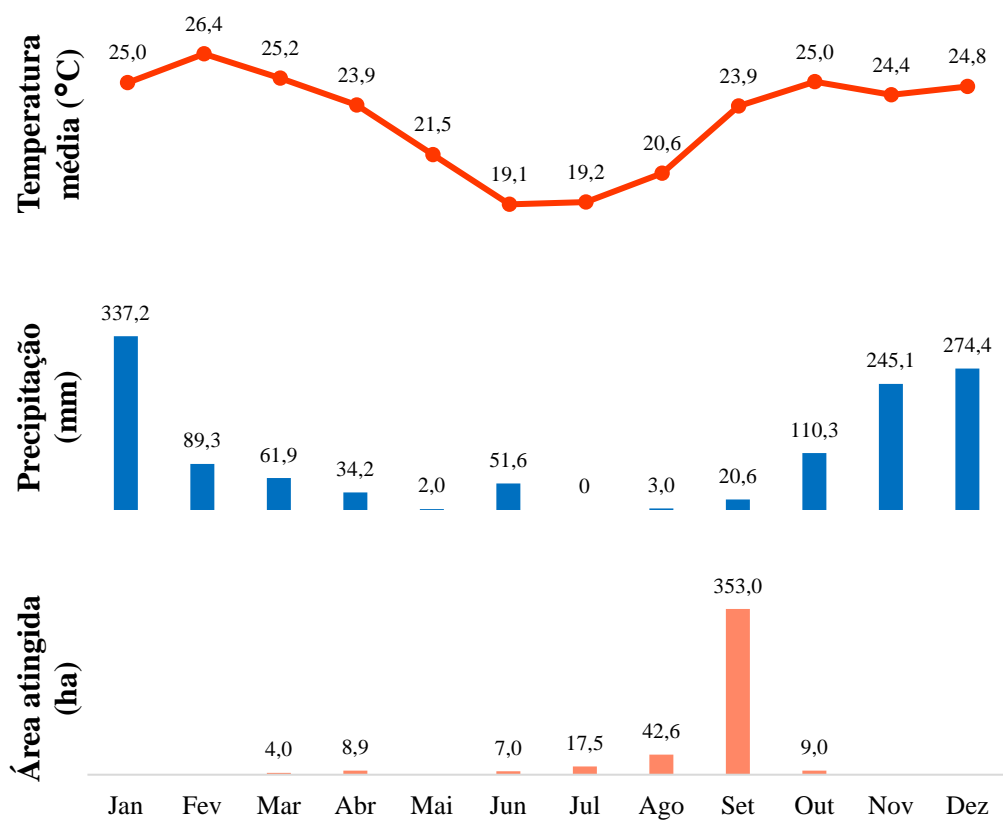
Figura 5.4 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2015



Fonte: A autora.

Em 2016, sete meses do ano registraram ocorrências de incêndios florestais. Setembro foi o mais prejudicado, com baixa precipitação e temperaturas mais elevadas (Figura 5.5). É importante lembrar que neste ano o número de hectares de florestas nativas e de florestas de eucalipto atingidas pelo fogo foi muito próximo (219,4 e 222,7 ha, respectivamente), possivelmente devido à estiagem prolongada nos meses precedentes acompanhado de aumento da temperatura.

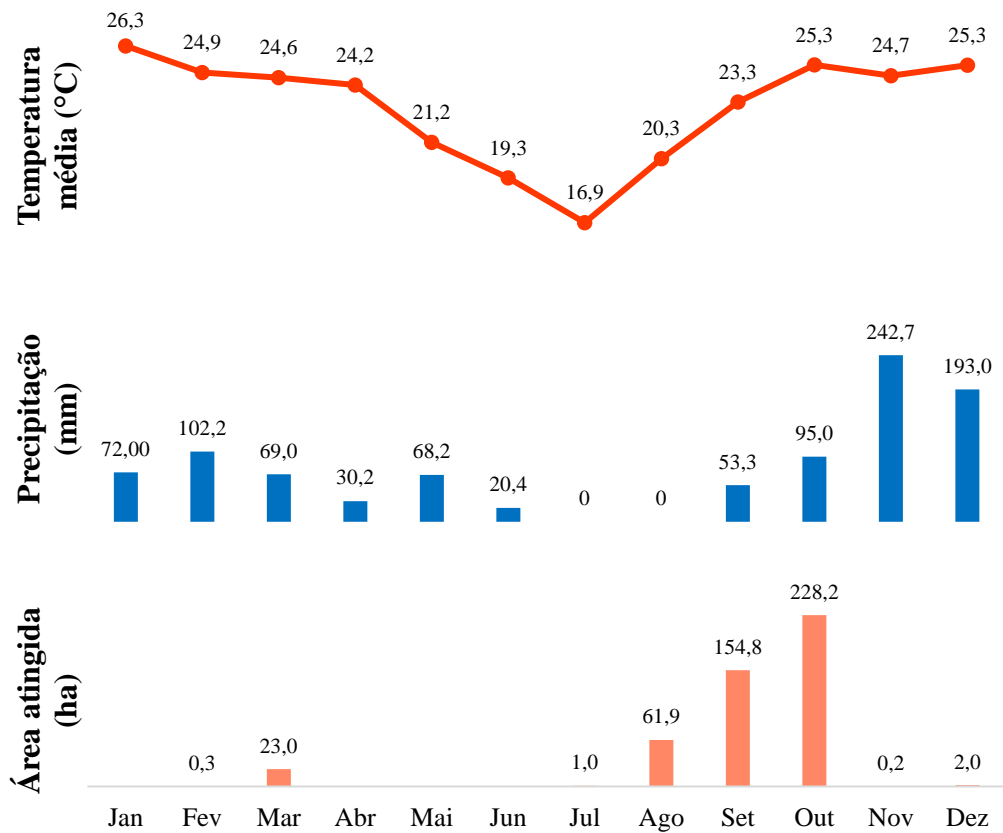
Figura 5.5 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2016



Fonte: A autora.

Em 2017, houve ocorrências de incêndios florestais em oito meses: fevereiro, março e em todos os meses do segundo semestre. Entretanto, em outubro, setembro e agosto, nesta sequência, que a extensão territorial queimada foi maior, como apresenta a Figura 5.6. A soma da área florestal atingida pelos incêndios nesses três meses foi equivalente a aproximadamente 95% da área total afetada no ano, reforçando a relação entre temperatura e pluviosidade na ocorrência do fogo.

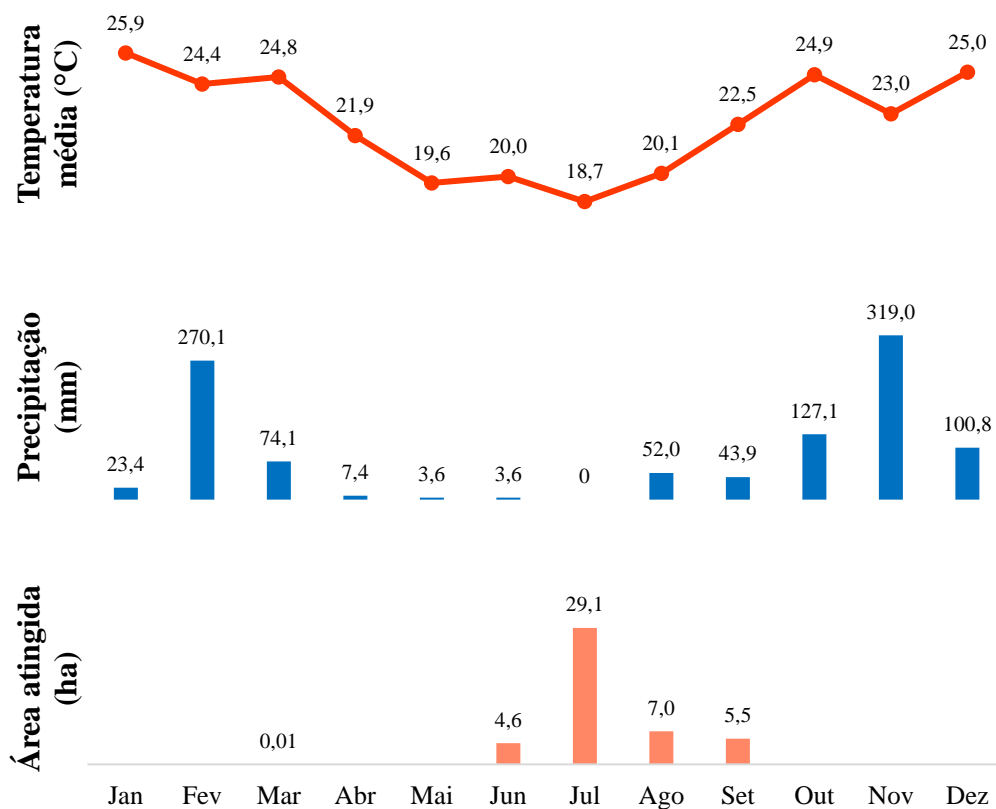
Figura 5.6 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2017



Fonte: A autora.

Já em 2018, a área total atingida pelos incêndios obteve uma redução considerável em relação aos dois anos anteriores. Até então, a unidade contava com cinco aceiros em seu território, número que subiu para seis em 2018. Portanto, esse fator pode ter contribuído para o melhor resultado no referido ano e no seguinte, aliado à intensificação da vigilância nos locais com maior histórico de ocorrências registradas. Mais uma vez, os meses com maior área florestal queimada tiveram baixa precipitação, sendo que julho alcançou o pico. O longo período de estiagem provavelmente fez com que o material vegetal ficasse com pouca umidade e, mesmo com a menor temperatura média do ano, os incêndios foram mais danosos nesse mês (Figura 5.7).

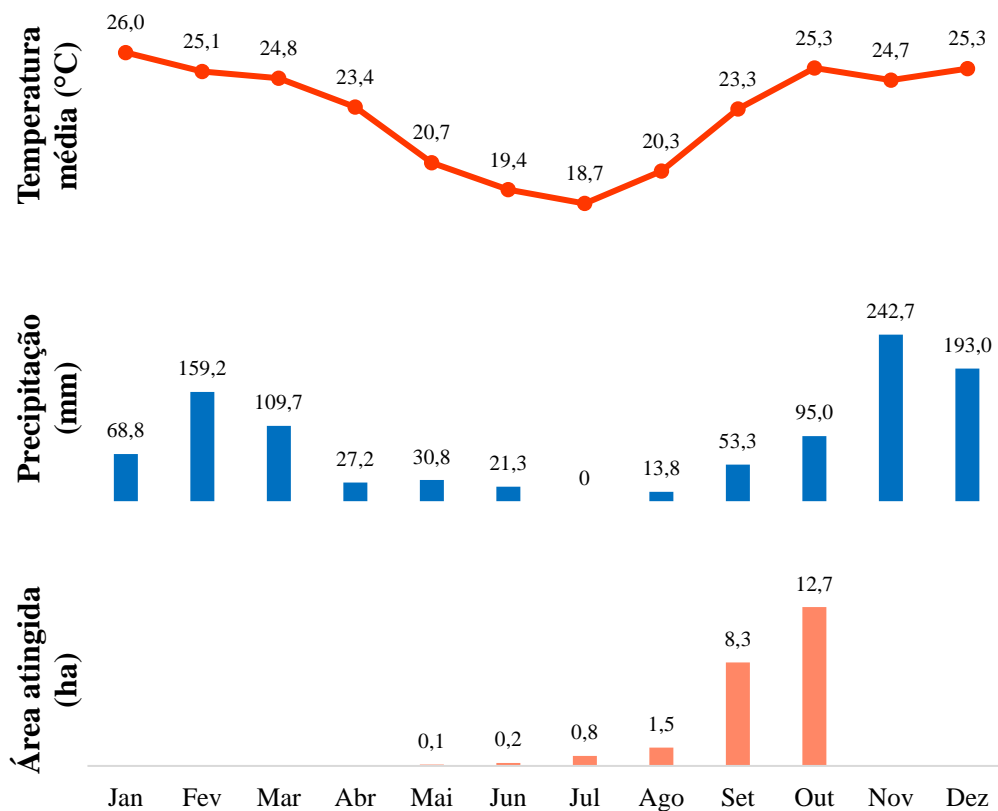
Figura 5.7 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2018



Fonte: A autora.

Por fim, a área total atingida pelos incêndios em 2019 reduziu ainda mais em comparação com o ano anterior, sendo a menor para a unidade no período de estudo. Como pode ser observado na Figura 5.8, os incêndios florestais concentraram-se entre os meses de maio e outubro, aumentando gradativamente. A unidade também adotou como medida preventiva a realização de rodadas de conversas com vizinhos e comunidades ao entorno, visto que incendiários e queimadas realizadas sem o domínio completo da técnica nas áreas adjacentes à empresa são incluídas nas principais causas de ocorrências dos incêndios florestais.

Figura 5.8 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RCO em 2019



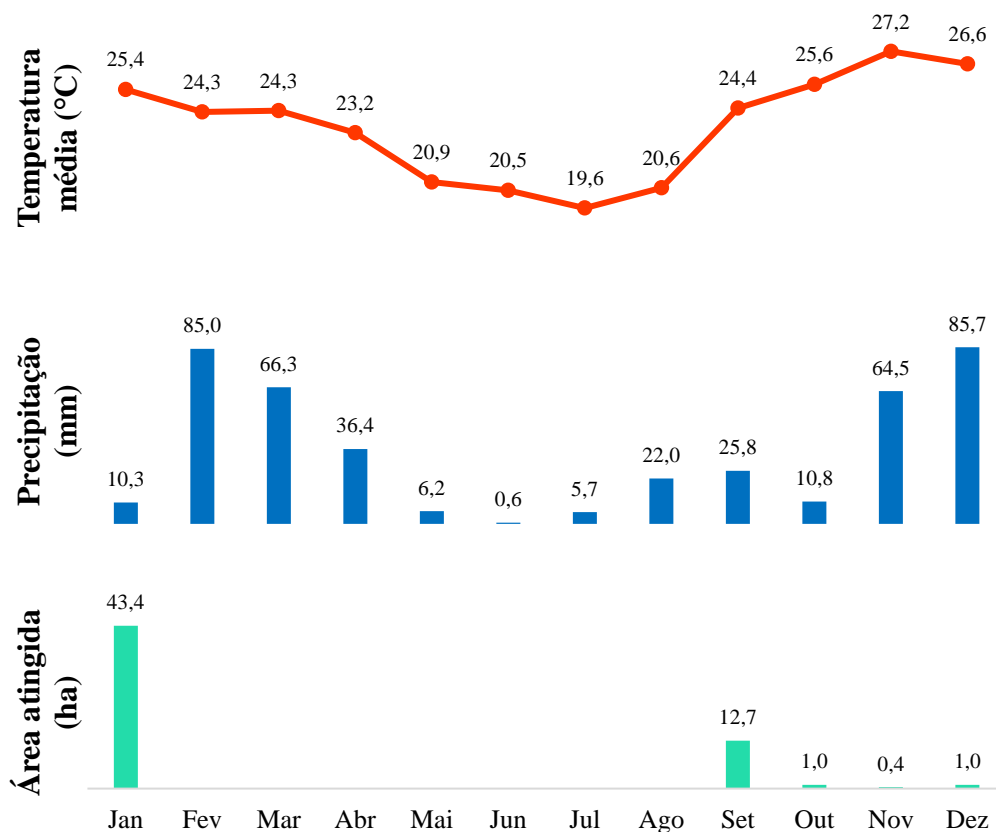
Fonte: A autora.

5.1.2 Análise detalhada da Regional Norte

Localizada em uma região de topografia plana e de chapadas, a RNO foi a unidade que apresentou o menor número de ocorrências de incêndios florestais no período de estudo, com 40 registros, e a menor área queimada, sendo 98 ha de florestas de eucalipto e 2,5 ha de florestas nativas.

O ano de 2015 obteve a maior área atingida pelos incêndios. O mês de janeiro foi o recordista e pode ter sido influenciado pela baixa precipitação e temperatura mais elevada. Setembro registrou a segunda maior extensão territorial afetada. Em dezembro, mês com maior precipitação no ano, um hectare foi queimado, mesmo valor que havia sido registrado em outubro (Figura 5.9).

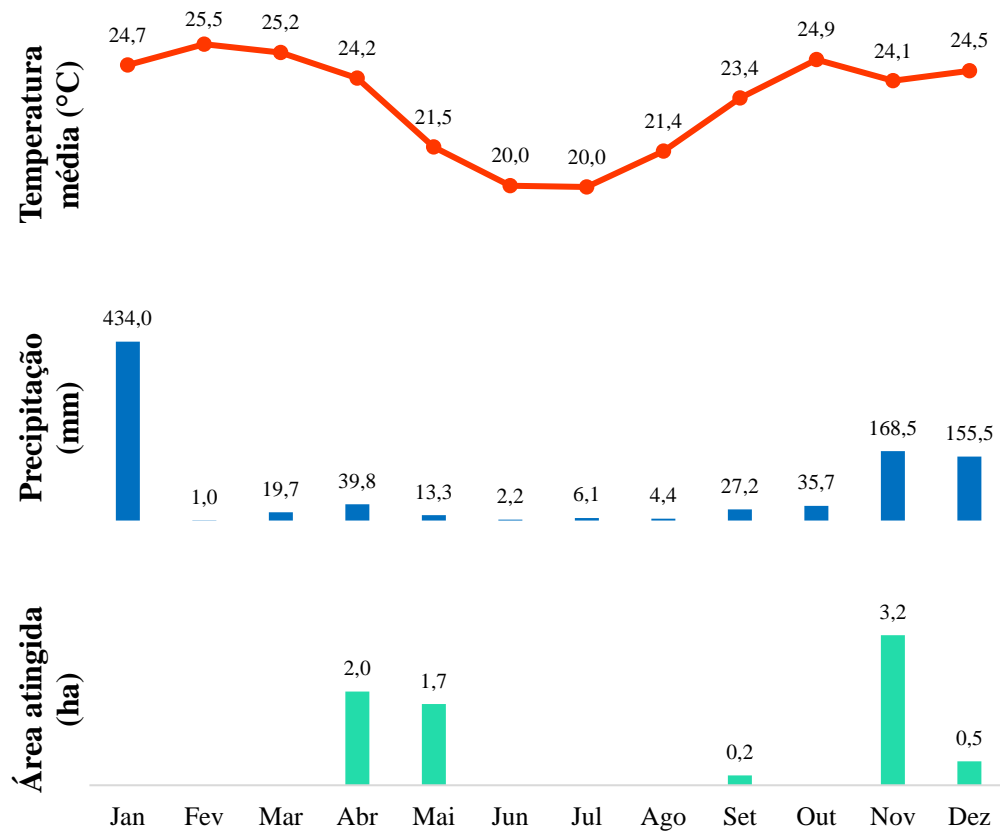
Figura 5.9 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2015



Fonte: A autora.

Já no ano de 2016, a precipitação em janeiro foi abundante, corroborando para a inexistência do registro de incêndios. De acordo com a Figura 5.10, houve ocorrências nos meses de abril, maio, setembro, novembro e dezembro, mas com menos áreas florestais queimadas que nos dois meses mais afetados do ano anterior.

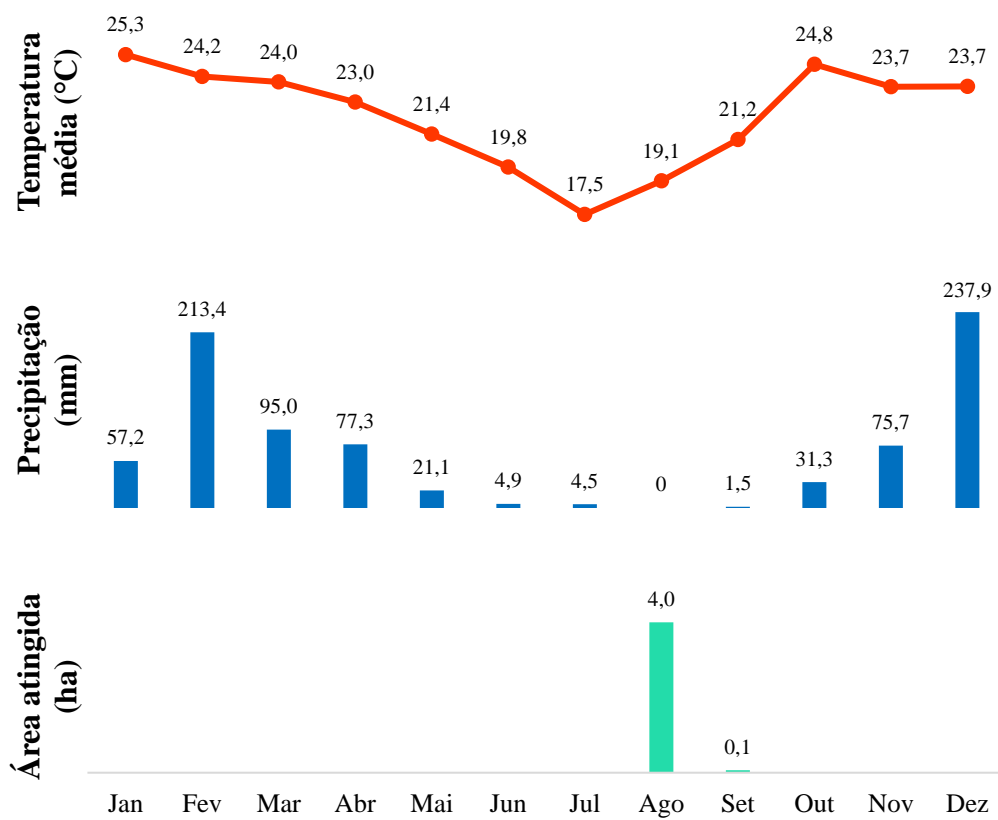
Figura 5.10 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2016



Fonte: A autora.

Os incêndios florestais em 2017 concentraram-se no período de maior estiagem de chuva. No mês de agosto não houve precipitação, coincidindo com a maior área queimada, apesar das baixas temperaturas, como mostra a Figura 5.11. Além das condições climáticas, a vulnerabilidade das áreas florestais da empresa situadas próximas a rodovias com grande quantidade de material combustível disponível (capim seco) também é apontada como uma das causas de ocorrências dos incêndios.

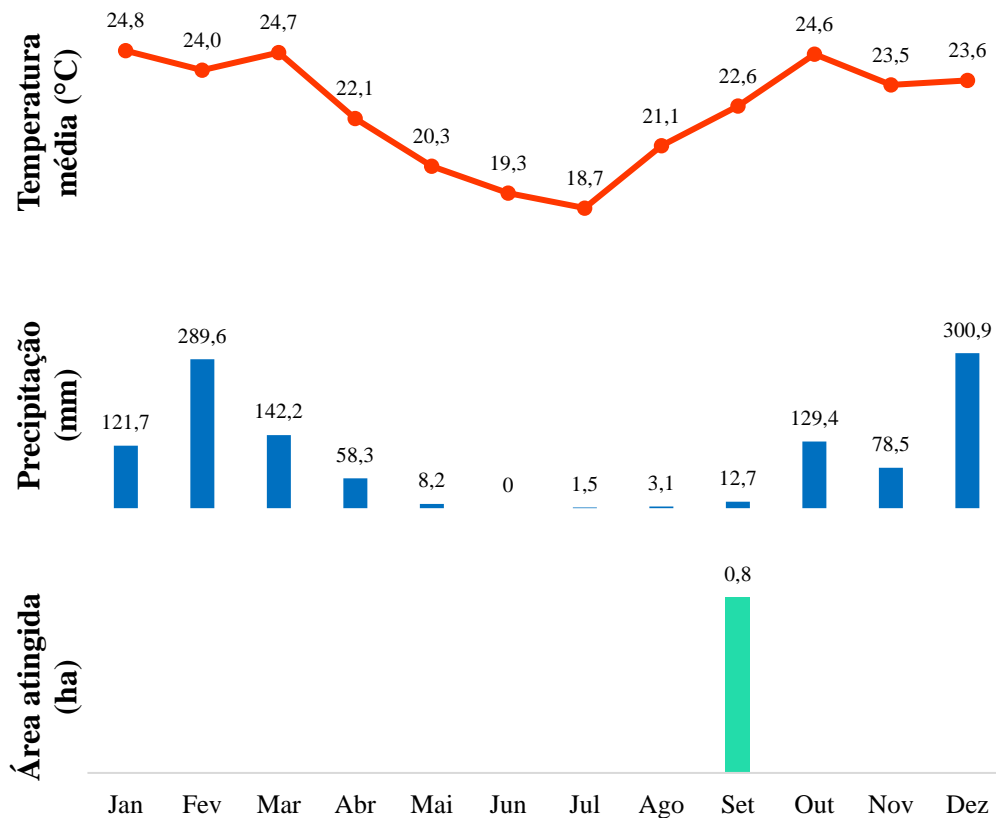
Figura 5.11 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2017



Fonte: A autora.

Em 2018, houve ocorrências de incêndios florestais somente em setembro. Neste mês, a temperatura e a pluviosidade registradas foram mais baixas. As maiores precipitações ocorreram entre janeiro e abril, e de outubro a dezembro (Figura 5.12). É importante destacar que não foram registrados incêndios em florestas nativas neste e no ano seguinte. Dentre as medidas preventivas adotadas pela unidade que contribuem para o êxito alcançado, pode ser citado o monitoramento florestal remoto, a capacitação dos vigilantes e da brigada de combate a incêndio, bem como a realização de visitas aos vizinhos a fim de os conscientizarem.

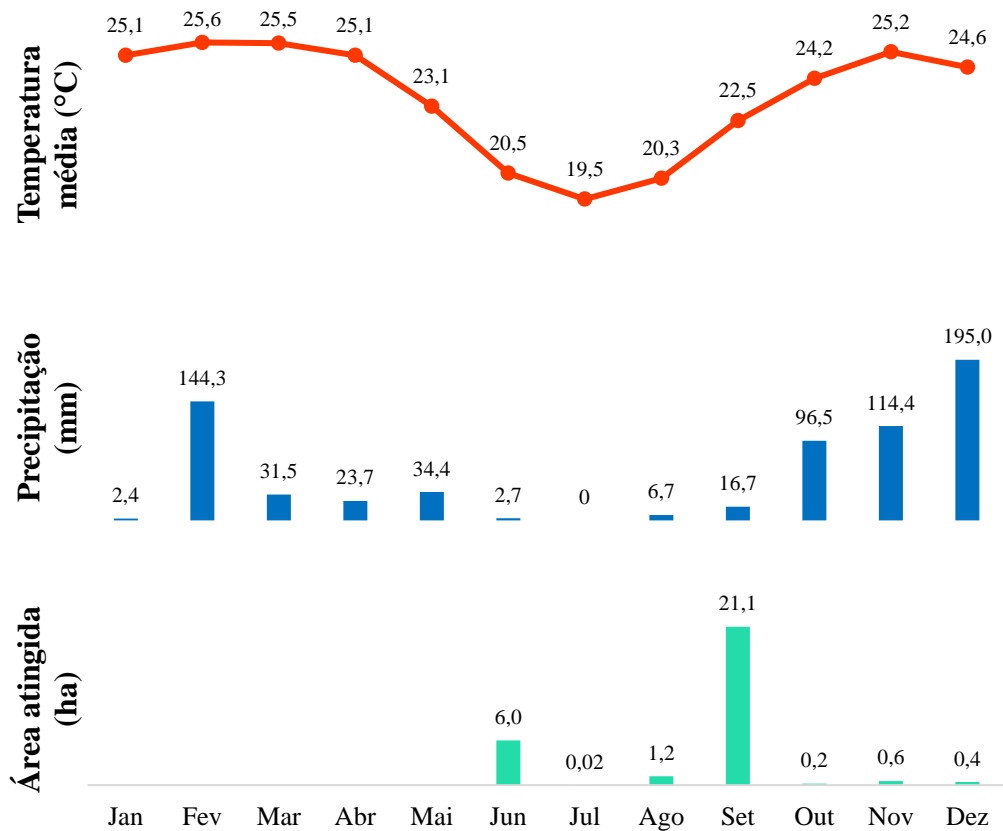
Figura 5.12 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2018



Fonte: A autora.

No último ano de análise, as ocorrências de incêndios florestais foram registradas entre os meses de junho a dezembro, como mostra a Figura 5.13. Contudo, as maiores extensões territoriais atingidas foram em setembro e junho, respectivamente. A precipitação foi novamente uma variável de forte influência. Ressalta-se que a área afetada no mês de setembro de 2019 foi menor apenas que a área florestal queimada em janeiro de 2015. Apesar do resultado, o número de aceiros na unidade passou de um para três em 2019. Essa observação nos mostra que o aceiro é uma ferramenta importante que faz parte de um conjunto de medidas preventivas, mas que ele não é a única solução.

Figura 5.13 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RNO em 2019



Fonte: A autora.

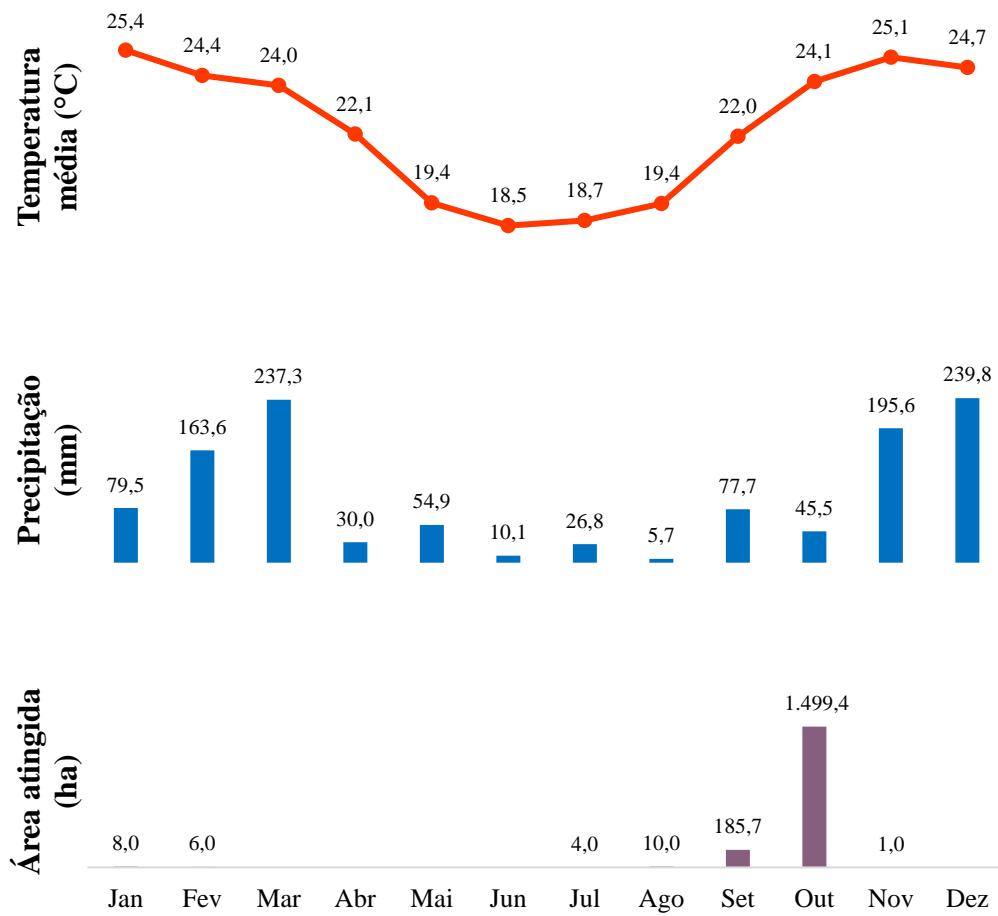
5.1.3 Análise detalhada da Regional Rio Doce

Dentre as unidades da empresa, a RRD foi aquela que registrou a maior área florestal total incendiada nos cinco anos analisados, a saber: 889,8 ha de florestas nativas e 2.256,3 ha de florestas de eucalipto. A unidade localiza-se em uma região de relevo ondulado, cuja média de precipitação anual é menor que na RCO (1.300 mm.ano⁻¹ nesta e 1.104 mm.ano⁻¹ naquela).

Levando em consideração que a topografia é um fator constante e que o comportamento do fogo é resultado de fatores variáveis, como o clima e o tipo de material combustível disponível na região, estudos de Torres *et al.* (2016) a respeito de incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG) – município distante cerca de 300 km das áreas de plantio da RRD –, reforçaram que o combate às chamas é mais difícil conforme a inclinação do terreno, por isso as informações sobre o relevo são fundamentais no estabelecimentos de planos de prevenção e controle a incêndios florestais. Além disso, os autores também confirmaram que a declividade do terreno influencia na velocidade de propagação do fogo, devido à proximidade das chamas quanto maior for a inclinação da área.

O ano de 2015 obteve o recorde de maior área queimada total e de florestas de eucalipto registrada entre as três unidades e em todo o período de estudo. O número de hectares atingidos pelo fogo nos meses de janeiro e fevereiro foi pequeno, provavelmente devido ao verão chuvoso. De julho a outubro do referido ano, houve acréscimo da temperatura média e baixa precipitação, fatores que culminaram na ocorrência de incêndios florestais. O mês de outubro registrou o maior pico com 1.499,4 ha queimados, sendo que 1.320,9 ha foram de florestas de eucalipto (58,5% da área plantada atingida entre 2015 e 2019), o que não descarta a hipótese de incêndios criminosos. Em novembro de 2015, uma pequena área também foi queimada (Figura 5.14).

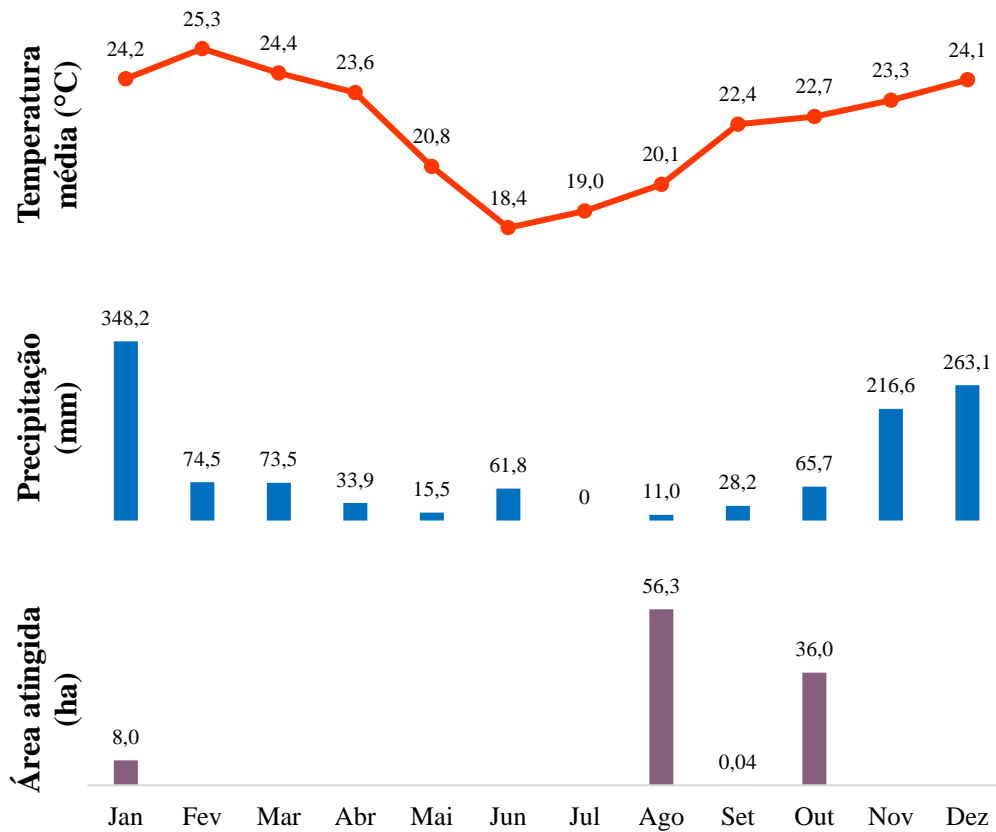
Figura 5.14 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2015



Fonte: A autora.

Em 2016, a área florestal total que foi atingida pelos incêndios reduziu 94% em relação ao ano anterior. As ocorrências foram registradas em quatro meses, sendo que agosto e outubro, nesta ordem, obtiveram a maior área queimada. Destaque para o fato de que novamente os incêndios florestais concentraram-se no período de maior estiagem da chuva (Figura 5.15).

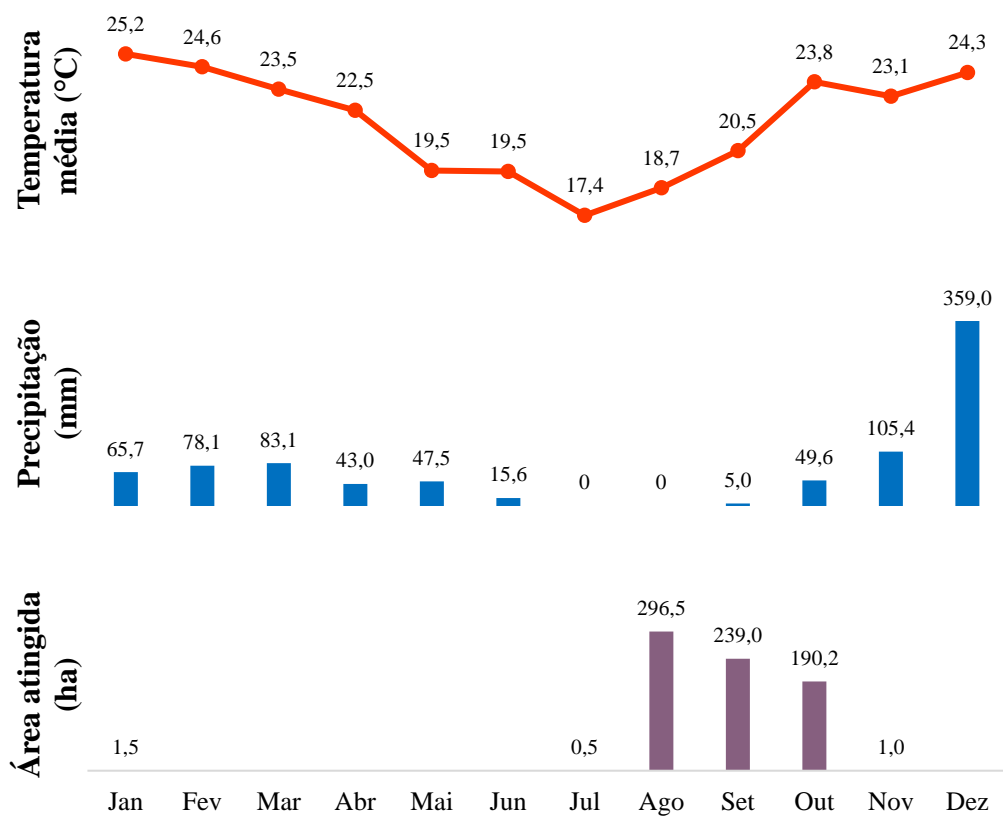
Figura 5.15 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2016



Fonte: A autora.

Já em 2017, observou-se um novo aumento na área total que foi queimada pelos incêndios. Como apresentado na Figura 5.16, as maiores áreas atingidas pelo fogo foram registradas em agosto, setembro e outubro, as quais foram reduzindo de um mês para o outro. A pluviosidade no período foi baixa e as temperaturas médias aumentaram progressivamente. Vale ressaltar que esse foi o único ano em que a área queimada de florestas nativas superou a de florestas de eucalipto (485,8 e 242,9 ha, respectivamente).

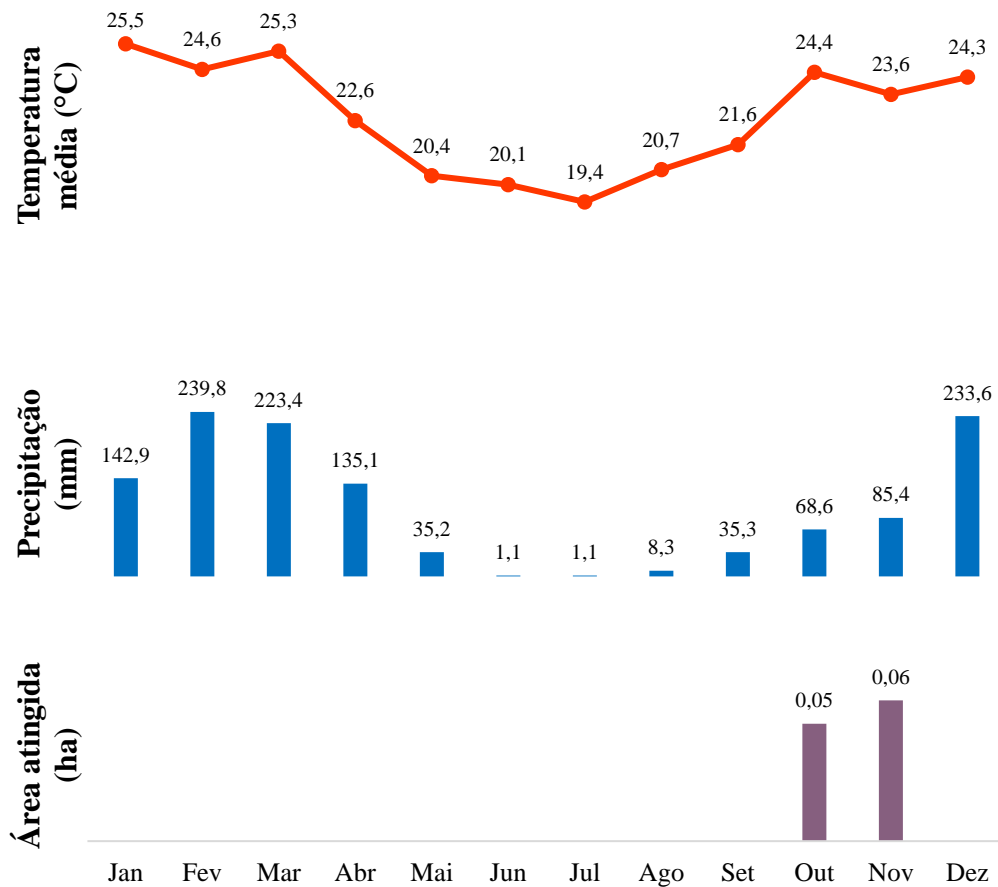
Figura 5.16 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2017



Fonte: A autora.

O ano de 2018 apresentou um excelente desempenho, pois obteve o menor número de registro de ocorrências e a menor área incendiada no período avaliado. As ocorrências de incêndios florestais foram registradas somente nos meses de outubro e novembro, exclusivamente em áreas de florestas de eucalipto. A área total queimada foi de aproximadamente 0,1 ha ou 1000 m², como visto na Figura 5.17. Um fator que pode ter sido essencial para o resultado foi o aumento do número de aceiros na unidade, os quais passaram de seis (quantidade referente aos anos de 2015, 2016 e 2017) para oito em 2018.

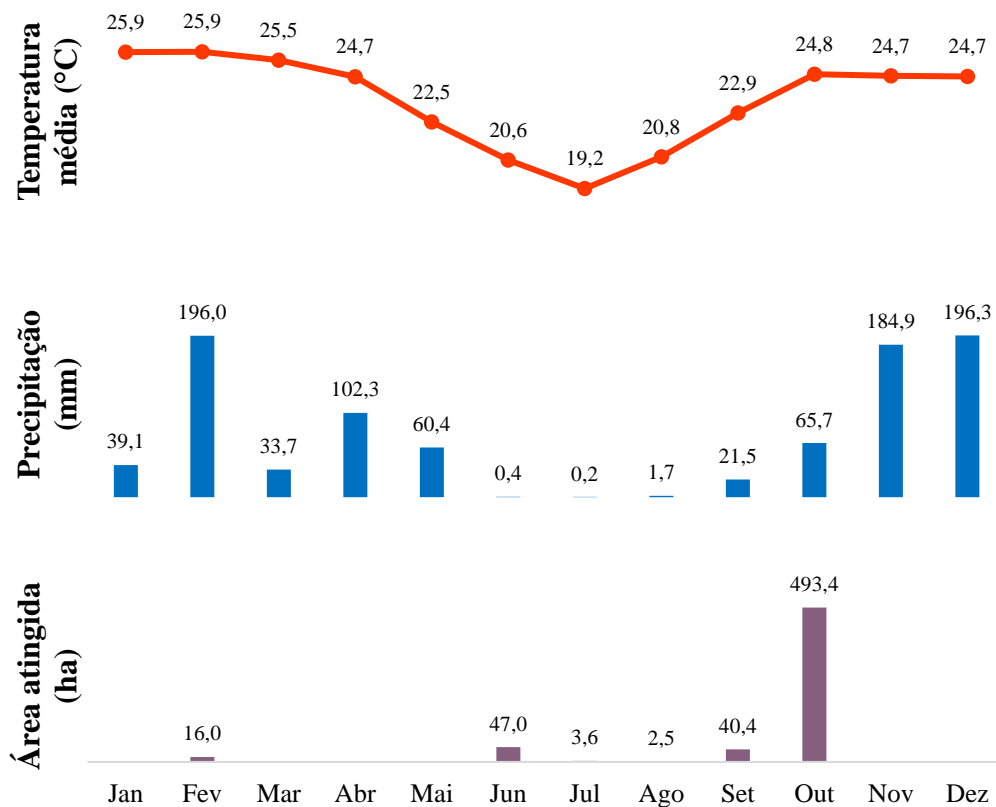
Figura 5.17 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2018



Fonte: A autora.

Entretanto, as ocorrências de incêndios florestais voltaram a crescer em 2019, culminando em novo aumento na área total atingida. No mês de fevereiro foram queimados 16,0 ha de florestas, mas foi entre junho e outubro que os incêndios se concentraram, em virtude da baixa precipitação nessa época do ano, somado à provável umidade reduzida do material vegetal. O pico foi alcançado outra vez no mês de outubro, com uma área de 323,9 ha de florestas de eucalipto e 169,5 ha de florestas nativas atingidas pelos incêndios, totalizando 493,4 ha (Figura 5.18).

Figura 5.18 - Comparação entre a temperatura média, a precipitação e a área florestal total atingida pelos incêndios na RRD em 2019



Fonte: A autora.

5.2 Valoração econômica ambiental

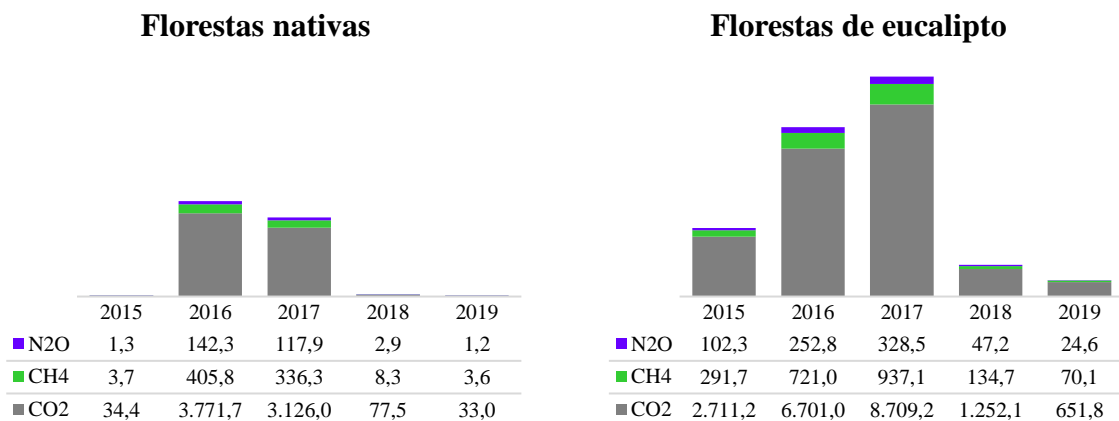
Os resultados da valoração econômica ambiental foram abordados em tópicos separados para cada um dos dois critérios estabelecidos na metodologia.

5.2.1 Emissões de gases de efeito estufa

Em todas as unidades da empresa, as maiores emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) entre os anos de 2015 e 2019 foram observadas nos plantios de eucalipto, justamente por corresponderem às maiores áreas atingidas pelos incêndios. Como esperado, a RRD foi responsável pela maior quantidade dessas emissões, pois registrou as maiores áreas florestais queimadas. A média nos cinco anos de estudo para essa unidade foi de 19.917,3 tCO_{2e} para florestas nativas e 88.390,2 tCO_{2e} para florestas de eucalipto. As quantidades de GEE emitidas tanto pela RCO quanto pela RNO foram menores que a média da RRD em todos os anos.

A Figura 5.19 é referente ao cenário na RCO. Para as florestas nativas, o total de emissões de GEE em 2016 e 2017 foi de 4.319,8 e 3.580,3 tCO_{2e}, respectivamente, com o gás dióxido de carbono representando mais de três mil tCO_{2e} em ambos os anos. Já para as florestas de eucalipto, o ano de 2017 atingiu um total de emissões equivalente a 9.974,8 tCO_{2e}. Em 2016, ano em que as áreas atingidas pelo fogo dos dois tipos de vegetação foram muito próximas, as emissões das florestas de eucalipto foram quase 89% maiores que das florestas nativas, já que o fator de combustão (C_f) utilizado para as florestas de eucalipto é quase o dobro do valor de referência do IPCC para as florestas nativas (Tabela 4.3).

Figura 5.19 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RCO entre 2015 e 2019, em toneladas de CO_{2e}

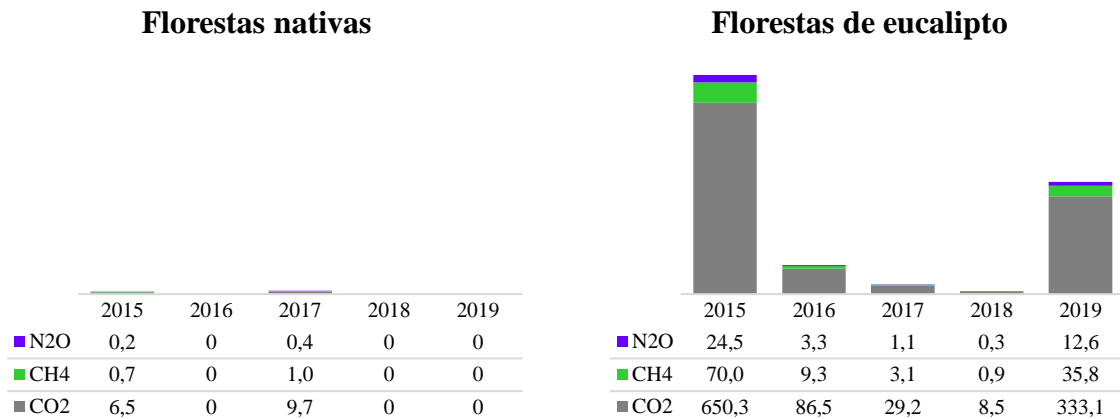


Fonte: A autora.

Na RNO, as quantidades de GEE emitidas pelas plantações de eucalipto superaram as emissões das áreas de vegetação nativa durante todo o período, com uma média de 250,0 tCO_{2e} a mais por ano. Em 2015, ano em que os incêndios queimaram a maior extensão territorial da unidade

na série histórica de estudo, foram emitidas 650,3 tCO_{2e} de dióxido de carbono, 70,0 tCO_{2e} de metano e 24,5 tCO_{2e} de óxido nitroso (Figura 5.20).

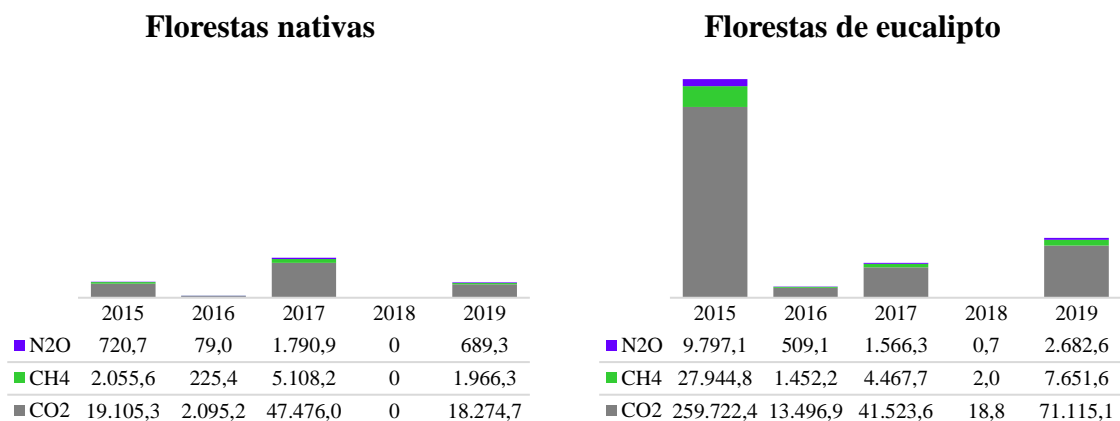
Figura 5.20 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RNO entre 2015 e 2019, em toneladas de CO_{2e}



Fonte: A autora.

Por fim, as emissões de GEE na RRD somaram 99.586,7 tCO_{2e} nas florestas nativas e 441.951,1 tCO_{2e} nas florestas de eucalipto em todo o período. Contudo, destaca-se as informações do ano de 2018, em que as medidas de prevenção a incêndios florestais adotadas pela empresa provavelmente contribuíram para o êxito dos resultados: zero emissões de GEE em áreas de florestas nativas e apenas 21,5 tCO_{2e} nos plantios de eucalipto, culminando no menor custo ambiental anual da unidade, como veremos adiante. O panorama completo está na Figura 5.21.

Figura 5.21 - Emissões de GEE de cada tipo de vegetação atingida pelos incêndios para a RRD entre 2015 e 2019, em toneladas de CO_{2e}



Fonte: A autora.

Na Tabela 5.1 são mostrados os resultados da valoração econômica ambiental considerando as emissões de GEE especificamente para a RCO. Para as florestas nativas, o ano de 2016 foi o que apresentou o maior valor total, seguido por 2017. Os demais anos do período obtiveram baixos valores devido às pequenas áreas que foram atingidas pelos incêndios. No caso das florestas de eucalipto, o ano de 2017 foi aquele que apresentou o maior montante, enquanto que 2019 representou menor valor.

Tabela 5.1 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RCO entre 2015 e 2019 (em R\$)¹

Tipo de vegetação	GEE	Ano				
		2015	2016	2017	2018	2019
Florestas nativas	CO ₂	555,60	60.935,54	50.504,13	1.252,88	533,38
	CH ₄	59,78	6.556,36	5.433,99	134,80	57,39
	N ₂ O	20,96	2.298,58	1.905,09	47,26	20,12
	Total	636,34	69.790,47	57.843,21	1.434,94	610,89
Florestas de eucalipto	CO ₂	43.802,19	108.260,94	140.706,64	20.228,74	10.530,03
	CH ₄	4.712,89	11.648,33	15.139,32	2.176,51	1.132,98
	N ₂ O	1.652,29	4.083,77	5.307,67	763,06	397,21
	Total	50.167,37	123.993,03	161.153,64	23.168,31	12.060,21

¹ Os valores referentes às emissões de cada GEE provenientes dos incêndios em áreas florestais na RCO foram convertidos primeiramente em CO_{2e} por meio do fator do GWP.

Fonte: A autora.

Em todo o período de estudo, o custo ambiental das emissões de GEE provenientes dos incêndios florestais na RCO resultou em mais de 500,8 mil reais, sendo que aproximadamente $\frac{3}{4}$ do total são provenientes de incêndios em florestas de eucalipto. Outro ponto importante observado é que os anos de 2016 e 2017 corresponderam a 98% do custo ambiental total gerado pelas emissões de GEE em áreas nativas atingidas por incêndios florestais (Figura 5.22). Em termos de precipitação, o ano de 2017 foi justamente o mais seco do período de estudo. Além disso, supõe-se que os incêndios que se iniciaram nas florestas de eucalipto possam ter se alastrado para as florestas nativas e vice-versa, visto que também foram os dois anos com maior área incendiada nos plantios.

Figura 5.22 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RCO na série histórica de cinco anos (2015 – 2019)



Fonte: A autora.

A seguir, a Tabela 5.2 apresenta os resultados da valoração econômica ambiental para a RNO, unidade da empresa que alcançou o melhor desempenho, ou seja, os menores custos com emissões de GEE. Os valores oriundos de florestas nativas foram muito inferiores nos anos em que ocorreram incêndios nesse tipo de vegetação quando comparado aos das outras duas unidades. Em relação às florestas de eucalipto, os resultados mais altos foram em 2015 e 2019, respectivamente, em virtude das maiores áreas florestais que foram atingidas pelos incêndios nesses anos.

Tabela 5.2 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RNO entre 2015 e 2019 (em R\$)¹

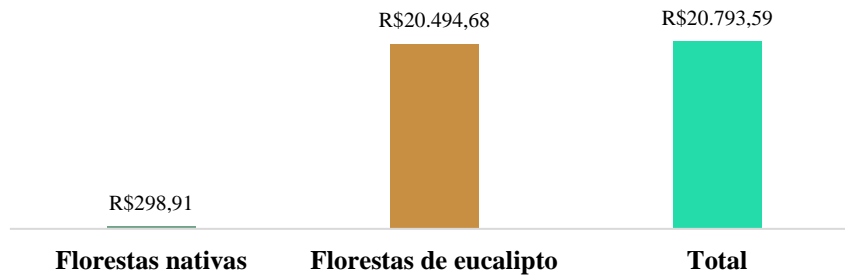
Tipo de vegetação	GEE	Ano				
		2015	2016	2017	2018	2019
Florestas nativas	CO ₂	104,39	0,00	156,59	0,00	0,00
	CH ₄	11,23	0,00	16,85	0,00	0,00
	N ₂ O	3,94	0,00	5,91	0,00	0,00
	Total	119,56	0,00	179,35	0,00	0,00
Florestas de eucalipto	CO ₂	10.506,42	1.397,57	471,34	137,02	5.382,00
	CH ₄	1.130,44	150,37	50,71	14,74	579,08
	N ₂ O	396,32	52,72	17,78	5,17	203,02
	Total	12.033,17	1.600,66	539,83	156,93	6.164,10

¹ Os valores referentes às emissões de cada GEE provenientes dos incêndios em áreas florestais na RNO foram convertidos primeiramente em CO_{2e} por meio do fator do GWP.

Fonte: A autora.

Portanto, o montante total da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RNO foi de cerca de 20,8 mil reais, que resultou sobretudo dos incêndios que ocorreram nas áreas de cultivo de eucalipto (Figura 5.23).

Figura 5.23 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RNO na série histórica de cinco anos (2015 – 2019)



Fonte: A autora.

Os resultados da valoração econômica ambiental para a RRD estão na Tabela 5.3. Para as florestas nativas, observa-se que o valor correspondente às emissões totais de GEE obtido logo no primeiro ano da análise foi superior ao valor total para as florestas nativas na série histórica da RCO e da RNO. Já para as florestas de eucalipto, valores totais da ordem de milhão foram obtidos em 2015 e 2019, com destaque para o primeiro: mais de 4,8 milhões.

Tabela 5.3 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RRD entre 2015 e 2019 (em R\$)¹

Tipo de vegetação	GEE	Ano				
		2015	2016	2017	2018	2019
Florestas nativas	CO ₂	308.666,90	33.850,73	767.025,41	0,00	295.246,60
	CH ₄	33.211,00	3.642,17	82.528,05	0,00	31.767,04
	N ₂ O	11.643,38	1.276,90	28.933,36	0,00	11.137,15
	Total	353.521,28	38.769,80	878.486,83	0,00	338.150,79
Florestas de eucalipto	CO ₂	4.196.089,73	218.056,19	670.857,12	303,93	1.148.939,53
	CH ₄	451.478,01	23.461,74	72.180,83	32,70	123.620,08
	N ₂ O	158.282,88	8.225,41	25.305,75	11,46	43.339,74
	Total	4.805.850,61	249.743,35	768.343,70	348,10	1.315.899,35

¹ Os valores referentes às emissões de cada GEE provenientes dos incêndios em áreas florestais na RRD foram convertidos primeiramente em CO_{2e} por meio do fator do GWP.

Fonte: A autora.

Sendo assim, os incêndios florestais ocorridos entre 2015 e 2019 na RRD geraram um custo ambiental total de aproximadamente 8,7 milhões de reais com emissões de GEE, sendo 7,1 milhões devido às florestas de eucalipto (81,7%) e 1,6 milhão das florestas nativas (18,3%) (Figura 5.24).

Figura 5.24 - Resultado final da valoração econômica ambiental pelo critério de emissões de GEE para a RRD na série histórica de cinco anos (2015 – 2019)



Fonte: A autora.

5.2.2 *Restauração da área*

Além de valorar as áreas florestais atingidas pelos incêndios por meio do critério de emissões de GEE, visou-se o cálculo do dispêndio com a restauração das mesmas, isto é, a estimativa dos gastos necessários para restituir o meio ambiente degradado à condição mais próxima da sua situação original. Para isso, foram avaliados seis tipos de técnicas para a restauração das florestas nativas (plantio total de mudas, plantio total de sementes, condução da regeneração natural, regeneração natural, adensamento/enriquecimento de mudas e adensamento/enriquecimento de sementes) e a técnica de reforma dos povoamentos para as florestas de eucalipto, considerando dois cenários de referência: condições ambientais favoráveis (CAF) e condições ambientais desfavoráveis (CAD).

Inicialmente, realizou-se uma análise exploratória dos resultados por meio de medidas descritivas: média, desvio padrão e amplitude. A média aritmética é uma medida de tendência central de fácil interpretação, mas altamente influenciada por valores discrepantes. Por outro lado, o desvio padrão e a amplitude são medidas de dispersão, ou seja, avaliam a variabilidade dos dados em estudo. O desvio padrão fornece a variação de todos os valores a partir da média, quanto maior for o seu valor, maior será a variação dos dados. Já a amplitude total representa a diferença entre os dois valores extremos da série.

Isto posto, a Tabela 5.4 apresenta a análise estatística dos resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área. As medidas descritivas foram calculadas tendo como base o valor médio anual de cada uma das técnicas de restauração no período de estudo (2015 – 2019), por tipo de vegetação e cenário.

Tabela 5.4 - Análise estatística dos resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para as três unidades da empresa (em R\$ por ano)

Unidade	Tipo de vegetação	Cenário	Estatística descritiva		
			Média	Desvio padrão	Amplitude
RCO	Florestas nativas	CAF	361.936,42	±416.923,19	1.821.823,53
		CAD	1.054.245,30	±1.159.314,45	5.934.558,95
	Florestas de eucalipto	CAF	732.039,00	±645.540,06	1.472.735,00
		CAD	1.064.784,00	±938.967,35	2.142.160,00
RNO	Florestas nativas	CAF	2.209,19	±2.701,31	12.568,35
		CAD	6.434,92	±7.511,36	40.941,17
	Florestas de eucalipto	CAF	107.745,00	±132.520,12	312.180,00
		CAD	156.720,00	±192.756,53	454.080,00
RRD	Florestas nativas	CAF	550.956,83	± 684.290,78	3.656.108,12
		CAD	1.556.730,86	±1.655.412,99	10.317.544,95
	Florestas de eucalipto	CAF	2.481.963,00	±3.397.389,18	8.352.080,00
		CAD	3.610.128,00	±4.941.656,99	12.148.480,00

Fonte: A autora.

Conforme informado pela empresa, suas áreas de florestas nativas que são atingidas por incêndios regeneram-se naturalmente. Entretanto, apesar do baixo custo dessa técnica – em suma, o controle das formigas cortadeiras é a única despesa envolvida diretamente –, é importante ter ciência de que o tempo exigido para restaurar o ambiente será maior, podendo aumentar a matocompetição, reduzir a diversidade de espécies arbóreas, além de alterar a taxa de sequestro de carbono pela vegetação.

Por isso, recomenda-se que na ocorrência de incêndios florestais de alta intensidade em áreas de florestas nativas, dependendo das condições edafoclimáticas e da qualidade ambiental, intervenções de eficácia mais rápida sejam avaliadas, como o plantio de mudas ou a condução da regeneração natural. Schumacher e Vieira (2016) destacam que para que haja o uso racional

dos recursos edáficos e climáticos, um bom conhecimento das características e propriedades deles e dos potenciais efeitos dos sistemas de conservação e cultivo do solo faz-se primordial.

Em relação à restauração das florestas de eucalipto queimadas, a empresa informou que a escolha da técnica varia de acordo com a magnitude do impacto na área que sofreu o incêndio. Contudo, ressalta-se que independentemente do tipo de vegetação florestal atingida, há outras perdas associadas aos incêndios que não foram objeto de estudo do presente trabalho, a exemplo da perda de biodiversidade, tanto da flora quanto da fauna, redução de habitats e outros serviços ecossistêmicos.

Nas próximas páginas são apresentados os resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RCO, a RNO e a RRD, expostos na Tabela 5.5, na Tabela 5.6 e na Tabela 5.7, respectivamente. Para a unidade da empresa situada na região Centro-Oeste de Minas Gerais, considerando a técnica de regeneração natural adotada pela empresa para os incêndios ocorridos em florestas nativas, no ano em que a maior área foi atingida (2016, com 219,4 ha), o custo total estimado de restauração foi de R\$ 39.767,28. Caso a empresa optasse por outro método, por exemplo, o de condução da regeneração natural, o valor neste mesmo ano para a restauração do meio ambiente seria de R\$ 704.322,67 também para o cenário de condições ambientais desfavoráveis. Já para os incêndios em florestas de eucalipto, analisando o ano de 2017 que foi aquele que afetou a maior extensão territorial no período, o cálculo com base no custo médio de reforma dos plantios em áreas com maior dificuldade operacional resultou em R\$ 2.315.440,00.

O perfil de incêndios florestais da Regional Norte foi o melhor das três unidades entre 2015 e 2019, uma vez que o número de ocorrências foi o menor (a saber: 40 registros, *versus* 101 na RCO e 82 na RRD) e a área queimada também (98 ha de florestas de eucalipto e 2,5 ha de florestas nativas, sem nenhuma perda nesse último tipo de vegetação nos anos de 2016, 2018 e 2019). Observa-se que nos anos em que houve incêndios nas florestas nativas na RNO, o valor necessário para a restauração ambiental foi insignificante para o método de regeneração natural. Sendo assim, tendo em vista os aspectos de riqueza e diversidade biológica, reforça-se que a adoção de uma técnica cuja intervenção seja mais acelerada e eficiente deve ser considerada pela empresa. A valoração econômica ambiental dos incêndios florestais ocorridos nos plantios de eucalipto resultou no valor total de R\$ 538.725,00 para o cenário de CAF e R\$ 783.600,00 para CAD.

Finalmente, dentre as unidades da empresa que foram avaliadas, a Regional Rio Doce é aquela cujo relevo é o mais acidentado e a única que se localiza no bioma Mata Atlântica. A técnica de plantio total de sementes não é usualmente empregada nesse domínio morfoclimático, por isso não foram estimados custos para ela. O método de restauração da área mais dispendioso para as florestas nativas é o de plantio total, seguido pelo adensamento/enriquecimento, ambos de mudas. No caso das florestas de eucalipto, a aplicação da metodologia resultou em um valor total altíssimo de reforma nos cinco anos de estudo. Entretanto, é importante ressaltar que não foi obtido a idade em que os plantios de fato foram atingidos pelo fogo. Os incêndios florestais nesse tipo de povoamento afetam mais as árvores jovens, devido à menor altura e diâmetro, enquanto que os indivíduos mais velhos são mais resistentes, podendo sofrer apenas danos superficiais, estando a resistência ao calor condicionada à quantidade de umidade, densidade e espessura da casca. Portanto, tal informação contribuiria para que a valoração econômica ambiental fosse o mais fiel possível à realidade. Esta ponderação também vale para a RCO e a RNO.

Tabela 5.5 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RCO entre 2015 e 2019 (em R\$)

Tipo de vegetação	Técnica de restauração	Cenário	Ano					Total do período	
			2015	2016	2017	2018	2019		
Florestas nativas	Plantio total (mudas)	CAF	16.306,57	1.788.422,85	1.482.267,03	36.771,31	15.654,31	3.339.422,06	
		CAD	44.552,48	4.886.293,77	4.049.820,87	100.465,85	42.770,39	9.123.903,36	
	Plantio total (sementes)	CAF	17.360,10	1.903.968,88	1.578.033,02	39.147,02	16.665,70	3.555.174,72	
		CAD	54.950,82	6.026.730,92	4.995.029,32	123.914,09	52.752,78	11.253.377,94	
	Condução da regeneração natural	CAF	3.065,92	336.254,43	278.691,84	6.913,64	2.943,28	627.869,10	
		CAD	6.421,91	704.322,67	583.751,36	14.481,40	6.165,03	1.315.142,38	
	Regeneração natural	CAF	-	-	-	-	-	-	
		CAD	362,59	39.767,28	32.959,61	817,64	348,09	74.255,22	
	Adensamento/enriquecimento (mudas)	CAF	6.848,96	751.159,69	622.570,46	15.444,40	6.575,00	1.402.598,52	
		CAD	27.742,32	3.042.638,60	2.521.776,60	62.558,92	26.632,62	5.681.349,06	
	Adensamento/enriquecimento (sementes)	CAF	602,31	66.057,87	54.749,58	1.358,20	578,21	123.346,16	
		CAD	20.407,89	2.238.234,94	1.855.076,87	46.019,78	19.591,57	4.179.331,06	
	Florestas de eucalipto	Reforma	CAF	495.550,00	1.224.795,00	1.591.865,00	228.855,00	119.130,00	3.660.195,00
			CAD	720.800,00	1.781.520,00	2.315.440,00	332.880,00	173.280,00	5.323.920,00

Fonte: A autora.

Tabela 5.6 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RNO entre 2015 e 2019 (em R\$)

Tipo de vegetação	Técnica de restauração	Cenário	Ano					Total do período	
			2015	2016	2017	2018	2019		
Florestas nativas	Plantio total (mudas)	CAF	8.153,28	0,00	12.229,93	0,00	0,00	20.383,21	
		CAD	22.276,24	0,00	33.414,36	0,00	0,00	55.690,61	
	Plantio total (sementes)	CAF	8.680,05	0,00	13.020,07	0,00	0,00	21.700,12	
		CAD	27.475,41	0,00	41.213,11	0,00	0,00	68.688,52	
	Condução da regeneração natural	CAF	1.532,96	0,00	2.299,44	0,00	0,00	3.832,40	
		CAD	3.210,95	0,00	4.816,43	0,00	0,00	8.027,38	
	Regeneração natural	CAF	-	-	-	-	-	-	
		CAD	181,30	0,00	271,94	0,00	0,00	453,24	
	Adensamento/enriquecimento (mudas)	CAF	3.424,48	0,00	5.136,72	0,00	0,00	5.561,20	
		CAD	13.871,16	0,00	20.806,74	0,00	0,00	34.677,90	
	Adensamento/enriquecimento (sementes)	CAF	301,15	0,00	451,73	0,00	0,00	752,88	
		CAD	10.203,94	0,00	15.305,91	0,00	0,00	25.509,86	
	Florestas de eucalipto	Reforma	CAF	316.305,00	42.075,00	14.190,00	4.125,00	162.030,00	538.725,00
			CAD	460.080,00	61.200,00	20.640,00	6.000,00	235.680,00	783.600,00

Fonte: A autora.

Tabela 5.7 - Resultados da valoração econômica ambiental pelo critério de restauração da área para a RRD entre 2015 e 2019 (em R\$)

Tipo de vegetação	Técnica de restauração	Cenário	Ano					Total do período	
			2015	2016	2017	2018	2019		
Florestas nativas	Plantio total (mudas)	CAF	1.533.516,39	168.176,94	3.810.729,40	0,00	4.006.316,27	6.979.264,49	
		CAD	4.188.421,56	459.333,80	10.408.066,89	0,00	6.979.264,49	19.062.138,53	
	Plantio total (sementes)	CAF	-	-	-	-	-	-	
		CAD	-	-	-	-	-	-	
	Condução da regeneração natural	CAF	62.222,80	6.823,82	154.621,27	0,00	59.517,46	283.185,36	
		CAD	578.908,34	63.487,44	1.438.565,03	0,00	553.738,42	2.634.699,23	
	Regeneração natural	CAF	-	-	-	-	-	-	
		CAD	36.427,91	3.994,96	90.521,95	0,00	34.844,08	165.788,90	
	Adensamento/enriquecimento (mudas)	CAF	719.697,28	78.927,42	1.788.420,13	0,00	688.406,09	3.275.450,91	
		CAD	2.505.255,39	274.745,14	6.225.463,55	0,00	2.396.331,25	11.401.795,33	
	Adensamento/enriquecimento (sementes)	CAF	105.739,38	11.596,18	262.758,31	0,00	101.142,02	481.235,88	
		CAD	1.242.290,05	136.238,87	3.087.043,11	0,00	1.188.277,44	5.653.849,47	
	Florestas de eucalipto	Reforma	CAF	8.352.685,00	434.060,00	1.335.400,00	605,00	2.287.065,00	12.409.815,00
			CAD	12.149.360,00	631.360,00	1.942.400,00	880,00	3.326.640,00	18.050.640,00

Fonte: A autora.

6 CONCLUSÕES

A realização do presente trabalho teve como objetivo principal a aplicação de uma metodologia para valoração econômica ambiental de áreas da ArcelorMittal BioFlorestas atingidas por incêndios florestais, entre os anos de 2015 e 2019, a fim de valorar a externalidade negativa ocasionada pelas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) nesses incêndios e o custo necessário para a restauração das áreas queimadas, tanto em florestas nativas quanto em florestas plantadas de eucalipto para produção de carvão vegetal.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e conclui-se que há registros de ocorrências de incêndios florestais nas três unidades da empresa que foram avaliadas, com destaque para a Regional Rio Doce (RRD) que apresentou a maior extensão territorial queimada para ambos os tipos de vegetação, sendo que o relevo ondulado é um dos principais agravantes, pois dificulta o combate às chamas. Por outro lado, a topografia da Regional Centro-Oeste (RCO) e da Regional Norte (RNO) é do tipo plana.

Além disso, observa-se que os plantios de eucalipto estão mais sujeitos aos incêndios florestais devido à maior disponibilidade de madeira e à deposição de folhas e galhos continuamente sobre o solo, bem como pela facilidade de acesso às áreas. Outro ponto verificado foi a tendência de ocorrência dos incêndios florestais nos meses mais secos, por meio da análise conjunta realizada com as variáveis climáticas de temperatura e precipitação.

Contudo, ressalta-se a importância do investimento realizado pela empresa em ações de prevenção e combate a incêndios florestais. Conforme analisado, a manutenção e o aumento do número de aceiros nas unidades no decorrer do período de estudo pode ter sido um fator que contribuiu significativamente para a redução dos registros, aliado à intensificação da vigilância nos locais com maior histórico de ocorrências registradas.

Tendo em vista que causas criminais e queimadas realizadas sem o domínio completo da técnica nas áreas adjacentes à empresa são identificadas dentre os principais motivos de ocorrências dos incêndios nas fazendas da ArcelorMittal BioFlorestas, destaca-se ainda a assertividade das ações de educação ambiental, como a realização da Semana Integrada de Prevenção de Incêndios (SIPIN), e o diálogo aberto com vizinhos e comunidades ao entorno, levando conhecimento sobre os riscos e prejuízos dos incêndios florestais para o meio ambiente, bem como para a saúde humana.

7 RECOMENDAÇÕES

Os incêndios florestais são episódios que geram inúmeros danos ao meio ambiente, em áreas públicas e privadas, e esses podem ser valorados para demonstração do verdadeiro impacto nos três pilares essenciais do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômico e social.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a aplicação de metodologias de valoração econômica ambiental para avaliar outras perdas associadas aos incêndios florestais que não foram o foco do presente trabalho, como a perda de biodiversidade, tanto de espécies da flora quanto da fauna, redução de habitats e outros serviços ecossistêmicos.

Também é recomendável a obtenção de informações que contribuam para que os resultados sejam ainda mais fiéis à realidade estudada, como a idade, o estoque de carbono e o material clonal dos indivíduos que pegaram fogo, com o intuito de que possam colaborar efetivamente em processos de tomada de decisão, por exemplo, a aquisição de recursos financeiros para ações de prevenção e combate a incêndios florestais.

O trabalho pode ainda ser replicado para outras empresas do segmento de manejo florestal para produção de carvão vegetal, a fim de comparação dos resultados obtidos, identificação das principais causas de ocorrências dos incêndios e estímulo à adoção de medidas preventivas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, I.; ALENCAR, A.; ANGELO, C.; AZEVEDO, T.; BARCELLOS, F.; COLUNA, I.; COSTA JUNIOR, C.; CREMER, M.; PIATTO, M.; POTENZA, R.; QUINTANA, G.; SHIMBO, J.; TSAI, D.; ZIMBRES, B. **Análise das emissões brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil (1970 – 2019)**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) e Observatório do Clima, 2020.
- ALMADO, R. de P.; MARTINS, L. G. C. Manejo de solos e nutrição de plantas na ArcelorMittal BioFlorestas. **Série Técnica IPEF**, v. 18, n. 39, p. 51, 2014.
- ANTÔNIO, Cel PM A. dos S. **Manual de combate a incêndios florestais**. Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros, 1ª Ed, v. 4, São Paulo, 2006.
- ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS. **ArcelorMittal BioFlorestas promove em Carbonita Semana Integrada de Prevenção de Incêndios - SIPIN**. 2014. <<http://bioflorestas.arcelormittal.com.br/index.asp?Grupo=30&SubGrupo=119&ID=251>>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- ARCELORMITTAL BIOFLORESTAS. **Resumo Público do Plano de Manejo Florestal**. 2020. <http://bioflorestas.arcelormittal.com.br/arquivos/resumopublicomanejoflorestal_mar_2020_a_nexo_302.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2020.
- ARCELORMITTAL BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. 2020. <<https://brasil.arcelormittal.com/sala-imprensa/publicacoes-relatorios/brasil/relatorio-de-sustentabilidade-2019>>. Acesso em: 02 jul. 2020.
- ARNETH, A.; DENTON, F.; AGUS, F.; ELBEHRI, A.; ERB, K.; ELASHA, B. O.; RAHIMI, M.; ROUNSEVELL, M.; SPENCE, A.; VALENTINI, R. Framing and Context. In: **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2019. p. 77-129.
- BARBOSA, A. C. M. C. **Classificação dos incêndios florestais**. 2011. Disponível em: <<http://gef152.blogspot.com.br/2011/10/aula-3-classificacao-dos-incendios.html>>. Acesso em: 10 out. 2019.
- BENINI, R. de M.; ADEODATO, S. Economia da restauração florestal. **São Paulo**, 2017.
- BORGES, T. S.; FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. R. dos; LOUREIRO, E. B.; MAFIA, R. G. Desempenho de alguns índices de risco de incêndios em plantios de eucalipto no norte do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 153-159, 2011.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2000.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2012.

CANZIAN, W. P.; FIEDLER, N. C.; PEZZOPANE, J. E. M.; OLIVEIRA, C. H. R.; SILVA, E. C. G. Análise de causa e influência de elementos meteorológicos em ocorrências de incêndios em florestas de produção. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 3, p. 835-844, 2020.

CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELLO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010.

COSTA, E. P.; FIEDLER, N. C.; MEDEIROS, M. B.; WANDERLEY, F. B. Incêndios florestais no entorno de unidades de conservação-estudo de caso na estação ecológica de águas emendadas, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 195-206, 2009.

DIAZ, M. del C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S. da; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. O preço oculto do fogo na Amazônia: Os custos econômicos associados as queimadas e incêndios florestais. **Belém: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, 2002.

DONOFRIO, S.; MAGUIRE, P.; MERRY, W.; ZWICK, S. Ecosystem Marketplace. **Financing Emissions Reductions for the Future: State of the Voluntary Carbon Markets 2019**, 2019.

EMBRAPA. **Estratégias de recuperação**. 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/codigo-florestal/estrategias-e-tecnicas-de-recuperacao>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I.; PEREIRA, V. B. Emissões de gases do efeito estufa por desmatamento e incêndios florestais em Roraima: fontes e sumidouros. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 95-111, 2013.

GOIÁS. Cel QOC Carlos Helbingen Júnior. Secretaria Geral do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **Manual Operacional de Bombeiros: Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 2017. Disponível em: <<https://www.bombeiros.go.gov.br/gestao-do-conhecimento/manuais-operacionais-de-bombeiros>>. Acesso em: 08 out. 2019.

GOULART, B. S.; ALVIM, A. M. A disposição a pagar pela compensação da emissão de carbono no Rio Grande Do Sul: um estudo para a indústria com alto potencial poluidor. **SINERGIA-Revista do Instituto de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis**, v. 21, n. 1, p. 21-32, 2017.

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change. Chapter 2: Generic Methodologies Applicable to Multiple Land-Use Categories. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4**. Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006.

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate change 2013: The physical science basis. **Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel On Climate Change**, v. 1535, 2013.

IPCC – Intergovernmental Panel On Climate Change. Climate change 2014: synthesis report. **Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, v. 151, 2014.

PORTUGAL JÚNIOR, P. dos S.; PORTUGAL, N. dos S.; ABREU, G. A. Valoração econômica ambiental: um estudo analítico e teórico dos métodos e suas multiplacabilidades. **Revista Catarinense da Ciência Contábil**, v. 11, n. 33, p. 22-34, 2012.

LEITE, P. P. S.; PIMENTA, H. C. D. Benefícios ambientais e econômicos provenientes da implementação da Produção mais Limpa em uma indústria de móveis de Natal-RN. **HOLOS**, v. 2, p. 52-71, 2011.

LIMA, J. L. A valoração econômica ambiental no Brasil. **Revista Diálogos: Economia e Sociedade**, v. 2, n. 1, p. 147-163, 2018.

MAIA, A. G.; ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P. Valoração de recursos ambientais– metodologias e recomendações. **Texto para Discussão, Instituto de Economia/UNICAMP**, n. 116, 2004.

MARTINS, J. S. **Metodologia para valoração ambiental em áreas afetadas por incêndio florestal em UCs**. Orientador: Prof^o. Dr. Daniel Brianezi. 2018. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

MIRANDA, G. de M.; VITALE, V.; ZAMPIER, J. F. Levantamento das metodologias propostas para valoração econômica de bens ambientais. **Floresta**, v. 39, n. 4, 2009.

MOTTA, R. S. da. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

MOTTA, R. S. da. Valoração e precificação dos recursos ambientais para uma economia verde. **Economia Verde – Desafios e oportunidades**, n. 8, p. 179-190, 2011.

OLIVEIRA, V. F. R.; SILVA, E. R. dos S. da; SILVA, B. H. M da; VICK, E. P.; LIMA, C. G. da R.; BACANI, V. M. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 3, p. 1194-1212, 2020.

PEREIRA, Á. G.; ARAUJO JR, C. F. de. ABORDAGEM DIDÁTICA SOBRE O AQUECIMENTO GLOBAL E ATIVIDADES DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS. **Veredas Favip - Revista Eletrônica de Ciências**, v. 3, n. 1, 2013.

PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A. de; PEREIRA, J. A. A.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; MORELLI, F.; SCOLFORO, J. R. S. Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 459-469, 2014.

PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 22 de dezembro de 2016, NOTA TÉCNICA: Valores de referência para o potencial de aquecimento global (GWP) dos gases de efeito estufa – versão 1.0, **Equipe do Programa Brasileiro GHG Protocol**, São Paulo, Brasil. Disponível em: <<http://ghgprotocolbrasil.com.br/especificacoes-enotas-tecnicas-do-programa-brasileiro-ghg-protocol/?locale=pt-br>>. Acesso em: 07 abr. 2020.

REZENDE, E. N.; OLIVEIRA, E. R. de. A dinâmica do incêndio florestal e sua repercussão na responsabilidade civil por dano ambiental. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 5, n. 2, 2015.

SANTOS, J. F.; SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em áreas protegidas no período de 1998 a 2002. **Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciência - Editora UFSM, 2016.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T. de (Ed.). **Mapeamento e Inventário da Flora e dos Reflorestamentos de Minas Gerais**. Lavras: UFLA, 2006.

SEITO, A. I.; GILL, A. A.; PANNONI, F. D.; ONO, R.; SILVA, S. B. da; CARLO, U. D.; SILVA, V. P. e. A segurança contra incêndio no Brasil. **São Paulo: Projeto Editora**, p. 496, 2008.

SIMIANO, QOBM L. F.; BAUMEL, QPM 2-0 L. F. S. **Manual de prevenção e combate a princípios de incêndio: Módulo VI**. 2013. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/marco2015/cursobrigada/modulo6_combateincendios.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2020.

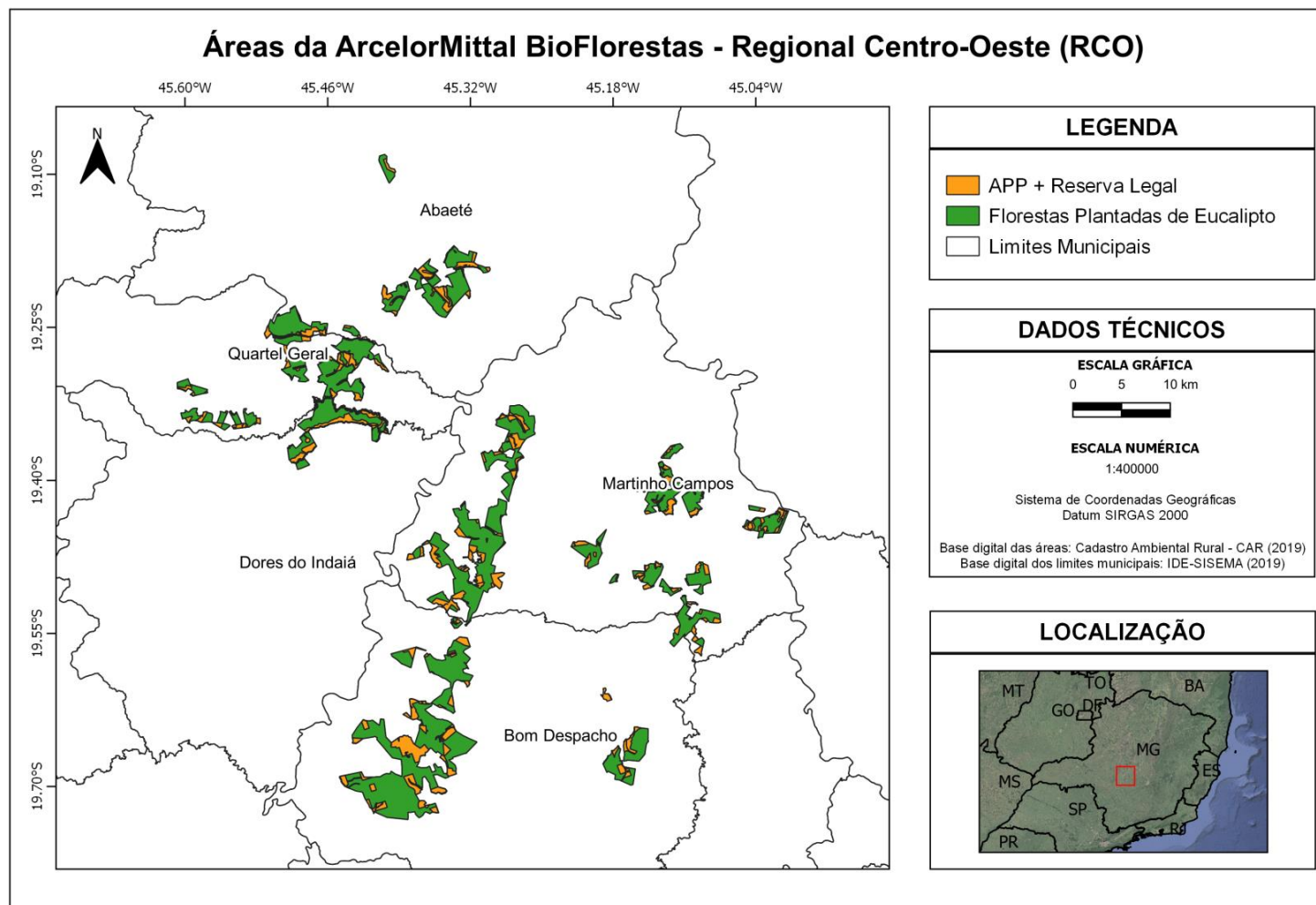
TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). **GEOgraphia**, v. 18, n. 36, p. 170-182, 2016.

TORRES, F. T. P.; ROQUE, M. P. B.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; FARIA, A. L. L. de. Mapeamento do risco de incêndios florestais utilizando técnicas de geoprocessamento. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00025615, 2017.

TORRES, F. T. P.; TORRES, C. M. M. E.; LIMA, G. S.; MARTINS, S. V.; MENDES, A. E. de O.; PADOVANI, M. T. de; SIQUEIRA, R. G.; MOREIRA, G. F.; VALVERDE, S. R. ANÁLISE DO PERFIL DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PARQUE ESTADUAL DA SERRA DO BRIGADEIRO E ENTORNO (MG). **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1008-1021, 2018.

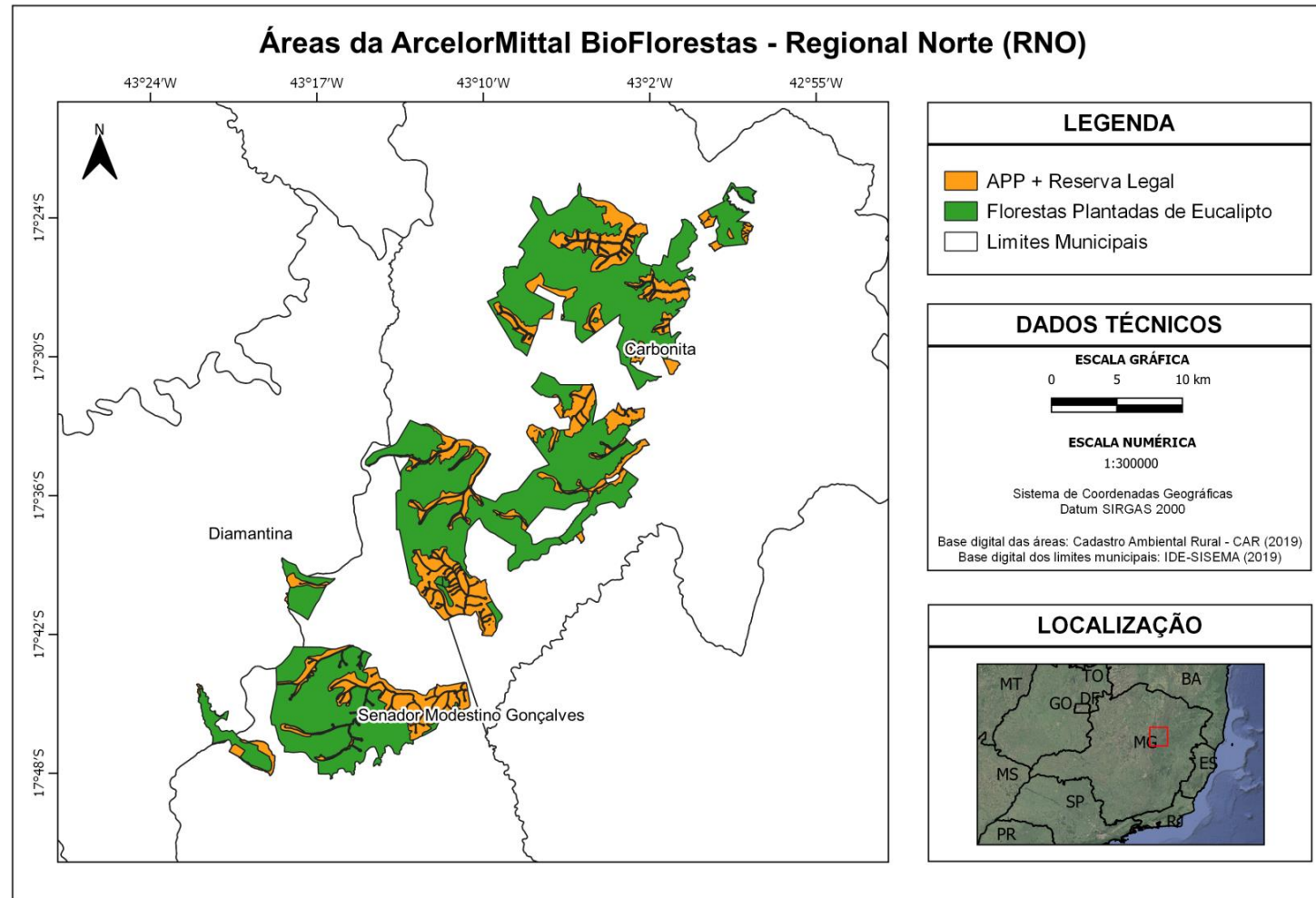
WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; SOUZA, R. M. Fire behavior predicting models efficiency in Brazilian commercial eucalypt plantations. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 389-396, 2016.

APÊNDICE A - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Centro-Oeste de Minas Gerais

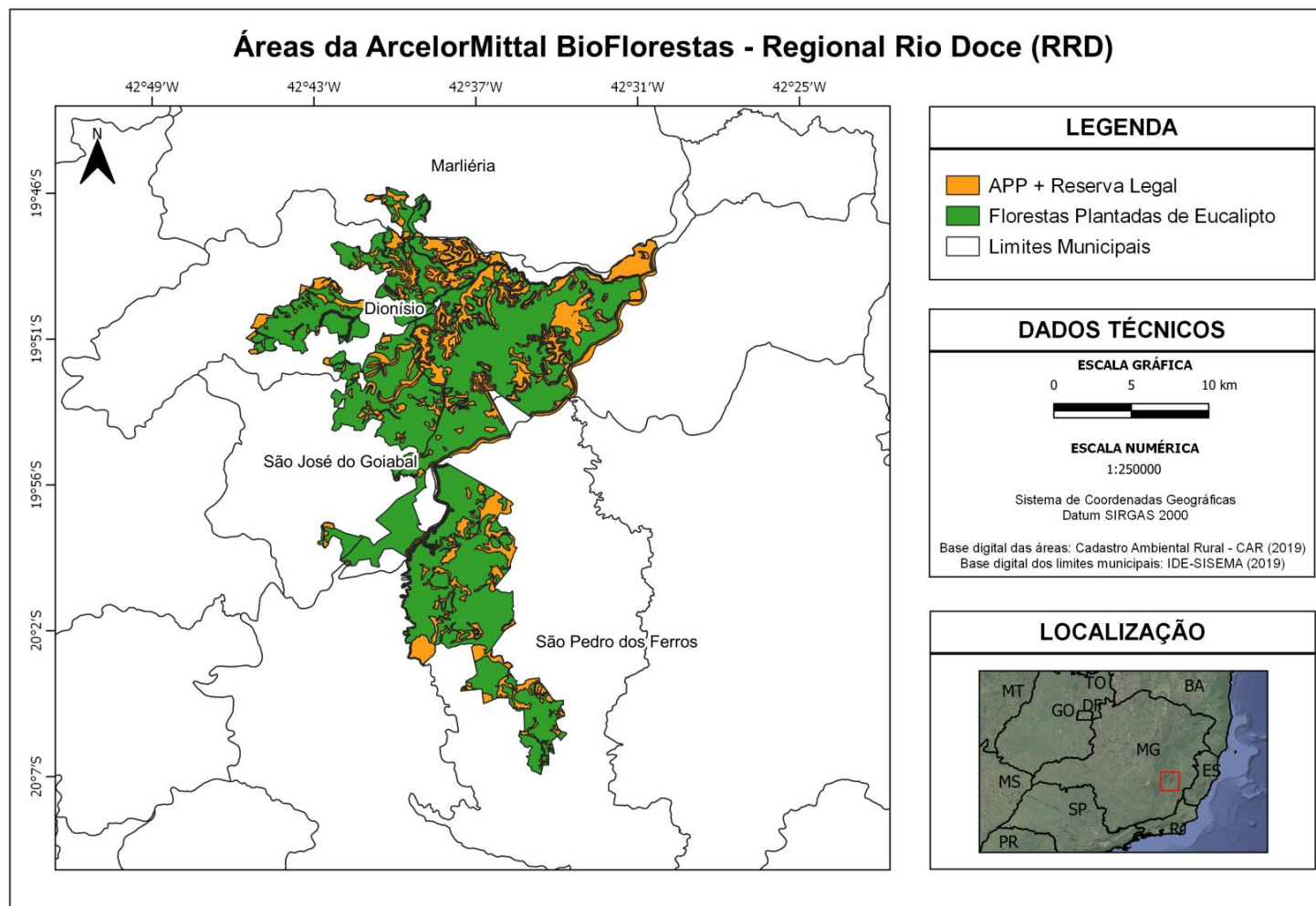
Fonte: A autora.

APÊNDICE B - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Norte de Minas Gerais



Fonte: A autora.

APÊNDICE C - Mapa de localização da unidade da empresa situada na região Rio Doce de Minas Gerais



Fonte: A autora.