



## Planejamento da rede viária no manejo de floresta nativa utilizando SIG

Fidel Cândano ACOSTA <sup>1\*</sup>, Adalfredo Sousa DZIUBAT <sup>2</sup>, Gean Marcos Xavier da SILVA <sup>3</sup>,  
Marcos Leandro GARCIA <sup>4</sup>, José Luis Martínez CANTÓN <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

<sup>2</sup>Flora Projetos Ambientais, Sinop, MT, Brasil.

<sup>3</sup>Matricardi Agro Florestal e Ambiental, Sinop, MT, Brasil.

<sup>4</sup>Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta, MT, Brasil.

<sup>5</sup>Universidad de Pinar del Río, Cuba.

\*E-mail: fcandano23@gmail.com

Submetido em: 29/05/2023; Aceito em: 09/11/2023; Publicado em: 31/12/2023.

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo planejar a rede de estradas, pátios de estocagem de toras e trilhas de arraste na extração das árvores comerciais na floresta nativa com auxílio dos sistemas de informação geográfica (SIG). As camadas de informações consideradas foram: hidrologia, declividade do terreno e a distribuição das árvores comerciais. Foi calculada a densidade ótima de estradas (DOE) baseada no custo de arraste e no custo de estradas e pátios. A partir da estrada primária foram alocadas as estradas secundárias, os pátios e por fim se alocaram as trilhas primárias e as trilhas secundárias. De acordo com os cálculos da DOE, o espaçamento de 500 m entre estradas e o espaçamento entre pátios de 250 m apresentou o menor custo total. Quando comparado com o planejamento convencional, de 400 m entre estradas e 500 m entre pátios, a densidade de estradas diminuiu 5 m/ha, embora o número de pátios tenha aumentado de 18 para 26 e a área total da infraestrutura tenha sido iguais de 1,6 %, porém a produtividade do arraste de toras aumentou em 8,47 m<sup>3</sup>/h devido à diminuição da distância de arraste em 103,48 m e o custo total da colheita foi reduzido em R\$ 2,37/m<sup>3</sup>.

**Palavras-chave:** manejo florestal; custo mínimo; planejamento florestal com SIG.

## Road network planning in native forest management using GIS

**ABSTRACT:** The objective of the work was to plan the network of roads, log storage yards and skid trails in extracting commercial trees in the native forest with the aid of geographic information systems (GIS). The layers of information considered were hydrology, the slope of the land, and the distribution of commercial trees. The optimal road density (DOE) was calculated based on the cost of skidding and the cost of roads and storage yards. From the primary road, the secondary roads were allocated, then the courtyards, and finally, the primary and secondary skid trails were allocated. According to DOE calculations, the spacing of 500 m between roads and the spacing between yards of 250 m had the lowest total cost. When compared to conventional planning, of 400 m between roads and 500 m between yards, the density of roads decreased by 5 m/ha, although the number of yards increased from 18 to 26 and the total infrastructure area was equal to 1.6%, however log dragging productivity increased by 8.47 m<sup>3</sup>/h due to the reduction in the skidding distance by 103.48 m and the total harvest cost was reduced by R\$ 2.37/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** forest management; minimum cost; forest planning with GIS.

### 1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento madeireiro promove a manutenção da cobertura da Floresta Amazônica, caracterizada pela extração seletiva de poucas árvores comerciais maduras, permitindo o corte do volume de 30 m<sup>3</sup>/ha (SEMA 2009, 2022), permanecendo muitas árvores remanescentes para garantir os estoques futuros. Sendo assim, as atividades de extração impactam consideravelmente a estrutura do ecossistema, causando elevados custos das operações no curto período de tempo e com alto risco de acidentes para os funcionários envolvidos nas atividades. Porém, o planejamento das operações é a chave para minimizar danos, custos e aumentar a segurança dos funcionários de acordo com os resultados apontados por Winkler (1997), Laurance et al. (2009), Matricardi et al. (2010), Yamada et al. (2014), Boston (2016),

Elli et al. (2016), Kleinschroth; Healey (2017), Castro et al. (2018) e Hacisalihoğlu et al. (2019).

O planejamento da infraestrutura na exploração madeireira no Estado de Mato Grosso tem sido pautado pela progressão da legislação nos últimos 20 anos. Os diferentes decretos publicados pelos órgãos ambientais têm servido também para regulamentar e monitorar a construção de infraestrutura. Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente (2009, 2022), a largura do leito das estradas é de 6 m para estradas primárias e 4 m para estradas secundárias, com tolerância de 2 m de faixa de abertura a cada lado. Recomenda-se que o sentido da alocação, sempre que possível, deve ser no sentido leste oeste, e o espaçamento entre as estradas secundárias de 400 m. Referente aos pátios, indica-se dimensões de 20 x 25 m, sendo exigido que a

infraestrutura de estradas, pátios, alojamento e refeitório não deve ultrapassar 2 % da área de manejo florestal. Quanto a orientação na construção das trilhas de arraste é recomendado não ultrapassar 1,5 m a largura da máquina de arraste.

Com o intuito de minimizar os danos ao ecossistema florestal, manter os custos num nível aceitável e obter mais benefícios para os funcionários, o planejamento florestal evolui da extração de impacto reduzido para um nível superior no referente à precisão na alocação da infraestrutura de estradas, pátios e trilhas de arraste, integrando a hidrologia, a declividade do terreno e a distribuição espacial dos indivíduos da área de manejo. Essa evolução é possível devido à ampla aplicação dos Sistemas de Informação Geográficas (SIG), à disponibilidade gratuita dos Modelos Digitais de Elevação (MDE) de alta precisão e o uso dos sistemas de posicionamentos. Neste sentido, destacam-se as publicações de Figueiredo et al. (2007), Ismail; Kamaruzaman (2009), Yusmah; Rodziah (2009), Dean (2011), Meignan et al. (2012), Sessions et al. (2014), Picchio et al. (2018), Petkovic; Potocnik (2018), Piragnolo et al. (2019), Çalişkan et al. (2019) e Kazama et al. (2021).

Na evolução da aplicação das geotecnologias para o planejamento do manejo florestal destaca-se a publicação de D'Oliveira et al. (2014) propondo a incorporação da tecnologia LIDAR (Light Detection and Ranging) como ferramenta de planejamento e monitoramento de florestas tropicais. Os autores descrevem em detalhes a metodologia de elaboração de modelos tridimensionais do terreno de elevada precisão que permitem ao usuário planejar todas as operações relativas ao manejo e monitoramento das florestas amostradas pelo LIDAR. Pinagé et al. (2015) apresentam uma avaliação temporal dos efeitos da exploração madeireira usando dados LIDAR e Locks & Matricardi (2019) utilizaram a tecnologia LIDAR para estimar os impactos provocados nas trilhas de arraste na extração seletiva de madeira na Amazônia. Embora existam aplicações da tecnologia LIDAR com resultados alentadores, no nível de produção ainda falta equipamentos e capacitação apropriada para a aplicação generalizada da tecnologia no planejamento da infraestrutura devido ao custo de aquisição comparada com a tecnologia baseada em imagens aéreas. Baseado nisso, é que no artigo o foco é aperfeiçoar a tecnologia baseada em imagens aéreas e uso de software livre QGIS para o processamento da informação junto a expressões simples para o cálculo da densidade ótima da infraestrutura.

Apesar dos avanços demonstrados, ainda existem algumas questões que devem ser incorporadas no planejamento da infraestrutura para a colheita florestal. É necessário antes de alocar a infraestrutura, calcular a densidade ótima de estradas e pátios de estocagem que garantem o custo mínimo baseado no custo de construção das estradas e o custo do arraste de madeira como demonstrado por Chung et al. (2011), Carmo et al. (2013), Sessions et al. (2014), Braz et al. (2018) e Acosta et al. (2023). Depois de calcular a quantidade de estradas e pátios então é realizada a alocação considerando as características da rede hidrológica, o modelo digital do terreno e a distribuição das árvores. A partir dos pátios de estocagem são alocadas as trilhas de arraste, onde cada árvore de corte deve estar ligada a uma trilha e a um pátio, assim é possível guiar e monitorar as operações de exploração madeireira.

Esse artigo busca demonstrar que é possível planejar a infraestrutura de estradas, pátios de estocagem e trilhas de arraste em planos de manejo em florestas ombrófilas de terra firme do bioma amazônico, seguindo uma rotina simples e

com alta eficiência, através do cálculo da densidade ótima da rede viária e com o auxílio do SIG alocar a infraestrutura incluindo as trilhas de arraste, focando diminuir os custos das operações e impactos ao ecossistema seguindo as recomendações decretadas pelos órgãos ambientais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Cláudia no Estado de Mato Grosso, Brasil, a cerca de 8,3 km da BR-163 situada nas coordenadas geográficas 11°18' 00" S e 55°23' 51" O, com uma área de 355,26 ha. A área faz parte da Floresta Amazônica com grande variedade de espécies arbóreas sob manejo, onde é realizado o corte seletivo de árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 50 cm.

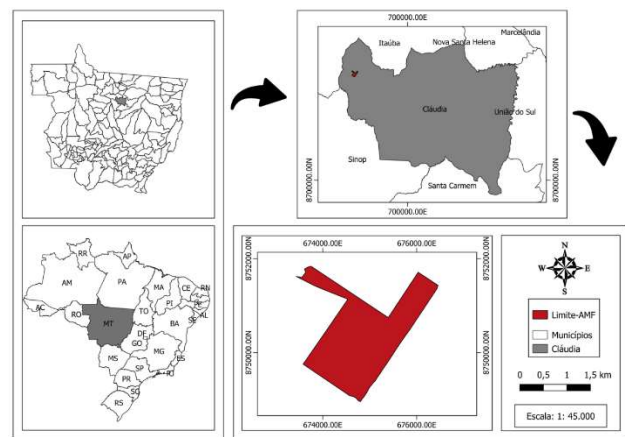


Figura 1. Localização da Área de Manejo Florestal (AMF).

Figure 1. Location of the Forest Management Area (FMA).

O Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) de floresta nativa em Mato Grosso conforme a SEMA (2022), deve apresentar ciclo de corte mínimo de 25 anos e de no máximo a 35 anos e, uma estimativa de crescimento anual de 0,86 m<sup>3</sup>/ha/ano. Para PMFS com uso de máquinas para arraste de toras autoriza uma intensidade de exploração em volume de até 30 m<sup>3</sup>/ha comprovado por meio do inventário florestal 100%, podendo ser alterado.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Aw, caracterizado como quente úmido (tropical), com período chuvoso entre outubro a abril e o período seco de maio a setembro, apresentando precipitações totais anuais entre 1.800 e 2.000 mm.

### Coleta e tratamento da informação

Os dados referentes ao inventário das árvores comerciais e o mapa com o planejamento de estradas e pátios que foi elaborado para aprovar o plano de manejo, foram obtidos pela gerência de um escritório particular situado no município de Sinop, estado de Mato Grosso. A partir dessa informação e com o levantamento de outras informações necessárias foi calculada a densidade ótima de estradas e pátios para a área de manejo. Posteriormente, foram alocados as estradas e os pátios de estocagem considerando a hidrologia, a análise da declividade do terreno e a distribuição das árvores comerciais inventariadas. Por fim, foram alocadas as trilhas de arraste principais saindo do pátio de estocagem e as trilhas secundárias que ligam as trilhas principais com as árvores de corte no projeto proposto.

**Densidade ótima de estradas (DOE)**

O procedimento adotado de acordo com Sessions et al. (2014) e utilizado por Acosta et al. (2023), consiste na interação do custo de extração das toras e o custo da construção de estradas e pátios, até obter um custo mínimo da somatória de ambas operações.

**Custo de extração de toras**

O custo de extração é calculado pela relação do custo operacional do trator utilizado na extração de madeira, e na produtividade efetiva da operação em função da distância de arraste ou extração.

$$Cpa = \frac{Copf + Copv + Copm}{\frac{da}{Vrsc} + Tc + \frac{da}{Vrcc} + Td} \tag{01}$$

em que: Cpa = Custo de extração (R\$/m³); Copf = Custo operacional fixo (R\$/h); Copv = Custo operacional variável (R\$/h); Copm = Custo operacional de mão-de-obra (R\$/h); Vc = Volume médio da carga por ciclo (m³); da = Distância média de extração (m); Vrsc = Velocidade de deslocamento vazio (m/min); Tc = Tempo de carregamento (min); Vrcc = Velocidade de deslocamento com carga (m/min); Td = Tempo de descarregamento (min).

O custo operacional envolve o custo fixo (Depreciação, juros, impostos e seguros); o custo variável (Combustíveis, lubrificantes, manutenção e reparos); e o custo de mão de obra (Salário básico, encargos e benefícios). O custo total corresponde a R\$ 289,16/hora. Já a produtividade efetiva de arraste consiste no volume extraído pelo skidder em cada hora de operação, sendo que em cada ciclo o trator carrega em média 5,67 m³ de tora, a velocidade média vazio foi de 89,78 m/min., a velocidade média com carga de 77,32 m/min., o tempo médio de carregamento 2,65 min., e o tempo de descarregamento 1,42 min. Para estimar a produtividade foi necessário calcular a distância média de arraste com a seguinte expressão.

$$da = \{0,333 * [((0,5 * S)^2 + (L)^2)]^{0,5} + 0,333 * [((0,25 * S)^2 + (0,5 * L)^2)]^{0,5}\} * k \tag{02}$$

em que: da = Distância média de extração (m); S = Espaçamento entre estradas; L = Espaçamento entre pátios; k = Fator de correção para as trilhas de extração.

O fator de correção (k) é a distância real de deslocamento do skidder dividida pela distância teórica do pátio ao ponto onde ficam as árvores derrubadas. O valor utilizado corresponde a 1,12.

**Custo de produção de estrada e pátio**

O custo de produção referente a estradas e pátios considera o custo de construção de estradas equivalente a R\$ 2.789,20/km, o custo de construção de pátio de R\$ 211,53, e o volume de madeira definida para a exploração, sendo igual ou inferior a 30 m³/ha.

$$Cpsl = \frac{Cr * (\frac{L}{10^3}) + Cp}{Va * S * L / 10^4} \tag{03}$$

em que: Cpsl = Custo de produção de estradas e pátios (R\$/m³); Cr = Custo de construção de estradas (R\$/km); Cp = Custo de construção de pátios de estocagem (R\$/pátio); Va = Volume de madeira a explorar (m³/ha); S = Espaçamento média entre estradas (m); L = Espaçamento média entre pátios de estocagem (m).

O cálculo do custo de produção de estradas e pátios foi realizado para espaçamentos que oscilaram de 300 a 800 m. No caso dos pátios de estocagem os espaçamentos utilizados foram de 200 a 500 m.

**Custo total mínimo**

O custo total mínimo foi obtido pela somatória dos resultados da equação (1) e a equação (3), utilizando a equação (2) que interage nos resultados tanto do cálculo do custo de extração como no custo de construção de estradas e pátios.

$$CT = \sum Cpa + \sum Cpsl \tag{04}$$

em que: CT = Custo total (R\$/m³); Cpa = Custo de extração (R\$/m³); Cpsl = Custo de estrada e pátio (R\$/m³).

Foram substituídos os valores de espaçamentos entre as estradas e os espaçamentos entre os pátios na equação (3), também os valores foram utilizados para estimar a distância de extração na equação (2). A distância de extração foi utilizada para o cálculo do custo da extração na equação (1). Para cada valor de espaçamento de estradas e espaçamento de pátios corresponde um valor da distância de extração. Esta interação foi feita para todos os espaçamentos, até obter o valor mínimo do custo, o qual se corresponde com a espaçamento ótimo de estradas e pátios.

$$de = \frac{10\ 000}{Se} \tag{05}$$

em que: de = Densidade de estradas (m/ha); Se = Espaçamento de estradas (m).

Após determinar o valor do espaçamento ótimo de estradas, calcula-se a densidade de estradas. Com o valor da densidade e o tamanho da área de manejo foi calculada a quantidade de estradas. A partir dessa informação e com o valor do espaçamento ótimo de pátios se obteve o número de pátios de estocagem total. Feito este cálculo, foi necessário determinar a porcentagem da infraestrutura considerando a largura das estradas e as dimensões dos pátios de estocagem para verificar a correspondência com as exigências de não ultrapassar o 2% da área total, exigido pela SEMA (2009).

**Determinação da Área de Preservação Permanente (APP)**

Com as coordenadas da área de manejo e a imagem do Google Hybrid dentro do SIG foi traçado o perímetro do projeto de manejo florestal. O modelo digital de elevação utilizado foi de 30 m, da *European Space Agency* (2021). A imagem da área foi processada no SAGA GIS (2.3.2) extraíndo os cursos de água e as nascentes.

Para definir a APP, conforme estabelecido pelo Código Florestal Lei 12.651/12, foi gerado um buffer (amortecedor) para nascente de 50 m, e um buffer para o curso de água com largura determinada pela legislação em função da largura do curso de água. Em seguida, utilizado a função União e Dissolver do QGIS, as duas camadas formam unidas e dissolvidas gerando a APP.

**Determinação da declividade**

Para a análise da declividade do terreno, foi utilizado o mesmo MDE da *European Space Agency* (2021). A imagem foi



carregada no Software QGIS e processada, obtendo o mapa de declividade, a reclassificação da declividade respeitando as áreas restritas estabelecidas pelo Código Florestal Lei 12.651/12, sendo definido os intervalos de declividade.

Tabela 1. Classificação da declividade.  
Table 1. Classification of slope.

Intervalo de declividade (°)	Tipo de relevo	Categoria
0 a 3	Plano	1
3 a 8	Suave ondulado	2
8 a 16	Ondulado	3
16 a 27	Forte ondulado	4
27 a 45	Montanhoso	5
> 45	Escarpado	6 (Restrita)

Fonte: Adaptado de Santos et al. (2018).

Após a classificação, a camada raster foi convertida para camada vetor para determinar a categoria ou tipo de relevo com respeito à declividade presente na AMF. Finalmente, é calculada a área de cada categoria de relevo. No caso, de existir uma área com relevo escarpado, é delimitada como área restrita para a exploração florestal.

### Distribuição das árvores comerciais inventariadas

Foi utilizada a informação do inventário 100% das árvores comerciais conforme os critérios (SEMA, 2022), onde as árvores são classificadas nas seguintes categorias: Árvores de corte, árvores matrizes ou porta sementes, árvores proibidas de corte, árvores de corte futuro, e os tocos das árvores que foram suprimidas da área de manejo. Cada árvore possuía a numeração e as coordenadas geográficas, o que possibilitou a distribuição na AMF através do QGIS. Deste modo, a planilha foi adicionada ao QGIS em arquivo CSV e classificada utilizando a simbologia, além de expor o código de cada árvore.

### Alocação de estradas, pátios e trilhas de arraste na área de manejo.

Para a alocação de estradas foram carregadas as informações no SIG das áreas restritas pela hidrografia e pela declividade do terreno, além da distribuição das árvores segundo as categorias do inventário. Levando em consideração as camadas anteriores e a quantidade de estradas a alocar, foi projetada a estrada principal e a partir desta, foram projetadas as estradas secundárias respeitando os cálculos de espaçamento ótimo.

Para a alocação dos pátios também foi levado em consideração os cálculos de espaçamento ótimo, além de considerar a declividade do terreno e a presença de árvores remanescentes, porta sementes e proibidas de corte que dificultassem a construção dos pátios. Depois de alocados os pátios, foram planejadas as trilhas principais de arraste das toras, que iniciam no pátio e são projetadas até conectar a última árvore de corte. Imediatamente, são construídas as trilhas secundárias que partem da trilha principal e termina no toco de cada árvore a derrubar. Sendo assim, cada árvore de corte fica ligado com uma trilha secundária, numa trilha principal e um pátio de estocagem.

Os resultados obtidos no projeto proposto foram comparados com o projeto escritório que não considera o cálculo da DOE, porém utiliza como referência o espaçamento de 400 m entre estradas e 500 m entre pátios de estocagem e não realiza o planejamento prévio das trilhas de arraste.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Densidade ótima de estrada

Foram substituídos na equação (3) os valores de espaçamentos de estradas de 300 a 800 m, e de espaçamentos de pátios de estocagem de 200 a 500 m para obter os custos de estradas e pátios. Seguidamente, com os mesmos valores foi calculada a distância de extração na equação (2). O resultado foi utilizado para obter os custos de extração na equação (1). O custo total de ambas operações se apresenta na Figura 2, considerado o custo total. Então para cada espaçamento de estradas existe um custo de estradas, um custo de extração e um custo total.

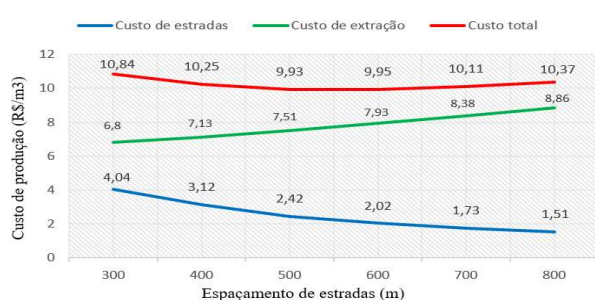


Figura 2. Custos de produção em função do espaçamento de estradas.

Figure 2. Production costs as a function of road spacing.

A tendência do custo de estradas é diminuir ao aumentar o espaçamento de estradas, com valores de R\$ 4,04/m<sup>3</sup> para o espaçamento 300 m e R\$ 1,51/m<sup>3</sup> para o espaçamento 800 m. Espaçamentos mais amplos correspondem com valores de densidade menor, assim 800 m equivalem a uma densidade de 12,5 m/ha seguindo o resultado da equação (5), e de 33,33 m/ha para o espaçamento 300 m. Na medida que se construiu menos estradas o custo será menor.

Como se observa na Figura 2, o custo da extração aumenta na medida que aumenta o espaçamento de estradas, o que é explicado pelo aumento da distância de extração, assim para o espaçamento 300 m se obteve um custo de R\$ 6,8/m<sup>3</sup> e para espaçamento de 800 m o custo de extração aumentou para R\$ 8,86/m<sup>3</sup>. Como ambos custos são inversamente proporcionais, é necessário obter o custo total para cada espaçamento e logo selecionar o custo total mínimo. Neste estudo o custo total mínimo foi de R\$ 9,93/m<sup>3</sup> e se corresponde com o espaçamento de 500 m. Também a análise de custo pelas equações citadas anteriormente mostra o espaçamento ótimo entre pátios de estocagem de 250 m.

Pode-se constatar na Tabela 2, que para o espaçamento de 600 m (densidade 16,67 m/ha) o custo total só se incrementa em R\$ 0,02 m<sup>3</sup> comparado com o espaçamento 500 m, um valor praticamente desprezível, no qual pode sugerir optar pelo o espaçamento 600 m e consequentemente diminuir o custo das estradas. Entretanto, a escolha de espaçamento 600 m incrementa a distância de extração e provoca uma diminuição da produtividade da extração de madeira entre 10 e 14 metros cúbicos para cada turno de trabalho. Portanto a densidade ótima de estradas neste caso de estudo foi determinada em 20 m/ha que corresponde a 500 m entre as estradas secundárias, e 250 m entre os pátios de estocagem. Considerando que a área total de manejo é de 355,26 ha, com a densidade de 20 m/ha, o comprimento total de estradas secundárias a construir é de 7.105,20 m.

Tabela 2. Relação do custo de produção e o espaçamento de estradas.

Table 2. Relationship between production cost and spacing of roads.

S(m)	da (m)	Pef	Cpsl	Cpa	Custo total
300	163,10	42,55	4,04	6,80	10,84
400	179,11	40,59	3,12	7,13	10,25
500	197,79	38,52	2,42	7,51	9,93
600	218,47	36,47	2,02	7,93	9,95
700	240,62	34,50	1,73	8,38	10,11
800	263,89	34,64	1,51	8,86	10,37

em que: S = Espaçamento entre estradas; da = Distância média de extração (m); Pef = Produtividade efetiva de arraste (R\$/m³); Cpsl = Custo de estradas e pátios (R\$/m³); Cpa = Custo de extração (R\$/m³).

**3.2. Diagnósticos da APP, declividade e distribuição das árvores inventariadas**

A área de manejo florestal apresentou dois cursos d’água com larguras inferiores a 10 m e uma nascente localizada nas coordenadas geográficas 11°17' 25" S e 55°24' 20" O. Depois de estabelecer o buffer do curso de água e para a nascente, o resultado gerou uma APP de 3,93 ha, caracterizando a baixa presença de cursos de água na área de manejo, além da APP estar localizada num extremo da área de manejo, provocando pouca interferência nas atividades de exploração.

Quanto aos resultados do diagnóstico da declividade constatou-se que a declividade presente na área de manejo foi 58,48% de terreno plano, 39,67% suave ondulado e 1,85% ondulado. Portanto, a área de manejo é classificada com a declividade plana a suave ondulada. Sendo assim, o PMFS não possui área restrita pela declividade segundo o indicado pelo código florestal.

Foram inventariadas 6.329 árvores, classificadas da seguinte forma: 2.476 árvores de corte (39,12%), 994 árvores matrizes ou porta sementes (15,71%), 1.952 árvores de corte futuro (30,84%), 458 árvores proibidas de corte (7,24%) e 449 tocos de árvores derrubadas em explorações antecedentes ao PMFS (7,09%). Quanto ao diagnóstico das árvores constata-se uma distribuição uniforme das diferentes categorias, porém as árvores proibidas de corte concentram-se numa porcentagem superior a 80% no noroeste da área do plano de manejo. Além da área de manejo ter uma média de 1,26 árvores por hectare derrubadas antecipadamente ao PMFS. Mesmo que as características da hidrografia e a declividade sejam favoráveis à alocação das estradas, pátios e trilhas de arraste, foi necessário levar em consideração a alta presença de árvores remanescentes na área de manejo para evitar danos as árvores desta categoria que ultrapassaram os 53%.

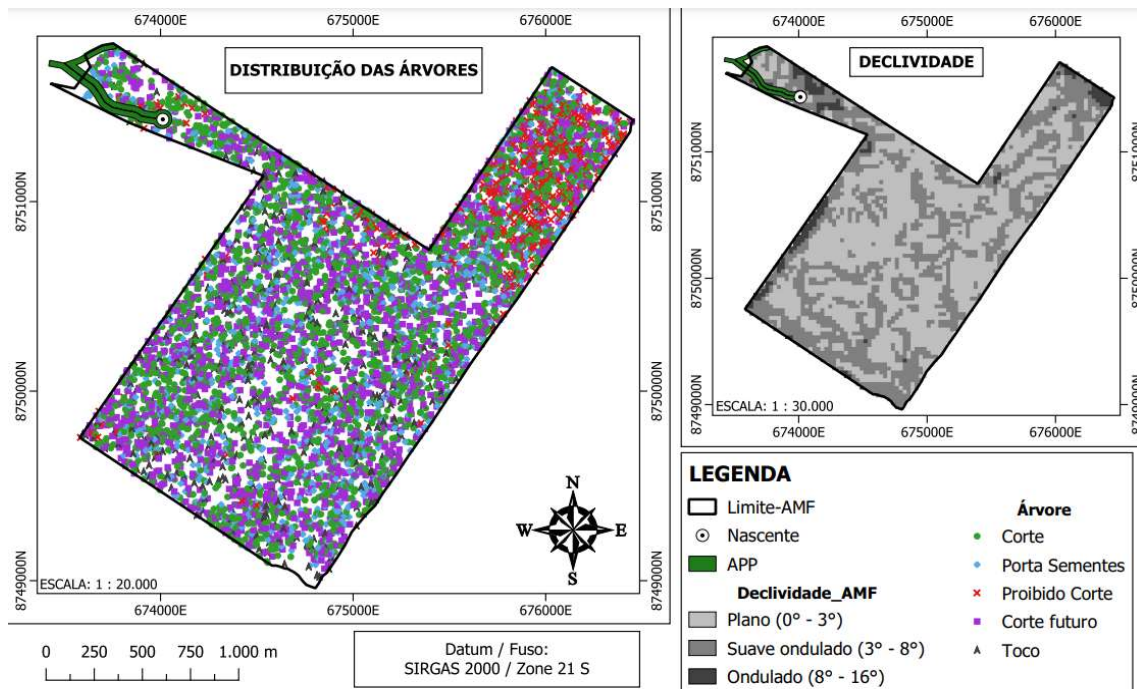


Figura 3. Distribuição das árvores e a declividade na área de manejo florestal.  
Figure 3. Distribution of trees and slope in the forest management area.

**3.3. Alocação da rede de estradas, pátios de estocagem e trilhas de arraste**

Conhecendo a quantidade de estradas a construir e a quantidade de pátios, foi feita a alocação da rede de estradas considerando o diagnóstico da APP, a declividade do terreno e a distribuição das árvores comerciais. Como a área de manejo florestal não teve áreas restrita, o terreno classificado em sua maioria como plano e a distribuição das árvores de corte com alta uniformidade, foi possível alocar de forma sistemática a rede de estradas secundárias. No projeto escritório foi planejada uma estrada principal de 1.678,68 m de comprimento que ocupa 1,01 ha e representa 0,28% da

infraestrutura. Já o projeto proposto planejou uma estrada principal com comprimento de 2.751,0 m, que ocupa uma área de 1,65 ha e representa 0,46% da infraestrutura na Tabela 3.

O projeto apresentado pelo escritório propõe 9 eixos de estradas secundárias com um comprimento total de estradas de 9.545,70 m, ocupando uma área de 3,82 ha que representa 1,08% da infraestrutura total, enquanto que, este projeto proposto recomenda fazer 6 eixos de estradas secundárias com um comprimento total de estradas de 7.105,20 m conforme determinado pela densidade de estrada. No entanto, houve uma redução de 283,46 m de estradas

secundárias no projeto proposto, em virtude das estradas não serem projetadas desde o começo até o final da área de manejo. Dessa forma, foram alocados 6 eixos de estradas com comprimento total 6.821,74 m, atingindo 2,73 ha que representa 0,77% da infraestrutura total, proporcionando uma redução de 2.723,96 m na construção de estradas secundárias correspondendo a 1,09 ha de floresta impactada pela construção das estradas secundárias em relação ao projeto do escritório.

Tabela 3. Percentual da infraestrutura de estradas e pátios.  
Table 3. Percentage of road and log storage yard infrastructure.

Infraestrutura e dimensões	Projeto proposto				Projeto escritório			
	Ud	Com. (m)	Área (ha)	% inf.	Ud.	Com. (m)	Área (ha)	% inf.
Estrada principal (6 m de largura)	1	2.751,00	1,65	0,46	1	1.678,68	1,01	0,28
Estrada secundária (4 m de largura)	6	6.821,74	2,73	0,77	9	9.545,70	3,82	1,08
Pátios de estocagem (20m x 25m)	26	-	1,30	0,37	18	-	0,90	0,25
Total		9.572,70	5,68	1,60		11.224,38	5,73	1,61

Em que: Unid= Unidade; Com.= Comprimento de estradas (m); Área=Superfície ocupada pela infraestrutura; % Inf = Porcentagem de infraestrutura em relação a área total.

Tabela 4. Custo total do projeto proposto e do projeto escritório.  
Table 4. Total cost of the proposed project and the office project.

Projeto	S (m)	L (m)	da (m)	Pef. (m <sup>3</sup> /h)	Cpsl (R\$/m <sup>3</sup> )	Cpa (R\$/m <sup>3</sup> )	CT (R\$/m <sup>3</sup> )
Proposto	500	250	197,79	38,52	2,42	7,51	9,93
Escritório	400	500	301,27	30,05	2,68	9,62	12,30

Em que: S = Espaçamento entre estradas; L = Espaçamento entre pátios; da = Distância média de extração (m); Pef = Produtividade efetiva de arraste (R\$/m<sup>3</sup>); Cpsl = Custo de estradas e pátios (R\$/m<sup>3</sup>); Cpa = Custo de arraste (R\$/m<sup>3</sup>).

No projeto do escritório, a distância média de arraste ficou em 301,27 m, a produtividade da extração em 30,05 m<sup>3</sup>/h e um custo total de R\$12,30/m<sup>3</sup>. Esta informação apresentada nas Tabelas 3 e 4 demonstra que em ambos projetos a percentagem recomendada para a infraestrutura não ultrapassa o 2% indicado pela SEMA (2009 e 2022). Porém, mesmo que o projeto proposto tenha aumentado a superfície impactada pela construção dos pátios, gerou-se uma diminuição do impacto causada pela estrada secundária, o que proporcionou em uma porcentagem de infraestrutura igual ao projeto escritório de 1,6%. Mas, houve também, uma diminuição da distância média de extração de aproximadamente 103,0 m, aumento da produtividade da extração em 8,47 m<sup>3</sup>/h e, principalmente, diminuição do custo total por metro cúbico em R\$ 2,37/m<sup>3</sup>.

Outra questão é que no planejamento do escritório as estradas são alocadas de extremo a extremo da área de manejo, além de um eixo de estrada secundária impacta a área de preservação permanente. Mesmo que o espaçamento de pátios de estocagem calculado no projeto proposto foi de 250 m, no momento da alocação no terreno é orientado para as equipes de planejamento levar em consideração a alocação prévia no mapa, procurar áreas com pouca vegetação, ausência de árvores comerciais remanescentes, porta sementes e proibidas de corte, alocar próximo à concentração das árvores de corte.

Feito o planejamento da rede de estradas e pátios na área de manejo iniciou-se a alocação das trilhas principais de arraste em cada pátio. A equipe de planejamento em posse do mapa localizou cada pátio e considerando a alocação prévia das trilhas no mapa, a concentração das árvores derrubadas e as trajetórias onde a vegetação oferecia menos resistência foram alocadas as trilhas principais. A partir das trilhas principais foram alocadas as trilhas secundárias conectando cada árvore de corte com a trilha principal. A

No caso dos pátios de estocagem, o projeto do escritório sugeriu a construção de 18 pátios que ocupam uma área de 0,90 ha que representa 0,25% da infraestrutura total, em contrapartida o projeto proposto propõe 26 pátios, com uma superfície de 0,37% da área total. A principal ideia nesta proposta é manter uma distância de arraste de 197,79 m, com uma produtividade de 38,52 m<sup>3</sup>/h e um custo total de R\$ 9,93 m<sup>3</sup> como se observa na Tabela 4.

mesma rotina foi projetada para cada trilha e para cada pátio até que todas as árvores de corte foram alocadas a um eixo de estrada e a um pátio estocagem. Cada árvore foi identificada pelo código do inventário o que facilitou a localização para o corte e a extração até os pátios de estocagem, evitando perdas de árvores derrubadas na área de manejo.

#### 4. DISCUSSÃO

O planejamento da rede de estradas na exploração da floresta amazônica passa por etapas necessárias como o cálculo da densidade ótima de estradas e pátios de estocagem baseada no custo das operações de construção de estradas e de extração das árvores, sendo fundamental para garantir o custo mínimo das operações, procedimento utilizado no presente trabalho e citado por vários autores, como Chung et al. (2008), Carmo et al. (2013), Sessions et al. (2014) e Braz et al. (2018). Já a outra etapa está focada na alocação das estradas considerando as características da hidrografia, a declividade do terreno e a distribuição das árvores comerciais como recomendado por Figueiredo et al. (2007), Dean (2011), Petković; Potočnik (2018), Çalişkan et al. (2019), Piragnolo et al. (2019) e Kazama et al. (2021). Neste sentido, Broza et al. (2012) destacam as etapas principais do Modelo Digital de Exploração Florestal (MODEFLORA), na qual incluem no processo de planejamento a alocação de estradas e a confecção de mapas de exploração, e sinalizam a vantagem de poder desenvolver todas as atividades de MODEFLORA com software livre o qual tem sido aplicado nesta pesquisa, mas os autores não fazem referências ao cálculo da densidade ótima de estradas dentro dessas etapas. Então, os resultados da pesquisa destacam a necessidade de calcular a densidade ótima de estradas e pátios que garantam o custo mínimo da exploração das árvores comerciais, e apontar a consideração da hidrografia, o relevo e a



## Planejamento da rede viária no manejo de floresta nativa utilizando SIG

distribuição das árvores comerciais na alocação eficiente e respeitosa com a legislação atual das rede de estradas e pátios, além de planejar e alocar a rede de trilhas de arraste para

garantir menos impacto ao ecossistema, maior segurança dos funcionários, evitar perdas de árvores e manter o controle dos custos das operações.

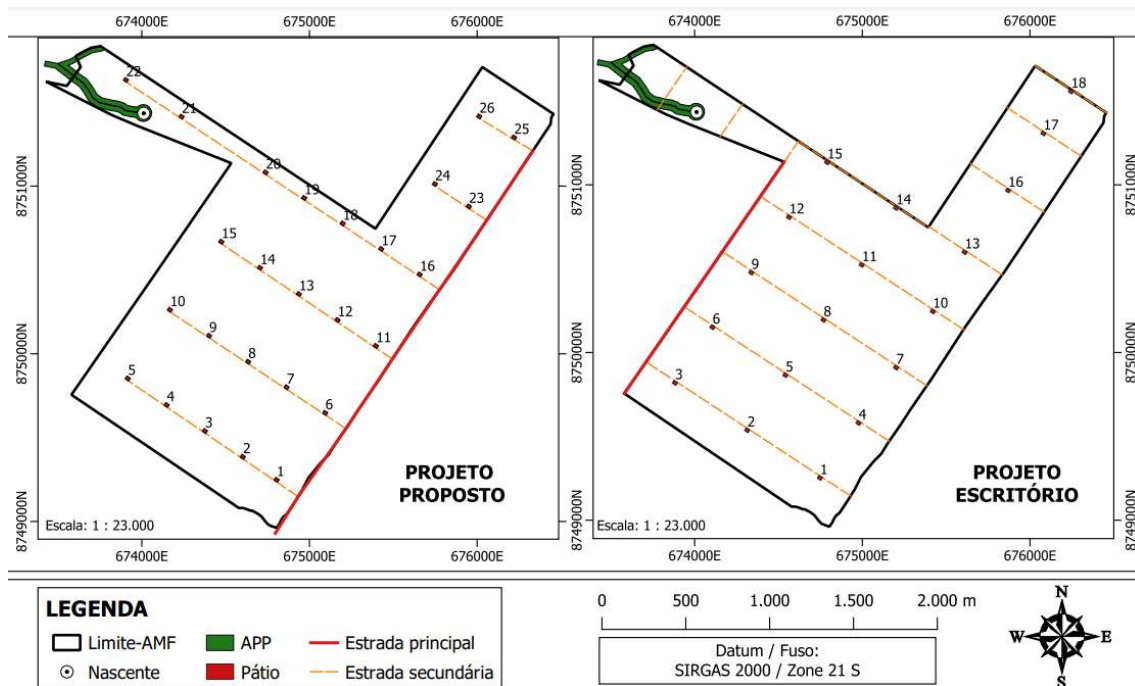


Figura 4. Alocação da rede de estradas e pátios na AMF.

Figure 4. Allocation of the network of roads and log storage yard in the AMF.

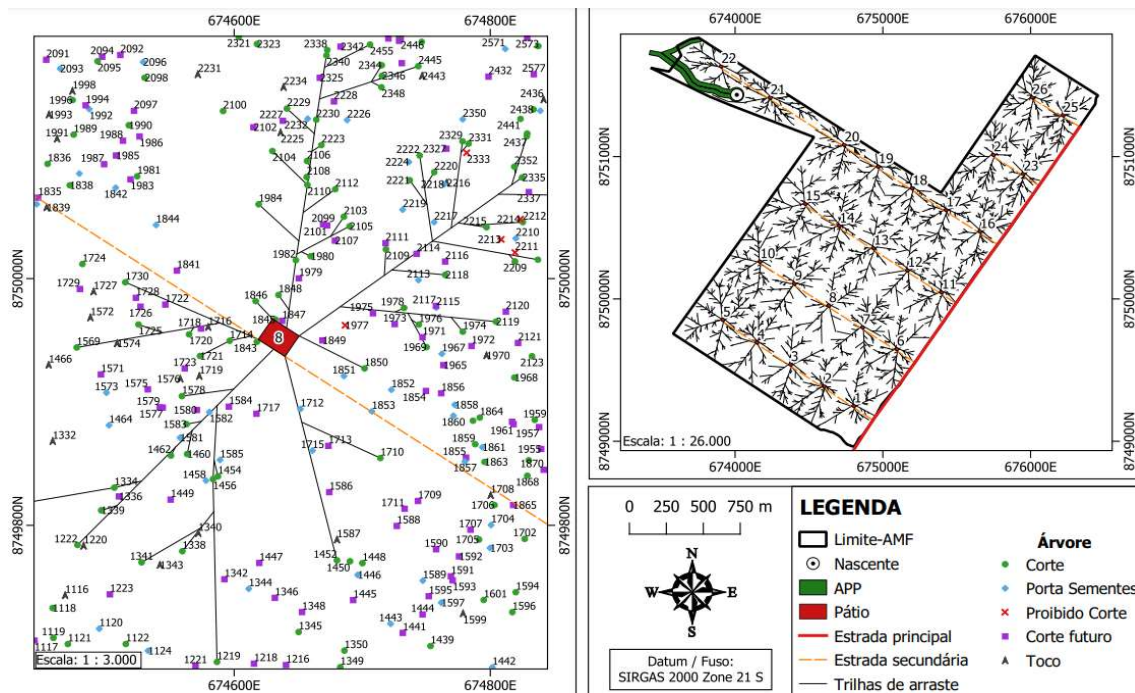


Figura 5. Alocação das trilhas de arraste na área de manejo florestal.

Figure 5. Allocation of skid trails in the forest management area.

Outro resultado a destacar é a demonstração que para obter o custo mínimo da colheita das árvores é necessário considerar o espaçamento entre os pátios de estocagem além do espaçamento entre as estradas, diferentes espaçamentos entre os pátios de estocagem alteram consideravelmente a distância de arraste e conseqüentemente o custo do sistema de exploração das árvores comerciais. Como apresentado na Tabela 4 deste trabalho, os custos do projeto escritório

mesmo com um espaçamento de estradas de 400 m, comparado com 500 m do projeto proposto, apresenta uma distância de arraste para o trator superior a 103 m, explicado pelo espaçamento entre os pátios de 500 m do projeto escritório e de 250 m do projeto proposto. As implicações deste resultado é o aumento da produtividade da extração em 8,47 m<sup>3</sup>/h e a diminuição do custo total por metro cúbico em R\$ 2,37/m<sup>3</sup>. Também na Tabela 3 é possível observar que

mesmo aumentando o número de pátios no projeto proposto a quantidade da infraestrutura total não é alterada e continua sendo menor da exigida pelos órgãos ambientais. Outra observação importante é que a pesar da recomendação feita pelo MODEFLORA, ainda no estado de Mato Grosso não é exigido na apresentação dos planos de manejo nas florestas nativas a alocação das trilhas de arraste de toras, sendo incluído na Figura 5 deste trabalho.

Winkler (1997), publicou os resultados da pesquisa na empresa “Mil Madeireira Itacoatiara Company Ltda” no município Itacoatiara, Amazonas. Neste trabalho foi assumida uma densidade de estradas, sendo de 9 m/ha, espaçamento maior a 1000 m entre as estradas e 500 m entre pátios, com uma distância média de arraste de toras aproximada a 400 m e distância máxima de 800 m. Segundo os resultados apresentados pelo autor os custos da rede de estradas e pátios foram baixos, porém os custos de extração foram mais altos que os obtidos pelos resultados citados anteriormente, o que é explicado pelas diferenças nas distâncias de arraste. Acosta et al. (2015) determinam uma densidade ótima de estradas secundárias de 18,45 m/ha em plano de manejo em floresta nativa na região do Xingú-MT. Acosta et al. (2023) apresentaram uma densidade ótima de estradas secundárias também no manejo de floresta amazônica de 15,61 m/ha no município Iñapari, Madre de Dios, Peru. Braz et al. (2018) na microrregião de Sinop registram uma densidade ótima de estrada secundárias de 26,0 m/ha e uma distância entre estradas de 385 m. As diferenças na densidade citadas estão relacionadas com o volume de madeira aproveitado na área de manejo, aos custos de construção de estradas e ao custo da extração de toras. Porém, assumir espaçamentos de estradas e entre pátios sem os devidos cálculos conduz a erros que implicam custos adicionais no manejo das florestas.

O comprimento total de trilhas de arraste deste projeto foi de 59.861,31 m, com um comprimento médio de 2.302,36 m de trilhas por pátio. A densidade de trilhas neste projeto proposto foi de 168,50 m/ha. Em cada pátio é estocado o volume de 266,03 m<sup>3</sup> procedente de 13,66 ha com uma média de 7 árvores/ha ou 96 árvores/pátio. O volume comercial é de 19,48 m<sup>3</sup>/ha, 8,65 m de trilha/m<sup>3</sup> e 24,07 m de trilha/árvore. Como a largura média das trilhas foi de 3,5 m, então a área total impactada pelas trilhas totalizou 20,95 ha, que representa 5,90 % da área total do plano de manejo. D'Arace et al. (2019) na fazenda Rio Capim localizada no município de Paragominas-PA, obteve em uma área de exploração de 50 ha 1.022,6 m de trilha de arraste principal e 4.734,3 m para trilha de arraste secundária, totalizando 5.756,9 m, correspondendo a uma densidade de trilha de 115,14 m/ha. Os resultados apresentados por Locks; Matricardi (2019) mostraram que a área impactada pelas trilhas de arraste na Amazônia brasileira foram de 133,8 m/ha com intensidade de exploração de 14,8 m<sup>3</sup>/ha; e Elli et al. (2016) obtiveram um valor superior a 175,0 m/ha para uma intensidade de 37,0 m<sup>3</sup>/ha em Bornéu-Oceania.

A análise desses resultados demonstra a relação que existe entre o volume de madeira extraída, a quantidade de árvores de corte derrubadas, a distribuição das árvores e a área impactada pela construção de trilhas de arraste. Quando o volume de madeira e o número de árvores de corte é baixo e as árvores de corte ficam próximas a quantidade de trilhas de arraste a necessidade é mínima, mas, quando aumenta o volume de madeira a extrair e o número de árvores, assim como a distância entre árvores derrubadas, resulta em uma

densidade de trilhas maior. Segundo Johns et al. (1998), com o planejamento das trilhas, o número de árvores danificadas por árvores extraída diminui 32% em relação a área sem planejamento, acarretando num grande impacto futuro no volume de madeira disponível, porém a SEMA (2009 e 2022) não exige para a aprovação dos planos de manejo o planejamento prévio e a alocação da rede de trilhas de arraste.

Emmert (2014) propõe modelos voltados para reduzir a quantidade de estradas, trilhas e pátios de estocagem de madeira e promover o melhor uso dessas infraestruturas, baseado na combinação de dados de campo e métodos computacionais envolvendo técnicas matemáticas e ferramentas de análise espacial para o planejamento da exploração florestal na Amazônia. A pesquisa foi realizada em uma floresta privada no estado de Amazonas e em outra floresta pública no estado de Rondônia, onde coletou informações sobre os aspectos operacionais e ergonômicos, a qualidade e os custos das operações dos sistemas de exploração de madeira. A aplicação dos modelos de planejamento desenvolvidos reduz a quantidade da infraestrutura de estradas, trilhas de arraste e pátios em 16,5 % e 7,0 % na floresta privada e na floresta pública respectivamente. Afirma que os modelos executados automaticamente no SIG reduzem o tempo para vetorização da infraestrutura. A densidade de estradas proposta na pesquisa é de 19,99 m/ha na unidade de produção anual (UPA), 45 pátios de estocagem de 500 m<sup>2</sup> com capacidade média de 42,20 árvores/pátio ou 203,66 m<sup>3</sup>/pátio, com espaçamento médio entre pátios de 260 m. A área de abrangência de cada pátio é de 13,20 ha. A densidade de trilhas de arraste é de 106,76 m/ha. O impacto total da infraestrutura é de 32,20 ha e a proporção do impacto de 5,42 % da área total da UPA.

Os resultados apresentados na discussão em geral diferem do obtido por Winkler (1997), o que pode ser explicado pela não utilização dos SIG com muitas restrições de uso na época em que foi feita a pesquisa. Porém, existe uma tendência semelhante com os resultados desta pesquisa e outros trabalhos onde se foram utilizados SIG como Figueiredo et al. (2007) e Emmert (2014). O SIG utilizados pelos autores citados não é gratuito e isso pode representar uma limitação para algumas empresas. Como alternativa, existem SIG gratuitos e imagens de alta precisão disponíveis no mercado de fácil utilização. Outro aspecto que merece destaque é que os modelos ou procedimentos de planejamento da exploração atual incluem a integração de técnicas matemáticas e informação espacial como recomendaram vários autores. É necessário ficar atentos para que os procedimentos ou modelos de planejamentos propostos sejam de fácil acesso e utilização para funcionários responsáveis pelo manejo das florestas nas empresas, do contrário não será aceito para o uso.

## 5. CONCLUSÕES

O planejamento proposto reajusta a quantidade da rede de estradas florestais e de pátios de estocagem de madeira em relação ao planejamento do escritório sem ultrapassar o 2% da área de manejo ocupada para infraestrutura exigido pelos órgãos ambientais, além de acrescentar neste planejamento a alocação das trilhas de arraste. O cálculo da quantidade de cada tipo de infraestrutura e a alocação baseada nas características espaciais analisadas no SIG permitem um planejamento mais eficiente sem impactos sobre as APP e



com menor custo do sistema de colheita como demonstrado nos resultados obtidos.

A densidade de trilhas neste projeto proposto é de 168,50 m/ha, resultado compatíveis aos encontrados em outras pesquisas, considerando que a densidade de trilhas está em função da quantidade e dispersão na distribuição das árvores derrubadas. Cada pátio estoca o volume médio de 266,03 m<sup>3</sup> procedente de 13,66 ha com uma média de 7 árvores/ha ou 96 árvores/pátio. A área total impactada pelas trilhas totalizou 20,95 ha, que representa 5,90 % da área total do plano de manejo. Já no projeto escritório não propõe planejar trilhas de arraste porque não é exigido pelos órgãos ambientais.

O procedimento utilizado nesta pesquisa para o planejamento da rede de estradas, pátios e trilhas de arraste de toras na floresta nativa baseado no uso do software de livre acesso QGIS e imagens disponíveis de acesso gratuito possibilitam obter e analisar as informações espaciais, que acompanhadas ao cálculo da quantidade de cada tipo de infraestrutura, mostra resultados similares ao uso de outras metodologias propostas que podem causar despesas adicionais às empresas florestais.

## 6. REFERÊNCIAS

- ACOSTA, F. C.; RENGIFO, S. P.; GARCÍA, M. L.; MATRICARDI, E. A. T.; CASTILLO, G. B. Road Network Planning in Tropical Forests Using GIS. **Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**, v. 44, n. 1, 153-169, 2023. <http://dx.doi.org/10.5552/crojfe.2023.1742>
- ACOSTA, F. C.; ROMEO, A. P.; RODRÍGUEZ, M. P.; DRESCHER, R. Densidad óptima de caminos y acopiaderos en el manejo de bosques naturales en Mato Grosso, Brasil. **Española**, v. 6, n. 2, 97-103, 2015. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.12037509>
- BOSTON, K. The potential effects of forest roads on the environment and mitigating their impacts. **Current Forestry Reports**, v. 2, n. 4, p. 215-222, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s40725-016-0044-x>
- BRAZ, E. M.; BASSO, R. O.; CURTO, R. D.; DE MATOS, P. P.; SILVA, J. P. Densidade ótima de estradas para a exploração em plano de manejo florestal. In Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SEMINÁRIO DE COLHEITA E TRANSPORTE DE MADEIRA, 18., 2018, Ribeirão Preto. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas.
- BROZA, K. T.; GARRASTAZU, M. C.; BRAZ, E. M.; DE MATOS, P. P.; ROSOT, M. A. D.; MALDONADO, F. D.; FORTINI, C. **Etapas do planejamento do projeto MODEFLORA em SIG livre**. Seminário De Atualização Em Sensoriamento Remoto E Sistemas De Informações Geográficas Aplicados À Engenharia Florestal, v. 10, p. 651-658, 2012. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68681/1/Marilice-SASR-Etapas-1.pdf>
- ÇALIŞKAN, E.; BEDIROGLU, S.; YILDIRIM, V. Determination Forest Road routes via GIS-based spatial multi-criterion decision methods. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 1, p. 759-779, 2019. [http://dx.doi.org/10.15666/aecer/1701\\_759779](http://dx.doi.org/10.15666/aecer/1701_759779)
- CARMO, F. C.; FIEDLER, N. C.; LOPES, E. D. S.; PEREIRA, D. P.; MARIN, H. B.; SILVA, E. N. D. Análise da densidade ótima de estradas florestais em propriedades rurais. **Cerne**, v. 19, p. 451-459, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000300012>
- CASTRO, M. S. A.; VIANA, A. P. da S.; LOBATO, C. C.; MUNIZ, J. L.; LIMA, M. W. dos S.; MELO, L. de O. Impactos da exploração florestal na estrutura e na composição florística da vegetação remanescente em área manejada na floresta nacional do Tapajós, Belterra, Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 125-135, 2018. <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5174>
- CHUNG, W.; STÜCKELBERGER, J.; ARUGA, K.; CUNDY, T. W. Forest Road network design using a trade-off analysis between skidding and road construction costs. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 38, n. 3, p. 439-448, 2008. <http://dx.doi.org/10.1139/X07-170>
- CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO. Lei Federal n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Disposições sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 102, Seção 1, p.1-8. 2012.
- D'OLIVEIRA, M. V.; FIGUEIREDO, E.; PAPA, D. **Uso do LIDAR como ferramenta para o manejo de precisão em florestas tropicais**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2014. 132p. (Livro Técnico, 132)
- D'ARACE, L. M. B.; SILVA, L. D.; GOMES, J. M.; COSTA, N. S. L.; DA SILVA, B.; DOS SANTOS, M. L.; DE FREITAS, L. J. M. O manejo florestal como estratégia para mitigar os impactos da exploração florestal. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 6, p. 32-42, 2019.
- DEAN, D.J. Finding optimal routes for networks of harvest site access roads using GIS-based techniques. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 27, n. 1, p. 11-22, 2011. <http://dx.doi.org/10.1139/cjfr-27-1-11>
- ELLI, P.; GRISCOM, B.; WALKER, W.; GONÇALVES, F.; CORMIER, T. Mapping selective logging impacts in Borneo with GPS and airborne LiDAR. **Forest Ecology and Management**, v. 365, p. 184-196, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.01.020>
- EMMERT, F. **Combinação de dados de campo e métodos computacionais para o planejamento da exploração florestal na Amazônia**. 190p. Tese [Doutorado em Ciências Florestais] - Universidade de Brasília, Brasília. 2014.
- ESA\_European Space Agency. **Copernicus Global Digital Elevation Model**. 2021. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/datasetMetadata?otCollectionID=OT.032021.4326.1>. Acessado em: 2023-03-01.
- FIGUEIREDO, E.; BRAZ, E.; D'OLIVEIRA, M. V. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2007. 183p.
- HACISALIHOĞLU, S.; GÜMÜŞ, S.; KEZİK, U.; KARADAG, H. Impact of Forest Road Construction on Topsoil Erosion and Hydro-Physical Soil Properties in a Semi-Arid Mountainous Ecosystem in Turkey. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 1, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81615>
- HOSSEINI, S. A.; MAZRAE, M. R.; LOTFALIAN, M.; PARSAKHOO, A. Designing an optimal forest road

- network by consideration of environmental impacts in GIS. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**, v. 20, n. 1, p. 58-66, 2012. <https://doi.org/10.3846/16486897.2012.662748>
- ISMAIL, M.; KAMARUZAMAN, J. H. Planning of Access Road Using Satellite Technology and Best Path Modeling. **Modern Applied Science**, v. 3, n. 3, p. 1-83, 2009. <https://doi.org/10.5539/mas.v3n3p83>
- JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHL, C. **Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. Belém: IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia), 1998. 42p. v. 16.
- KAZAMA, V.; DALLA CORTE, A. P.; GONÇALVES, R. C.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E.; OLIVEIRA-NASCIMENTO, K. A.; DEARMOND, D. Global review on forest road optimization planning: Support for sustainable forest management in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 492, e119159, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119159>
- KLEINSCHROTH, F.; HEALEY, J. R. Impacts of logging roads on tropical forests. **Biotropica**, v. 49, n. 5, p. 620-635, 2017. <https://doi.org/10.1111/btp.12462>
- LAURANCE, W. F.; GOOSEM, M.; LAURANCE, S. G. Impacts of roads and linear clearings on tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, p. 659-669, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.009>
- LOCKS, C. J.; MATRICARDI, E. A. T. Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 481-495, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509826007>
- MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W.; FERNANDES, L.C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1117-1129, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.01.00>
- PETKOVIĆ, V.; POTOČNIK, I. Planning Forest Road Network in Natural Forest Areas: Case Study in Northern Bosnia and Herzegovina. **Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering**, v. 39, n. 1, p. 45-56, 2018. <https://doi.org/org/10.5552/CROJFE>
- PICCHIO, R.; PIGNATTI, G.; MARCHI, E.; LATTERINI, F.; BENANCHI, M.; FODERI, C.; VERANI, S. The application of two approaches using GIS technology implementation in forest road network planning in an Italian mountain setting. **Forests**, v. 9, n. 5, e277, 2018. <https://doi.org/10.3390/f9050277>
- PINAGÉ, E. R.; KELLER, M.; dos-SANTOS, M. N.; SPINELLI-ARAÚJO, L.; LONGO, M. Avaliação temporal dos efeitos da exploração madeireira usando dados lidar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVII. João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 834-841.
- PIRAGNOLO, M.; GRIGOLATO, S.; PIROTTI, F. Planning harvesting operations in forest environment: Remote sensing for decision support. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. IV-3/W1, p. 33-40, 2019. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-W1-33-2019>
- SEMA\_Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Decreto nº 1.862, de 24 de março de 2009**. Procedimentos de elaboração, análise e acompanhamento dos Planos de Manejo Florestal Sustentável no Estado de Mato Grosso. Acessado em: 2023-03-01.
- SEMA\_Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Decreto nº 1313 de 11 de março de 2022**. Regulamenta a Gestão Florestal do Estado de Mato Grosso, e dá outras providências. Estado de Mato Grosso. Acessado em: 2023-03-01.
- SESSIONS, J.; HEINRICH, R.; CASTANEDA-LANGLOIS, H. **Tropical Forestry Handbook**. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014. P. 1-50. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8\\_162-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_162-1).
- WINKLER, N. **Aprovechamiento forestal compatible con el medio ambiente: ensayo sobre la aplicación del Código Modelo de la FAO en la Amazonía Brasileña**. Rome: FAO. 1997. Disponível em: <https://www.fao.org/3/w6679s/w6679s00.htm>. Acessado em: 2023-03-01.
- YAMADA, T.; NINO, M.; YOSHIDA, S.; HOSAKA, T.; OKUDA, T. Impacts of logging road networks on dung beetles and small mammals in a Malaysian production forest: implications for biodiversity safeguards. **Land**, v. 3, n. 3, p. 639-657, 2014. <https://doi.org/10.3390/land3030639>.
- YUSMAH, M. Y. S. RODZIAH, H. The application of Geographic Information System (GIS) in forest harvesting in Malaysia. In: 17th International Conference on Geo-informatics- IEEE, 17. **Conferences...** Fairfax, VA, USA. p. 1-7, 2009. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5403134>.

**Agradecimentos:** Agradecemos ao escritório Matricardi Agro Florestal e Ambiental, Sinop, MT, Brasil, por facilitar a informação de campo do inventário florestal das espécies comerciais e ao proprietário da área de manejo por permitir utilizar os dados na publicação.

**Contribuições dos autores:** Todos os autores participaram no processamento, análise dos dados e na redação e escrita do artigo. Além disso, o autor Gean Marcos Xavier da Silva participou na coleta da informação do campo. Todos participaram nas correções indicadas pelos revisores.

**Financiamentos:** Não aplicável.

**Comitê de Revisão Institucional:** Não aplicável.

**Comitê de Ética:** Não aplicável.

**Disponibilização de dados:** Os dados do estudo poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente ou ao primeiro autor, via e-mail. Não está disponível no site porque o projeto de pesquisa ainda está em desenvolvimento.

**Conflitos de interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesses. As entidades/instituições de apoio não tiveram qualquer papel na concepção do estudo, na coleta, análise ou interpretação de dados, na redação do manuscrito ou na decisão de publicação dos resultados.