



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Modelagem de agentes relacionados com o setor madeireiro na região Norte do Mato Grosso

Lucas Gustavo de Alvarenga Landini

Relatório final de Iniciação Científica,
orientada pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada e Ms. Vinicius do Prado
Capanema, com colaboração do Dr.
Pedro Ribeiro Andrade

São José dos Campos – SP
2021



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Modelagem de agentes relacionados com o setor madeireiro na região Norte do Mato Grosso

Lucas Gustavo de Alvarenga Landini

Relatório final de Iniciação Científica,
orientada pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada e Ms. Vinicius do Prado
Capanema, com colaboração do Dr.
Pedro Ribeiro Andrade

São José dos Campos – SP
2021

RESUMO

Este trabalho visa dar continuidade ao estudo de Carvalho et al. (2019), que desenvolveu um modelo de agentes para reproduzir os processos de crescimento, exploração e regeneração da floresta em áreas de plano de manejo florestal na região de Sinop, MT. O modelo usa parâmetros de exploração seletiva baseados em dados de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e de pesquisas bibliográficas. O modelo investiga a resposta da floresta mediante diferentes cenários de exploração madeireira na região norte de Mato Grosso. O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um submodelo econômico que deverá ser acoplado ao modelo já desenvolvido. Este submodelo foi desenvolvido a partir das equações econômicas-financeiras propostas por Macpherson et. al. (2010), usando parâmetros obtidos a partir de dados de campo e pesquisas bibliográficas. Para propor o submodelo conceitual, foram considerados os fatores propostos por Farias et. al. (2017), que representam a eficiência operacional na exploração, investimentos e custos para a viabilidade da exploração em áreas de PMFS com adoção de técnicas de impacto reduzido (*Reduct Impact Logging* ou RIL). Para explorar diferentes possibilidades futuras com este modelo, foram desenvolvidos cenários de maior ou menor controle da atividade madeireira. Foram considerados fatores relacionados com a fiscalização, valor de multas, mediante ao não cumprimento das normas recomendadas pela legislação e, o preço da madeira. Nas próximas etapas, o submodelo econômico deverá ser concluído e os cenários futuros serão explorados, com projeções para 30, 60 e 90 anos.

Palavras-chave: Exploração seletiva, impacto reduzido, Uso e cobertura, Modelo de Agentes, investimento.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
3.1 - Localização da área de estudo	11
3.2 - Mapa da área do PMFS representado por células de 1 ha	12
3.3 - Número de árvores nas células do PMFS no ano inicial	14
4.1 - Regime acelerado e diferentes valores de GAP	21
4.2 - Regime lento e diferentes valores de GAP	21
4.3 - Comparativo de volume extraído em cenário de crescimento acelerado	21
4.4 - Comparativo de volume extraído em cenário de crescimento lento	22

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Cronograma de atividades propostas.	9
3.1 - Distribuição das árvores nas células no tempo inicial	13
3.2 - Fatiamento dos valores de GAP para indicação da adoção da estratégia de exploração do PMFS e a intensidade de exploração em caso de ilegalidade.	18
3.3 - Cenários idealizados com base em consulta da literatura	19

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1 objetivos Específico.....	9
2. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS.....	9
3. METODOLOGIA	10
3.1 Área de Estudo.....	10
3.2 Dados.....	11
3.3 Procedimentos Metodológicos	12
3.3.1 Procedimentos metodológicos para geração do submodelo econômico.....	15
3.3.2 Pesquisa Bibliográfica Para o Modelo Econômico	15
3.3.3 Proposta do submodelo econômico	17
3.3.4 Cenários	19
4. RESULTADOS	20
5. CONCLUSÕES.....	23

1. INTRODUÇÃO

A exploração seletiva é uma atividade bastante relevante na Amazônia brasileira. Ela pode ser definida como um conjunto de técnicas empregadas para o corte seletivo, orientado por métodos específicos de inventário e colheita, das árvores sadias de espécies comerciais (Johns 1985). De acordo com os dados divulgados pelo Sistema Nacional de Informações Florestais (SNIF), em 2016, foram extraídos aproximadamente 11,45 milhões de m³ de madeira (SNIF 2017), sendo os estados do Pará e Mato Grosso os principais produtores. Os últimos dados do Centro das Indústrias Produtoras e Exportadoras de Madeira do Estado de Mato Grosso (CIPEM) indicam que em 2017 esse montante foi de 3,6 milhões de m³ no Mato Grosso.

De acordo com a legislação brasileira, a extração de madeira pode ser realizada por meio de Planos de Manejo Florestal Sustentáveis (PMFS) ou por Planos de Exploração Florestal (PEFs) (MATO GROSSO 2006a, 2014). Os PMFSs são provenientes de estudos técnicos que contêm regras específicas de manejo sustentável da floresta para extração da madeira mediante ao menor impacto ambiental possível (MMA 2019). Os PEFs são planos de extração e aproveitamento de madeira e lenha de áreas de floresta que serão convertidas em uso alternativo do solo (MATO GROSSO 2006b). Ambos os sistemas possuem regras específicas e a extração em desacordo com essas regras torna essa atividade ilegal e passível de punição. A extração ilegal ou predatória da madeira também pode estar associada à exploração da floresta sem autorização prévia dos órgãos competentes.

A extração ilegal pode causar alterações severas na estrutura da floresta. Dependendo da intensidade, a exploração seletiva pode causar perdas de até 40% do dossel da floresta e até 20% do solo fica exposto devido ao estabelecimento da infraestrutura para a exploração (Verissimo et al. 1992, Uhl and Vieira 2006). A retirada das árvores de valor comercial pode causar também danos acidentais nos indivíduos remanescentes. Além disso, a exploração seletiva tem sido apontada como uma das causas da fragmentação florestal, ampliando efeitos de borda na cobertura florestal do bioma Amazônia. Broadbent et al. (2008) destacam ainda que, de 1999 a 2002, houve um aumento de 48% na quantidade de bordas decorrentes

do desmatamento nos estados do Pará, Acre, Rondônia e Mato Grosso. Quando combinados, desmatamento e exploração seletiva, o aumento da quantidade de bordas passou a ser de 53% do total de floresta analisada no mesmo período. Rondon et al. (2012) apontaram que a exploração seletiva intensa e recorrente favorece ao aparecimento e ampliação de grandes manchas de solo exposto na cobertura florestal, podendo levar ao longo do tempo, à eliminação completa dessa cobertura.

Sabe-se que a exploração seletiva de madeira na Amazônia é um importante fator que contribui para os impactos sociais e ambientais da região. Essa atividade demonstra alta complexidade, pois envolve diferentes agentes que se relacionam de maneira dinâmica entre si e com outros setores. Além da importância econômica, aspectos ambientais devem ser considerados, pois a extração de madeira, quando não executada corretamente, resulta em degradação florestal que, juntamente com o desmatamento, é responsável por grande parte da emissão de carbono das florestas para a atmosfera.

O principal objetivo deste trabalho é investigar a resposta da floresta mediante diferentes cenários de exploração madeireira. Neste contexto, o presente trabalho buscou identificar os principais agentes envolvidos em atividades madeireiras na Amazônia, bem como as relações entre eles, a partir da revisão da literatura e do conhecimento de especialistas a partir da interação com o grupo de pesquisadores envolvido neste trabalho. Em trabalho prévio, desenvolvido por Carvalho et al. (2019), foram identificados os principais parâmetros de exploração seletiva por meio de Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) e aqueles associados aos parâmetros de crescimento e regeneração da floresta extraídos da literatura, tais como taxa de mortalidade, taxa de crescimento diamétrico anual, taxa de nascimento, dentre outros (OLIVEIRA, 2005; BRASIL, 2009; BORGES et al., 2018; ANDRADE et al., 2019; CANETTI, 2019). No presente trabalho elaborou-se e implementou-se um submodelo econômico com base nos parâmetros utilizados por Farias et. al. (2017), por meio de pesquisa bibliográfica e de dados obtidos com trabalho de campo.

1.1 Objetivos Específicos

No contexto da exploração florestal, considerando os submodelos de exploração seletiva de crescimento e regeneração florestal desenvolvidos por Carvalho et al (2019), foram delineados os seguintes objetivos específicos:

1. Elaborar o submodelo conceitual econômico com base nos trabalhos de Farias et al. (2017) e Macpherson (2010);
2. Implementar o submodelo econômico baseado nos parâmetros obtidos na etapa anterior;
3. Elaborar cenários de extração de madeira com diferentes políticas públicas associadas à exploração florestal;
4. Realizar simulações da cobertura florestal com base nos cenários formulados.

2. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO DOS TRABALHOS E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Nesta seção são apresentados o cronograma e a descrição das atividades realizadas. As atividades foram executadas com base no cronograma estabelecido no plano de trabalho enviado no início do período de vigência da bolsa de iniciação científica. O cronograma proposto pode ser observado na Tabela 1 e a descrição das etapas é feita a seguir.

Tabela 2.1 - Cronograma de atividades propostas

Etapas	Jul/Ago	Set/Out	Nov/Dez	Jan/Fev	Mar/Abr	Mai/Jun/Jul
1	■	■				
2		■				
3			■			
4				■	■	
5					■	■
6						■
7					■	■
8						■
9						■

1. Desenvolvimento do submodelo econômico generativo;

2. Implementação computacional do submodelo econômico com a plataforma TerraME;
3. Refinar os submodelos de exploração e crescimento florestal propostos por Carvalho et al. (2019);
4. Realizar a integração dos submodelos de exploração, crescimento e econômico;
5. Elaborar os cenários e gerar resultados a partir do modelo;
6. Análise dos resultados;
7. Redação de relatório técnico;
8. Redação do artigo científico.
9. Disponibilizar os modelos através de um pacote TerraME. Esta atividade requer que sejam implementados testes para os diferentes componentes dos modelos, assim como documentação e organização do código de acordo com o processo definido pelo TerraME.

Das atividades propostas no plano de trabalho, foram cumpridas as atividades descritas nos itens 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7. As demais atividades não foram cumpridas no período de vigência da bolsa, por dependerem da finalização das atividades anteriores, que precisaram de mais tempo do que foi planejado para serem concluídas. As atividades 5 e 6, que se referem a elaboração de cenários e análise de resultados, foram parcialmente realizadas. Espera-se que, com a continuidade da pesquisa, obtenha-se novos cenários que possam ser explorados, simulados e analisados para a elaboração do artigo científico (item 8). As atividades realizadas são detalhadas nas subseções seguintes. As atividades não cumpridas, devido à deverão ser realizadas no segundo ano da bolsa, caso aprovada. Nas seções a seguir, são detalhadas as atividades realizadas com base no plano de trabalho proposto.

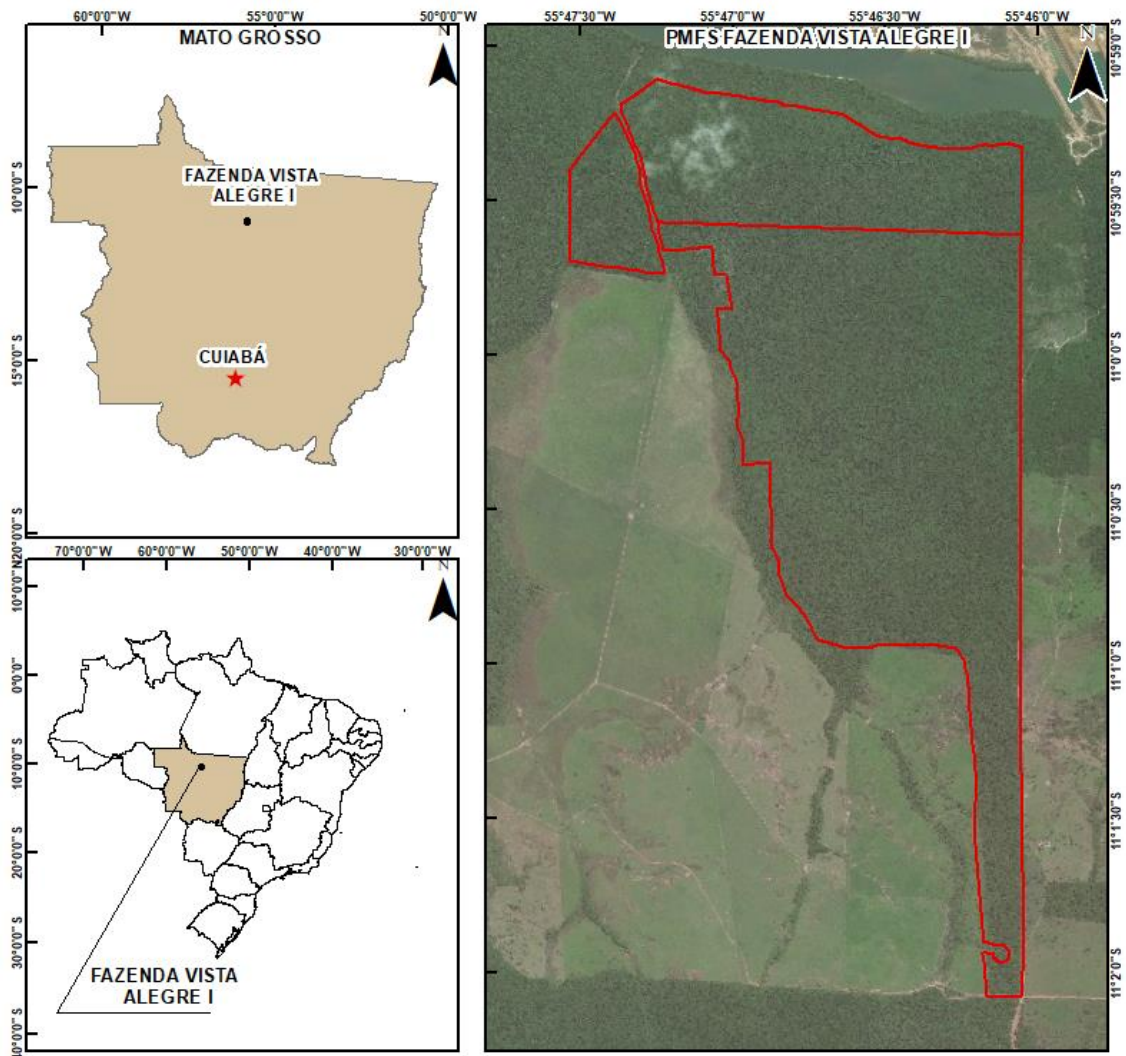
3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A área de estudo se localiza no norte do estado de Mato Grosso, mais precisamente no município de Itaúba-MT. Esta região encontra-se inserida em uma região de intensa exploração madeireira e contribui efetivamente para o

setor extrativista vegetal das florestas nativas do estado. A área de estudo pode ser observada na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Localização da área de estudo



3.2 Dados

Os dados usados neste estudo foram derivados de dados do PMFS presente na área de estudo. Estes dados foram disponibilizados pela empresa responsável pela elaboração e execução do PMFS no local. Os dados incluem a planilha do inventário florestal 100% da área (IF100%) contendo:

- O número de árvores total da área;
- O número de árvores de corte;

- O número de árvores remanescentes;
- O número de árvores porta sementes;
- O número de árvores proibidas de corte e não comerciais.

Além desses dados, foram disponibilizados dados referentes à distribuição espacial das árvores ao longo da área de estudo.

3.3 Procedimentos Metodológicos

Foi usada como referência uma área de um PMFS composta por 722 células de 1 ha. A área inclui um conjunto de 9.813 árvores classificadas (Figura 3.2) de acordo com a medida de Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

Figura 3.2 - Mapa da área do PMFS representado por células de 1 ha.

Modelo de exploração:



Fonte: Carvalho et al. (2019)

Árvores maiores do que 30 centímetros de DAP são classificados pela sua destinação: árvore de corte, porta semente (PS), proibida de corte, não comercial e remanescente. As árvores remanescentes são as árvores pertencentes às classes 4 e 5 que não são cortadas. As demais classificações de destino estão distribuídas nas classes 6 a 9. As árvores com DAP abaixo de 30 centímetros são árvores em crescimento, com menor valor comercial, proibidas de corte e, portanto, sem destinação.

A Tabela 3.1, mostra como essa divisão foi feita para algumas células da área de estudo, observando-se a quantidade de árvores organizadas por classes e pelas suas destinações. Por exemplo, na célula c26l00 existe uma árvore na classe diamétrica 1; três árvores na classe diamétrica 2 e; duas árvores nas classes diamétricas 4 e 5. Nesta célula não há árvores que representam as demais classes. Todas as árvores acima de 30 cm de DAP (> c3), nesta célula, são remanescentes, quando observamos as classes de destinação.

Tabela 3.1 - Distribuição das árvores nas células no tempo inicial

Identificação da célula	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8	c9	corte	não comercial	Porta semente	Proibida de corte	Remanescente
c26l00	1	3	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	4
c27l00	1	3	3	1	4	2	2	0	1	5	0	0	0	5
c26l01	2	5	0	3	3	0	5	2	4	9	1	1	0	6

Fonte: Carvalho et al. (2019)

O período de simulação da exploração é de 90 anos, com corte em intervalos de 30 anos, respeitando a intensidade de corte preconizada na legislação de 30 m³/ha. Os parâmetros de incremento de diâmetro anual (IDA) e taxa de recrutamento e mortalidade foram baseados nos autores pesquisados (FARIAS et al.; 2017; MACPHERSON et al.; 2010), usando a equação (3.1).

$$Q_f = Q_i * ((1 + N)^{\Delta t} - 1) \quad (3.1)$$

Sendo:

Q_f = Quantidade final de árvores

Q_i = Quantidade inicial de árvores

N = Taxa de natalidade

Δt = Passo de tempo anual

A Figura 3.3 mostra a representação das células com o respectivo número de árvores no ano inicial, antes da exploração. As células que apresentam maior número de árvores são apresentadas em tons mais escuros.

3.3.1 Procedimentos metodológicos para geração do submodelo econômico

Segundo FARIAS et al. (2017), há indícios de que o baixo emprego de tecnologias adequadas causa um alto impacto ambiental na exploração madeireira da Amazônia brasileira. Entretanto, por meio de uma economia evolucionária com foco na sustentabilidade, pode-se estabelecer uma maior eficiência operacional da exploração madeireira. Para isso, deve-se adotar técnicas de silvicultura de impacto reduzido (*Reduced impact logging* ou RIL) ao invés da exploração convencional e predatória (*Conventional Logging* ou CL). O modelo econômico de exploração florestal de MACPHERSON et al. (2010), prevê formas de estabelecer parâmetros para avaliar aspectos da economia da exploração madeireira a partir de custos fixos, custos variáveis e investimentos. Os autores incluem, ainda, uma formulação para estimar a probabilidade de detecção de ilegalidade e a aplicação de multas. No submodelo econômico desenvolvido nesse trabalho, que se baseou na formulação MACPHERSON et al. (2010), foram utilizados como parâmetros o preço da madeira, valor de multas e intensidade de fiscalização, em uma formulação simplificada, sem considerar a receita, que se baseia na análise de custos e investimentos, para a geração de cenários. O modelo econômico de MACPHERSON et al. (2010) é apresentado na seção 3.3.2.

3.3.2 Pesquisa Bibliográfica Para o Modelo Econômico

No modelo econômico adaptado por MACPHERSON (2010), a receita bruta $E(\pi)$ envolve diversas variáveis e fórmulas para cálculos de bonificações, royalties e títulos por cumprimento de contratos, etc. O modelo utiliza uma equação simples de receita líquida para a exploração. A receita líquida de exploração é definida como:

$$\pi_t = \sum_{ij} ((1 - waste)p_{ij}h_{ijt} - vc_{ij}h_{ijt}) - fc \quad (3.2)$$

π_t = Receita líquida no tempo t .

i = É dividido em 5 grupos de espécies: espécies pioneiras, espécies que exigem luz, espécies intermediárias, espécies tolerantes à sombra e espécies emergentes.

j = São divididos de acordo com o diâmetro mínimo de corte. No intervalo de valores de 0 a 9 cm para o grupo de índice $j = 1$, 10 a 19 cm para o grupo 2 e assim por diante até o grupo $j = 9$ incluindo todas as maiores que 80 cm.

$waste$ = Porcentagem de madeira coleta que não foi vendida

p = Preço da árvore por volume.

h = Volume coletado no período t .

vc = Custo variável durante a exploração

fc = Custo fixo.

Na implementação do modelo, i é considerado uma espécie genérica, sendo que j respeita o DMC maior ou igual a 40 cm.

Durante o ciclo de corte, o retorno do investimento é calculado através do valor presente líquido, definido por:

$$\delta = \frac{1}{(1+r)} \quad (3.3)$$

Sendo r , a taxa mínima de atratividade igual a 9,5%. Onde um investimento deve remunerar o investidor para que seja considerado uma aplicação viável.

Assim, o NPV é definido como:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \delta^t \pi_t \quad (3.4)$$

Onde t é tempo em ano.

Para a multa e detecção de ilegalidade considera-se a probabilidade do agente ser atuado. A probabilidade de ser atuado devido a comportamento de ilegalidade é definida como:

$$\theta(x) = \frac{1}{(1 + \theta^{-x})} \quad (3.5)$$

Onde x é:

$$x = h_{illegal} + \eta\omega_{illegal} \quad (3.6)$$

$h_{illegal}$ = com base no limite de 30 m³/hectares dado por:

Se $h \leq 30\text{m}^3/\text{ha}$, $h_{illegal} = 0$

Se $h > 30\text{m}^3/\text{ha}$, $h_{illegal} = h - 30$

$\omega_{illegal}$ = O grau de não adoção ao regime de exploração por manejo florestal, que varia entre 0 e 1. Sendo 0 a adoção total e 1 nenhuma adoção.

η = Tem o mesmo peso de $h_{illegal}$.

$\theta(x)$ é a probabilidade de ser autuado, variando entre 0 e 1.

3.3.3 Proposta do submodelo econômico

Com base na equação 3.5 foi elaborada a equação para o submodelo econômico baseada no preço da madeira, valor de multas e intensidade de fiscalização.

A aplicação e o valor das multas seguem o dispositivo legal publicado no Decreto Nº 6.514, de 22 de Julho de 2008, com base no artigo. 47 da subseção II que estabelece infrações para ações contra a flora, determinando que o agente que *“Receber ou adquirir, para fins comerciais ou industriais, madeira serrada ou em tora, lenha, carvão ou outros produtos de origem vegetal, sem exigir a exibição de licença do vendedor, outorgada pela autoridade competente, e sem munir-se da via que deverá acompanhar o produto até o final do beneficiamento, deverá pagar multa de R\$ 300,00 (trezentos reais) por unidade, estéreo, quilo, mdc ou metro cúbico aferido pelo método geométrico”*.

Esse valor de multa estabelecido pela legislação foi utilizado na formulação do modelo. Para o valor da madeira

A hipótese do modelo parte do princípio de que o preço da madeira (PMAD), valor da multa (PMUL) e a fiscalização (FISC) são variáveis que se relacionam entre si e influenciam na possibilidade de ocorrer infração de não cumprimento das regras do PMFS. O submodelo econômico é descrito na equação 3.7,

$$GAP = \frac{PMAD}{(PMUL+PMAD)*FISC} \quad (3.7)$$

onde:

GAP é o valor do submodelo econômico;

PMAD é o preço da madeira em R\$/m³;

PMUL é o valor das multas aplicadas em caso de ilegalidade em R\$/m³ e;

FISC é a intensidade da fiscalização, que pode variar de 0,1 a 1.

Para estabelecer o valor de FISC da Equação 3.7, foram idealizados fatiamentos no valor de GAP para representar a adoção de métodos do PMFS e a intensidade de exploração. Na prática, esta etapa indica a chance da floresta ser explorada ilegalmente pelos agentes exploradores de madeira. Com base nas classes diamétricas e nas classes de destinação das árvores do dado de entrada, foram idealizados fatiamentos para o valor de GAP, observados na Tabela 3.3, que indicam diferentes estratégias de exploração utilizadas considerando diferentes cenários de fiscalização e de preços da madeira.

Tabela 3.2 – Fatiamento dos valores de GAP para indicação da adoção da estratégia de exploração do PMFS e a intensidade de exploração em caso de ilegalidade.

Intervalo de valores de GAP	Nomenclatura de GAP	Estratégia de exploração
GAP <= 1,2	GAP 0	PMFS
GAP entre 1,2 e 2,2	GAP 1	Sem PMFS, explora porta sementes.
GAP entre 2,2 e 3,2	GAP 2	Sem PMFS, explora DAP < 50 e porta sementes.
GAP > 3,2	GAP 3	Sem PMFS, explora todas as árvores possíveis.

Fonte: Produção do autor

Após a elaboração da equação do submodelo econômico, foi realizada a etapa de implementação computacional. Esta etapa consiste em combinar os

submodelos de exploração e crescimento elaborados por Carvalho et al (2019). Com base nos valores numéricos do resultado do submodelo econômico, os agentes decidem se adotam ou não a estratégia de exploração a partir das regras do PMFS. Em caso negativo, ainda com base no valor numérico do submodelo de exploração, os agentes decidem qual a intensidade da exploração a ser realizada na floresta.

3.3.4 Cenários

Com base em consultas à literatura e no valor de multas aplicadas em casos reais de fiscalização, foram elaborados dois cenários fictícios relacionados à exploração de madeira na região norte de Mato Grosso. No primeiro cenário os parâmetros utilizados de crescimento da floresta, baseiam-se nos estudos realizados por Carvalho et al. (2019), e representam crescimento florestal mais lento e, no segundo cenário, os parâmetros representam um crescimento mais acelerado. O PMAD é definido com valor de 300 R\$/m³ em média e a multa estabelecida pela lei em R\$ 300 R\$/m³, sendo o FISC o parâmetro que varia de acordo com o cenário de fiscalização estabelecido. Conforme mencionado anteriormente, quando maior o valor de GAP, maior a chance da floresta ser explorada ilegalmente. Os parâmetros de taxa de crescimento diâmetro e taxa de nascimento e mortalidade com base nos autores pesquisados, são apresentados na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Cenários idealizados com base em consulta da literatura.

Cenário	PMAD (R\$/m ³)	PMUL (R\$/m ³)	FISC (0,1 – 1)	Estudos sobre crescimento diamétrico	Taxa de mortalidade	Taxa de nascimento
Acelerado	300	300	variável	OLIVEIRA (2005)	2,77	3,54
Lento	300	300	variável	BORGES (2018)	2,77	3,54

Fonte: Produção do autor

4. RESULTADOS

Foram gerados resultados da quantidade de árvores retiradas da floresta, volume extraído, total de árvores ao final do corte e o volume útil, que se refere à volumetria florestal que após o ciclo de corte, pode ser extraída comercialmente, juntamente com os diferentes valores de GAP. Nas tabelas seguintes, as setas indicam o ganho da floresta em relação ao número de árvores, volume extraído, total de árvores após a exploração e o volume útil restante na floresta. O critério estabelecido para a definição de cores das setas baseia-se na divisão de faixas de 20%, sendo que as setas vermelhas representam faixa entre 0% e 20% (vertical para baixo); as setas laranjas em escala descendente representam faixa de 20% a 40% (diagonal para baixo), 40% a 60% (horizontal), 60% a 80% (diagonal para cima). E por fim as setas verdes, representam de 80% a 100% (vertical para cima).

Figura 4.1 – Regime acelerado em diferentes valores de GAP

Com Manejo					
Ciclo	Árvores retiradas	Volume extraído	Total de árvores final	Volume útil após exploração	
0º Ano	⇒	2220 ⇒	7403,48 ↘	7592 ↑	10207,75
30º Ano	↑	1173 ↑	3912,66 ⇒	8603 ⇒	6778,85
60º Ano	↑	1282 ↑	4576,36 ↗	9934 ⇒	6569,71
90º Ano	↗	1673 ↗	5579,29 ↑	11317 ↗	8148,76
Porta semente					
0º Ano	⇒	2281 ⇒	7605,52 ↘	7531 ↑	8722,67
30º Ano	↗	1461 ↑	4871,19 ⇒	8208 ↘	4439,44
60º Ano	↑	1180 ↑	3936,45 ↗	9505 ↘	4823,71
90º Ano	↗	1657 ↗	5524,88 ↑	10764 ⇒	6313,33
PS e remanescentes					
0º Ano	↓	4161 ↓	13874,77 ↓	5651 ↑	9811,96
30º Ano	↑	786 ↑	2620,68 ↓	6583 ↓	2017,07
60º Ano	↗	1608 ↗	5362,88 ↘	6995 ↘	4054,14
90º Ano	↗	1669 ↗	5567,06 ↘	7492 ↘	4297,52

Fonte: Produção do autor

O cenário acelerado se destaca pela forte regeneração da floresta no decorrer dos ciclos. Com o manejo, observa-se indicadores positivos e com alta recuperação. Para um nível de GAP onde as árvores porta-sementes (PS) são exploradas, há uma perda considerável em volume útil após exploração. No GAP onde são retiradas as PS e as remanescentes, pode-se observar baixas acentuadas no começo e maior retirada de árvores para extrair volumes para venda.

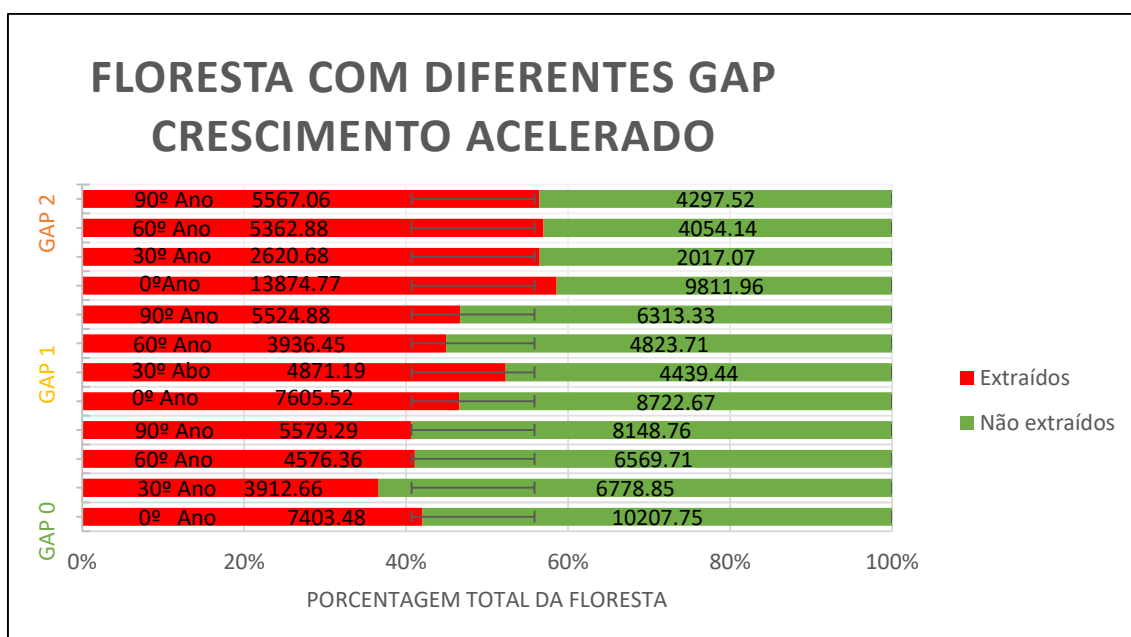
Figura 4.2 – Regime lento e diferentes valores de GAP

Com Manejo	Árvores retiradas	Volume extraído	Total de árvores final	Volume útil após exploração	
Ciclo					
0º Ano	→	2220 →	7403,48 ↘	7592 ↑	10207,75
30º Ano	↑	1029 ↑	3431,66 →	8717 →	5861,06
60º Ano	↑	835 ↑	2784,55 ↘	10608 ↘	4905,64
90º Ano	↑	900 ↑	3003,85 ↑	13028 →	5717,43
Porta semente					
0º Ano	→	2281 →	7605,52 ↘	7531 ↑	8722,67
30º Ano	↘	1282 ↘	4274,21 ↘	8368 ↘	3793,85
60º Ano	↑	770 ↑	2570,37 ↘	10190 ↘	3276,02
90º Ano	↑	796 ↑	2656,32 ↑	12603 ↘	4391,83
PS e remanescentes					
0º Ano	↓	4161 ↓	13874,77 ↓	5651 ↑	9811,96
30º Ano	↑	524 ↑	1749,64 ↓	6813 ↓	1393,61
60º Ano	↑	879 ↑	2933,42 ↘	8128 ↓	2320,46
90º Ano	↘	1439 ↘	4800,14 →	9209 ↘	3814,09

Fonte: Produção do autor

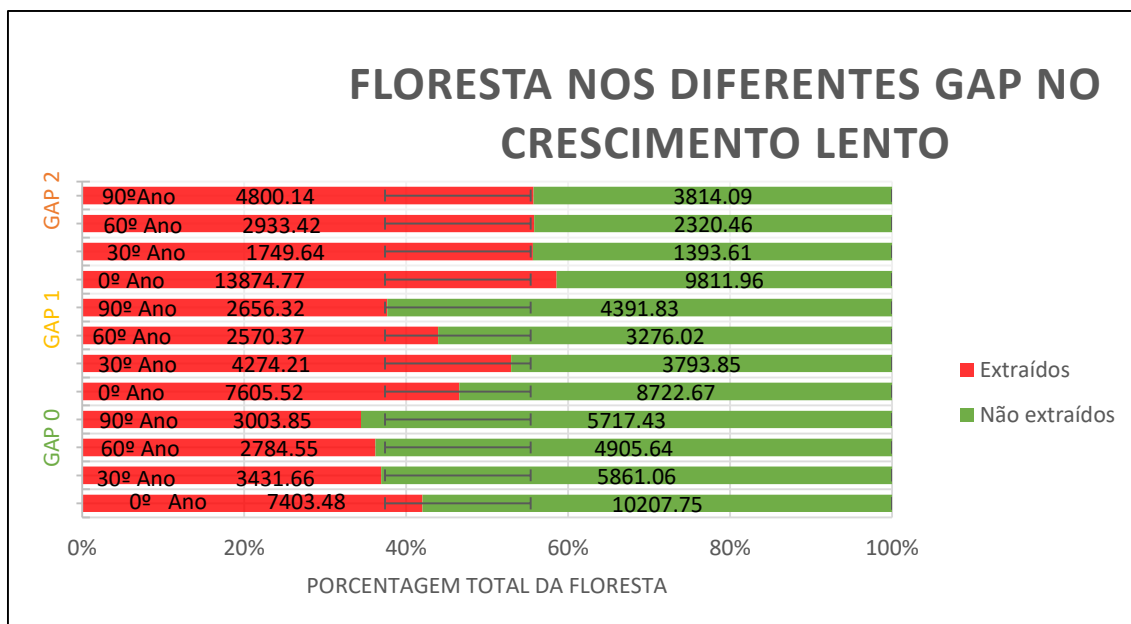
O cenário lento se caracteriza por ser muito sensível à retirada de árvores, mesmo com manejo e, conseqüentemente a floresta, apresenta maiores limitações para se regenerar. Em qualquer nível de GAP sem manejo ocorre queda acentuada de volume útil da floresta e a torna sensível a desmatamento. A quantidade de árvores extraídas comparada com o total da floresta em cada ciclo e nos diferentes GAP, pode ser vista nas Figuras 7 e 8.

Figura 4.3 – Comparativo de volume extraído em cenário de crescimento acelerado



Fonte: Produção do autor

Figura 4.4 – Comparativo de volume extraído em cenário de crescimento lento



Fonte: Produção do autor

Nos métodos com manejo ou GAP 0 nunca é extraído mais do que 50% da floresta. No GAP 1, a extração chega a mais da metade da floresta em algum dos ciclos de corte, durante o período de exploração. Em GAP 2, sempre é retirada mais da metade da floresta, independente da regeneração da floresta. Isto significa dizer que as intensidades de exploração são maiores onde as regras não são seguidas ou onde não há presença de PMFS. Com base nesses resultados, é importante destacar a importância dos PMFSs para a manutenção dos recursos florestais. O PMFS garante extração de matéria prima assegurando a perpetuação das espécies exploradas e garantindo a seguridade da atividade de exploração seletiva.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou elaborar um submodelo econômico integrado aos submodelos de exploração e crescimento propostos por Carvalho et al 2019. Para este submodelo, foram considerados os estudos de Macpherson (2010) e de Farias et al. (2017) e, associados à exploração seletiva com variáveis como o preço da madeira, o valor das multas aplicadas em caso de ilegalidade e a intensidade de fiscalização.

Foi obtida a equação do submodelo econômico, chamada de GAP, que considera as variáveis preço da madeira, valor das multas e intensidade da fiscalização. A implementação computacional foi feita utilizando a linguagem de programação Lua na plataforma TerraME. Essa implantação consistiu na junção dos submodelos de crescimento e exploração propostos por Carvalho (2019) com o submodelo econômico GAP.

Os cenários elaborados consideraram diferentes valores de GAP em duas intensidades de crescimento florestal: um de crescimento lento e outro de crescimento acelerado. O cenário lento mostrou ser muito sensível à retiradas de árvores, mesmo com a aplicação das técnicas de PMFS, mostrando que a floresta tem dificuldades para se regenerar. O cenário acelerado se caracterizou pela alta capacidade de regeneração da floresta no decorrer dos ciclos. Com a aplicação das técnicas de PMFS, foi observada alta capacidade de regeneração florestal, decaindo à medida que a floresta é explorada, sem seguir as técnicas de PMFS.

Por fim, é importante destacar que o modelo se mostrou sensível à seleção dos parâmetros de crescimento, o que evidencia a importância de se realizar uma seleção criteriosa destes parâmetros para as simulações. Também é importante destacar a relevância das técnicas de PMFSs para a exploração da floresta. Os resultados das simulações revelaram que quando a floresta é explorada usando as técnicas de PMFSs, os efeitos sobre o ecossistema florestal são minimizados. Este fato evidencia importância de se incentivar o uso das técnicas de PMFS para a exploração de madeira na Amazônia, pois por meio dos PMFSs é possível garantir a exploração madeireira assegurando a manutenção dos ecossistemas

florestais explorados. Políticas públicas de incentivo ao manejo florestal sustentável devem ser encorajadas, assim como novos estudos que identifiquem as limitações existentes nos métodos atuais de exploração.

Referências Bibliográficas

- Andrade, D.F.C.; Gama, J.R.V.; Ruschel, A.R.; Melo, L.O.; De Avila, A.L.; De Carvalho, J.O.P. 2019. Post-fire recovery of a dense ombrophylous forest in amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 91: 1–11.
- Barbosa, W. M.; Modelagem Das Operações De Extração Madeireira Em Regime De Manejo Sustentável Na Amazônia: Estudo De Caso De Um Sistema De Exploração. **Faculdade De Tecnologia Universidade De Brasília-UnB**. 2018.
- Borges, A.D.; Mattos, P.P.; Braz, E.M.; Canetti, A.; Basso, R.O. 2018. *Padrão de crescimento de cedrinho em condições de floresta natural no município de Santa Carmem, microregião de Sinop, MT.* .
- BRASIL**. DECRETO Nº 6.514, DE 22 DE JULHO DE 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências, Brasília, DF, jul 2008.
- BRASIL, C.N. do M.A. (CONAMA). 2009. *Resolução nº 406 de 02 de fevereiro de 2009*. 2–5p.
- Broadbent, E.N.; Asner, G.P.; Keller, M.; Knapp, D.E.; Oliveira, P.J.C.; Silva, J.N. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation*.
- Canetti, A. 2019. Estrutura, dinâmica e manejo sustentável em ecótono de floresta amazônica. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 156p.
- Carvalho, G. F. B.; et. al. Modelagem de agentes relacionados com o setor madeireiro na região do Sinop-MT. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO (SICINPE), 2019, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. On-line. Bolsa PIBIC/INPE/CNPq. IBI: <8JMKD3MGPDW34R/3U53D9H>.
- Emer, O. M. P; Melz L. J. Análise Dos Custos De Extração E Transformação De Madeira Em Cotriguaçu-MT: Estudo De Caso. **Revista UNEMAT de Contabilidade**, ano 1, n.1, jan./jun. 2012.
- Faria, H. A. B; Rivero, S. L. de M.; Diniz, M. J. T. Negative incentives and sustainability in the amazonian logging industry. **Nova economia**, Belo Horizonte, v. 27, n.3, p. 363-391. 2017.
- Johns, A.D. 1985. Selective logging and wildlife conservation in tropical rain-forest: Problems and recommendations. *Biological Conservation* 31: 355–375.

- Macpherson, Alexander & Carter, Douglas & Lentini, Marco & Schulz e,
Mark. (2010). Following the Rules: Brazilian Logging Concessions under
Imperfect Enforcement and Royalties. **Land Economics**, v. 86, n. 3, p. 493-
513. 2010.
- MATO GROSSO, E. DE. 2006a. Decreto nº 8.188, de 10 de outubro de 2006. .
- MATO GROSSO, E. DE. 2006b. Decreto nº 8.188, de 10 de outubro de 2006. .
- MATO GROSSO, E. DE. 2014. DECRETO Nº 2.152, DE 12 DE FEVEREIRO DE
2014. .
- MMA, M. do M.A. 2019. *Manejo Florestal Sustentável*.
(<http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustentavel>). Accessed
on 20 Sep. 2006.
- Oliveira, L.C. De. 2005. Efeito da exploração da madeira e de diferentes
intensidades de desbastes sobre a dinâmica da vegetação de uma área de
136 ha na floresta nacional do Tapajós. : 196.
- Rondon, X.J.; Cumming, G.S.; Cossío, R.E.; Southworth, J. 2012. The Effects of
Selective Logging Behaviors on Forest Fragmentation and Recovery.
International Journal of Forestry Research.
- SNIF. 2017. Boletim do Sistema Nacional de Informações Florestais. : 32.
- Uhl, C.; Vieira, I.C.G. 2006. Ecological Impacts of Selective Logging in the
Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region of the State
of Para. *Biotropica*.
- Verissimo, A.; Barreto, P.; Mattos, M.; Tarifa, R.; Uhl, C. 1992. Logging impacts
and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian
frontier: The case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*.