Viabilidade técnica do manejo em faixas alternadas
versus sistema seletivo para produção de lenhaTechnical viability of alternate strip management
versus selective system for firewood productionJoão Ricardo Vasconcellos Gama¹, Agostinho Lopes de Souza²,
Ivaldo José da Silva³ e Diego dos Santos Vieira⁴

Resumo

O objetivo desse estudo foi executar análise técnica comparando os sistemas de manejo florestal em faixas alternadas (sistema MAFA) e seletivo (sistema SS). O estudo foi realizado no projeto MAGELA, localizado no município de Codó, estado do Maranhão. Os dados foram coletados em seis parcelas permanentes de 50 x 200 m localizadas nas Unidades de Produção Anual (UPA) 1 e 2 do projeto MAGELA. Em cada parcela, mensuraram-se todas as árvores e palmeiras com DAP $\geq$ 5 cm. Foram executados dois inventários, antes da colheita e após a colheita, para a obtenção de dados quantitativos da estrutura da floresta e estimação dos coeficientes técnicos de manejo. O sistema MAFA apresentou maior viabilidade ambiental e melhor rendimento operacional de colheita (corte e traçamento).

Palavras-chave: distribuição diamétrica, manejo florestal, sistema silvicultural

Abstract

The objective of the study was to carry out the technical analysis to compare the forest management systems alternate strips (MAFA system) and the selective system (SS system). The study was carried out in the MAGELA Project, Codó municipality, Maranhão State. The data were collected in six permanent sample plots of 50 x 200 m located in the Annual Production Units (APU) 1 and 2 of the MAGELA project. Trees and palms with DBH $\geq$ 5 cm were measured in each plot. In these permanent plots two forest inventories (before and after harvesting) were carried out quantitative in order to obtain data of the forest structure and to estimate technical coefficients for forest management. The MAFA system showed a higher environmental viability and best harvesting operational income (felling and transporting).

Keywords: diametric distribution, forest management, silvicultural system.

INTRODUÇÃO

As taxas de extração de lenha em áreas de florestas naturais no Brasil tendem a aumentar devido, principalmente, ao aumento da escala de produção das indústrias siderúrgicas (CGEE, 2015) e a incapacidade dos plantios florestais em suprirem as demandas de carvão vegetal (SANTOS; HATAKEYAMA, 2012). Por conseguinte, a exploração de florestas naturais de forma legal e, principalmente, ilegal tem sido a forma mais fácil de suprir essa demanda, ainda que não se resolva o problema de se obter carvão vegetal de maneira sustentável (UHLG et al., 2008).

Em geral, quando se realiza a colheita do estoque volumétrico presente nessas florestas não são aplicadas técnicas de manejo florestal, o que resulta numa floresta com ciclo de corte único e alta probabilidade de conversão em áreas de pastagens ou plantios agrícolas, aumentando, assim, a taxa de desmatamento. Além disso, estudos que comprovem a viabilidade econômica e técnica da aplicação de sistemas de manejo alternativos, além da descrição de como realiza-los, são insipientes no Brasil. Dessa forma, novas metodologias que visem a exploração florestal devem ser pesquisadas visando alcançar o “bom manejo”.

¹Professor Doutor. UFOPA - Universidade Federal do Oeste do Pará / IBEF - Instituto de Biodiversidade e Florestas. Rua Vera Paz, s/n. Salé - 68035-110 - Santarém, PA, Brasil. E-mail: jrv gama@gmail.com.

²Professor Titular do Departamento de Engenharia Florestal. Avenida P.H. Rolfs s/n - Campus UFV - 36570-000 - Viçosa, MG, Brasil. E-mail: alsouzaal@gmail.com.

³Professor Mestre. IFMA - Instituto Federal do Maranhão / Diretoria Geral. Rua da Tecnologia, 215 - Amorim - 65365000 - Zé Doca, MA, Brasil. E-mail: ivaldojsilva@ifma.edu.br.

⁴Doutorando em Ciência Florestal. UFVJM - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK - Rua Cruzeiro, 1 - 39803-371 - Teófilo Otoni, MG, Brasil. E-mail: diegovieira4@gmail.com.

Nas últimas duas décadas, diversas indústrias instalaram-se ao longo da ferrovia de Carajás, as quais vieram do sudeste brasileiro devido aos incentivos fiscais e a facilidade de obtenção de matéria-prima (CHAGAS, 2011). Nos estados do Maranhão e Pará, por onde passa essa ferrovia, o carvão vegetal é oriundo de fitomassa nativa (desmatamentos, resíduos de serraria e manejo florestal) ou de plantios florestais, no entanto esse último exige uma inversão inicial de capital maior do que o uso de técnicas de manejo florestal em áreas nativas, além do que será necessário até sete anos para que se tenha um retorno do investimento, enquanto que no manejo florestal essa receita ocorre no segundo ano. Portanto, se os polos siderúrgicos optarem pelo manejo florestal terão produção contínua, redução dos desperdícios e dos acidentes de trabalho, minimização dos impactos negativos, manutenção da cobertura florestal e dos serviços dela advindos, como também proporcionarão desenvolvimento social e econômico na região (MONTEIRO, 2004).

A partir dos vários sistemas de manejo de florestas naturais tropicais já experimentados (JONKERS, 1987), testou-se o manejo florestal em faixas alternadas, com a finalidade de criar uma alternativa de manejo operacional, ambiental e economicamente viável para produção de lenha a partir da tipologia de floresta ombrófila aberta. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo executar uma análise técnica comparando os sistemas de manejo florestal em faixas alternadas (MAFA) e seletivo (SS) executado na região nordeste do Brasil, como forma de obter-se lenha para produção de carvão vegetal.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi conduzido nas Unidades de Produção Anual (UPA) nº 01 e 02 do projeto de manejo florestal sustentável MAGELA (04° 35' 20" S e 43° 49' 55,2" W), protocolado no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis do Maranhão (IBAMA-MA) sob nº 02012002409/00. O projeto MAGELA está localizado no município de Codó, estado do Maranhão, e tem como detentor a empresa Maranhão Gusa S/A. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com temperatura e precipitação média anual de 27 °C e 2.000 mm, respectivamente, sendo 80% desta pluviosidade distribuída entre os meses de janeiro e abril (SUDAM, 1984).

O relevo varia de plano a suavemente ondulado com poucos trechos nos quais podem ser encontrados grotas estreitas que formam baixões sinuosos. O solo é do tipo arenoso, com algumas manchas de Latossolo Amarelo Acinzentado e pequenos trechos de solo pedregoso. A vegetação, classificada como Floresta Ombrófila Aberta com Cipó, já sofreu exploração seletiva não autorizada, com retirada de moirões e espécies madeireiras de valor comercial, tais como: *Handroanthus* sp. e *Cedrela* sp. (GAMA, 2004).

Sistema silviculturais

As UPAs 1 e 2 foram colhidas aplicando-se dois sistemas silviculturais: Sistema de Manejo em Faixas Alternadas (MAFA) e Sistema Seletivo (SS).

O MAFA originalmente denominado de Sistema de Corte em Faixa (SCF) foi proposto para explorar a floresta em cortes rasos, em faixas estreitas, que imitam os distúrbios naturais da floresta, tais como as clareiras provocadas por queda de árvores. O sistema está fundamentado nos seguintes aspectos: largura da faixa, crescimento da regeneração natural, ausência de queimadas e de maquinário pesado (ARIAS, 1998). Além disso, no primeiro corte pode-se retirar de 30% a 70% do volume total da floresta (ALONSO, 1978).

A modificação do SCF para ser denominado de MAFA levou em consideração as restrições de aproveitamento florestal dispostas na Instrução Normativa nº 03/2001, que regulamentava a execução de planos de manejo para a região Nordeste do Brasil na época de execução do MAFA (IBAMA, 2001).

O MAFA consistiu em delimitar a floresta em faixas de 75 m, as quais foram subdivididas em subfaixas de 50 m (I) e 25 m (II), sendo a colheita realizada primeiro na subfaixa I, enquanto a subfaixa II manteve-se preservada de corte (Figura 1). Após o estabelecimento da regeneração natural, comprovado mediante monitoramento na subfaixa I, a colheita é realizada na subfaixa II.

Figura 1. Croqui de localização das faixas, Projeto MAGELA, município de Codó, estado do Maranhão, Brasil.
Figure 1. Sketch of the location of the strips, MAGELA Project, Codó municipality, Maranhão State, Brazil.

A largura da faixa corresponde a duas vezes e meia a altura total média dominante da floresta (H_{dom} é igual a altura média das 100 árvores de maior altura da amostra inventariada), ou seja, $L = 2,5 \times H_{dom}$. As faixas foram locadas no sentido leste-oeste magnético, para maximizar a incidência de luminosidade no interior da subfaixa de colheita.

No sistema MAFA foram colhidas 60% das árvores com $15 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 40 \text{ cm}$ e 90% das árvores com $15 \text{ cm} > \text{DAP} \geq 40 \text{ cm}$, para um ciclo de corte de 26 anos. Essas classes de diâmetro foram adotadas porque árvores remanescentes abaixo de 15 cm de DAP, normalmente são derrubadas pelo vento ou ficam vergadas, além do que os fustes de árvores acima de 40 cm de DAP apresentam alta incidência de oco em floresta ombrófila aberta. A seguir, são descritas as atividades realizadas no sistema MAFA:

- Delimitação da Unidade de Produção Anual (UPA) e das Unidades de Trabalho (UTs);
- Inventário florestal, por amostragem, microzoneamento, caracterização socioeconômica e diagnóstico de fauna;
- Locação das faixas na UT obedecendo a direção leste-oeste;
- Identificação das faixas com marcos de madeira;
- Instalação e primeira medição das parcelas permanentes;
- Desbaste do sub-bosque (corte de cipó e arbustos de pequeno porte), para dinamizar as atividades das equipes de silvicultura e colheita;
- Seleção e marcação, com tinta vermelha, das árvores matrizes e imunes de corte na faixa de colheita;
- Abertura do carreador, sempre que possível, no centro da faixa de colheita;
- Colheita mediante abate direcional, operação que visa a derrubada de todas as árvores que não estejam marcadas, efetua-se o corte das menores para as maiores árvores;
- Traçamento da lenha - comprimento entre 1,0 m e 1,10 m e empilhamento, em até quatro fileiras, duas de cada lado do carreador;
- Rebaixamento e espalhamento da galhada, de forma homogênea, por toda a extensão da faixa de colheita, objetivando aumentar a camada vegetal em contato com o solo e, dessa maneira, acelerar a decomposição da fitomassa residual;
- Extração e transporte da lenha, até a praça de carvoejamento, com trator de pneu equipado com reboque;
- Reinstalação e segunda medição das parcelas permanentes;
- Tratamento silvicultural (liberação das mudas e desbaste das cepas) aplicado no período de 1,5 a 2 anos após a colheita.

No sistema seletivo (SS) foi prescrito que todas as árvores com $\text{DAP} < 8 \text{ cm}$ não seriam cortadas, sendo colhidos 90% das árvores com $\text{DAP} < 8 \text{ cm}$, para um ciclo de corte estimado para 30 anos. A seguir, são descritas a sequência de atividades realizadas no SS:

- Delimitação da Unidade de Produção Anual (UPA) e das Unidades de Trabalho (UTs);
- Inventário florestal, por amostragem, e microzoneamento;
- Instalação e primeira medição das parcelas permanentes;

- Tratamento silvicultural de corte de cipó;
- Seleção e marcação, com tinta vermelha, das árvores matrizes e imunes de corte na UT;
- Abertura de carregadores de 50 em 50 m na UT;
- Colheita mediante abate direcional. Aplicou-se uma altura de corte foi de, aproximadamente, 15 cm com pequena inclinação (em bixel) para não acumular água da chuva em cima da cepa;
- Traçamento da lenha no comprimento de 1,10 m e empilhamento em até quatro fileiras, duas de cada lado do carregador;
- Rebaixamento e espalhamento da galhada, de forma homogênea, por toda a extensão da faixa de colheita;
- Extração e transporte da lenha, até a praça de carvoejamento, com trator de pneu equipado com reboque;
- Reinstalação e segunda medição das parcelas permanentes;
- Tratamento silvicultural (liberação das mudas e desbaste das cepas) aplicado no período de 1,5 a 2 anos após a colheita.

Em ambos os sistemas silviculturais, as árvores-matrizes foram selecionadas considerando os melhores padrões fenotípicos (fuste reto, sem oco, sem cupim, copa em bom estado fitossanitário e bem distribuída). As espécies que apresentaram usos mais nobres (estaca e serraria), proibidas de corte por lei (*Orbignya* sp., *Astronium* sp. e *Caryocar* sp.) e as protegidas por ato próprio, devido apresentarem, em média, menos de um indivíduo por hectare e três ou mais usos conhecidos, não foram colhidas, ou seja, todos os indivíduos com essa característica foram eleitos como proibidas de corte.

Coleta de dados

Foram instaladas seis parcelas permanentes de 50 m x 200 m (1 ha), três em cada sistema silvicultural. Cada parcela foi inventariada em duas ocasiões, antes (2001) e após (2004) a colheita florestal, para obtenção de dados quantitativos da estrutura da floresta e estimação dos coeficientes técnicos de manejo florestal. Nos dois inventários florestais o nível de inclusão foi de $DAP \geq 5$ cm, utilizando-se duas classes de tamanho (CT), CT 1 ($5 \text{ cm} \leq DAP < 15 \text{ cm}$) em sub-parcelas de 5 x 50 m e CT2 ($DAP \geq 15 \text{ cm}$) em toda a parcela.

Em cada ocasião de monitoramento, foram anotados nome regional de cada indivíduo, circunferência do tronco à altura de 1,30 m do solo (CAP), altura total (Ht), qualidade de fuste (QF_1 = reto, QF_2 = pouco tortuoso e QF_3 = tortuoso), presença de oco (PO_0 = sem oco e PO_1 = com oco) e ocorrência de cupim (OC_0 = sem cupim e OC_1 = com cupim). Também foi registrado no inventário pós-colheita a presença de danos nas árvores remanescentes (PD_0 = nenhum dano, PD_1 = dano ao fuste, PD_2 = dano à copa e PD_3 = dano ao fuste e à copa).

Análise de dados

A estrutura paramétrica foi avaliada considerando-se o número de árvores, área basal e volume, por hectare e por classe diamétrica com amplitude de 5 cm, a partir do diâmetro mínimo de inclusão ($DAP \geq 5 \text{ cm}$).

Devido à presença de tronco sulcado nas árvores de *Cenostigma macrophyllum* Tul. (Caneleiro) e a necessidade de ser obter estimativas mais confiáveis do volume e área basal individual das espécies, os dados foram divididos em caneleiro e “outras espécies”.

A estimativa da área basal do caneleiro foi realizada por meio do percentual de área seccional sólida de todas as árvores, que foi calculada por meio da equação [1] desenvolvida por Gama (2004). Em seguida, por meio de simples conversões, obteve-se a área.

A estimativa da área basal do caneleiro foi realizada obtendo-se o percentual de área seccional sólida de todas as árvores por meio da equação [1], desenvolvida por Gama (2004). Em seguida, por meio de uma simples conversão, obteve-se a área basal dos indivíduos, enquanto que o volume foi obtido por meio da equação [2]. O volume individual das “outras espécies” foi estimado pelas equações [3] e [4] para árvores com e sem oco, respectivamente. As equações utilizadas foram ajustadas por Gama (2004).

- Percentual de área seccional sólida de *Cenostigma macrophyllum* Tul:

$$AS_{\%} = 11,117647(d + 29,173125)^{-0,7196937}, \bar{R}^2 = 85,1\% \quad (1)$$

- Volume para árvores de *Cenostigma macrophyllum* Tul.:

$$\text{Ln}(\hat{V}) = -10,4338 + 2,2923\text{Ln}(\text{dap}) + 0,7222\text{Ln}(\text{Ht}) - 0,0119\text{dapD} ; \bar{R}^2 = 97,7\% \quad (2)$$

- Volume para árvores com oco:

$$\text{Ln}(\hat{V}) = -10,8656 + 1,6775\text{Ln}(\text{dap}) + 1,6489\text{Ln}(\text{Ht}) - 0,0140\text{dapD} ; \bar{R}^2 = 94,2\% \quad (3)$$

- Volume para árvores sem oco:

$$\text{Ln}(\hat{V}) = -9,83882 + 2,1688\text{Ln}(\text{dap}) + 0,80601\text{Ln}(\text{Ht}) - 0,0188\text{dapD} ; \bar{R}^2 = 98,7\% \quad (4)$$

Em que: $AS_{\%}$ = percentual da área seccional sólida; d = diâmetro das secções, em cm; V = volume do fuste ou total com casca, m^3 ; dap = diâmetro a 1,3 m de altura do solo, em cm; Ht = altura total, em m; D = 0 para volume total; D = 1 para volume de fuste; e Ln = logaritmo neperiano.

O número de árvores por hectare e por classe de diâmetro, antes e após a colheita, foi estimado por meio da equação de Meyer (1952) $\text{Ln}(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon$, sendo Y_i = número de árvores por hectare da i-ésima classe de DAP; X_i = diâmetro correspondente ao centro da i-ésima classe de DAP; β_0 e β_1 = parâmetros da regressão; ln = logaritmo neperiano; ε = erro de estimativa. Posteriormente, para comparar as distribuições de densidade (n/ha), área basal (m^2/ha) e volume total (m^3/ha) por classe de diâmetro, utilizou-se o teste F de Graybill (1976), a 5% de probabilidade.

O rendimento operacional das equipes de colheita, compostas por motosserristas e ajudantes, foi avaliado por meio de um estudo de tempo. Usou-se um cronômetro digital para registrar os tempos de cada atividade.

O tempo foi registrado em minutos e posteriormente transformado em horas. Os elementos observados foram: tempo médio de trabalho (permanência na faixa de colheita), interrupções operacionais (enganchamento da árvore, presença de terra no tronco, entrelaçamento das árvores, dificuldade de acesso para abate, enganchamento e enguiçamento da motosserra, presença de insetos e ocorrência de chuva), paralisações para manutenção (afiação da corrente, abastecimento, limpeza de filtro, quebra de corrente), interrupção para alimentação (lanche, café, etc.) e outras interrupções (MINETTI et al., 2000).

Ao fim disso, calculou-se a produtividade em estéreo por hora (st/hora) de trabalho total e estéreo por dia (st/dia), sendo o trabalho total o somatório do tempo de trabalho real com o tempo das interrupções.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição diamétrica

A floresta apresentou distribuição diamétrica contínua decrescente antes e após a colheita florestal nos sistemas MAFA e SS, com maior quantidade de árvores nas classes inferiores de diâmetro, 7,5 e 12,5 cm, e menor número nas últimas classes (Figura 2), seguindo a típica distribuição de diâmetros em forma de J-invertido, que é comum às florestas inequidâneas tropicais (REIS et al., 2013; SOUZA et al., 2014). A mesma tendência foi observada quando as distribuições diamétricas foram estimadas por meio das funções de Meyer. O padrão exponencial negativo encontrado após a aplicação dos sistemas pode ser explicado pela seleção de árvores matrizes em todas as classes diamétricas (Figura 2 e Tabela 1).

As comparações realizadas antes da colheita, entre as distribuições de densidade e volume, apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste F de Graybill, exceto para área basal, indicando que as estruturas paramétricas do sistema MAFA e SS eram diferentes, apesar das parcelas terem sido locadas nas mesmas unidades de trabalho.

Após a colheita, as distribuições continuaram apresentando diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste F de Graybill, devido ao sistema MAFA ter apresentado menor número de árvores nas classes de menor diâmetro ($DAP < 15$ cm) e um número maior de árvores nas classes de maior diâmetro ($DAP \geq 15$ cm), decorrente do critério de remoção do número de árvores.

Figura 2. Distribuição do número de árvores por hectare e por classe diamétrica antes e após a exploração no sistema MAFA somente na faixa de colheita e no sistema SS em toda a área, Projeto MAGELA, município de Codó, estado do Maranhão, Brasil.

Figure 2. Distribution of trees per hectare and by diameter class, before and after the exploitation in the MAFA system only in the harvesting strip, and in the SS system in the whole area, MAGELA Project, Codó Municipality, Maranhão State, Brazil.

Tabela 1. Coeficientes e medidas de precisão obtidas pela equação de Meyer, Projeto MAGELA, município de Codó, estado do Maranhão, Brasil.

Table 1. Coefficients and accuracy measures obtained through the Meyer equation, MAGELA Project, Codó Municipality, Maranhão State, Brazil.

Fase	Sistema MAFA				Sistema SS			
	b_0	b_1	$\bar{R}^2_{\%}$	$S_{y,x}\%$	b_0	b_1	$\bar{R}^2_{\%}$	$S_{y,x}\%$
Pré-colheita	6,31108	-0,0858	0,92	23,8	6,18205	-0,087	0,91	27,9
Pós-colheita	4,43812	-0,0737	0,88	56,8	3,8121	-0,066	0,67	127,4

Em que: β_i : coeficientes da equação; $\bar{R}^2_{\%}$: coeficiente de determinação, em percentagem; $S_{y,x}\%$: erro padrão residual, em percentagem.

Na faixa de colheita do sistema MAFA foram removidas 62% das árvores com $15 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 40 \text{ cm}$, 90% das árvores com $5 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 15 \text{ cm}$ e 84% das árvores com $\text{DAP} \geq 40 \text{ cm}$, permanecendo na floresta 187,7 árvores/ha (105,0 árvores/ha com $\text{DAP} < 15 \text{ cm}$ e 82,7 árvores/ha com $\text{DAP} \geq 15 \text{ cm}$). A área basal sofreu uma redução de 77% e o volume total de 75%, o que resultou numa colheita de 191,59 m³/ha ou 347,50 st/ha. Segundo Jesus e Garcia (1991) esse nível de intervenção silvicultural e a produtividade de lenha estão dentro dos padrões de produção sustentada, para floresta ombrófila aberta no estado do Maranhão.

No sistema SS foram colhidos 77% das árvores com $5 \text{ cm} \leq \text{DAP} < 8 \text{ cm}$ e 82% das árvores com $\text{DAP} \geq 8 \text{ cm}$, permanecendo na floresta 254,0 árvores/ha (214,3 árvores/ha com $\text{DAP} < 15 \text{ cm}$ e 39,7 árvores/ha com $\text{DAP} \geq 15 \text{ cm}$). A área basal sofreu uma redução de 86% e o volume total de 88%, o que correspondeu na colheita de 187,73 m³/ha ou 335,92 st/ha. Quando o objetivo do manejo é madeira, a colheita seletiva, em algumas situações, chega a eliminar, aproximadamente, 89% das árvores com $\text{DAP} < 20 \text{ cm}$ (OCHOA, 1998).

A prescrição de colheita do sistema SS recomenda que nenhuma árvore com $\text{DAP} < 8 \text{ cm}$ seja abatida, porém a maioria dessas árvores foi severamente danificada na colheita das maiores árvores (JOHNS et al., 1996; UHL; VIEIRA, 1989). Isso indica que nas áreas que forem manejadas por meio do sistema SS, provavelmente, a regeneração levará um maior tempo para se recuperar.

Ao longo dos operações de colheita observaram-se as seguintes vantagens do sistema MAFA: (1) *maior facilidade de colheita e extração*, devido ao desbaste de sub-bosque; (2) *maior segurança do trabalho na fase de colheita*, devido as maiores árvores não caírem por cima das menores, deixando-as vergadas ou quebradas; (3) *maior número de árvores remanescentes de médio a grande porte*, podendo ocasionar maior floração e produção de frutos/sementes, aumentando o estoque do banco de sementes e alimentação para a fauna; (4) *menor número de árvores derrubadas pelo vento*; (5) *menor risco de incêndios florestais*, devido as faixas serem colhidas alternadamente; (6) *menos estresse para a fauna*, devido as subfaixas que serão colhidas posteriormente servirem como corredores ecológicos; (7) *melhor ordenamento da colheita*, devido as atividades serem concentradas nas faixas de corte, resultando em redução de desperdícios sem aumentar a complexidade operacional e (8) *menor impacto na paisagem, ou seja melhor estética da floresta remanescente*.

É importante lembrar que o sistema MAFA exige um controle rigoroso da largura da faixa (HARTSHORN, 1989; JEGLUM, 1987), seleção e distribuição de árvores remanescentes e o não uso de maquinário pesado. Devido à intensidade de colheita, é mais recomendado para comunidades que apresentam predomínio de espécies que se regeneram por brotações de cepas, tais como as florestas abertas, decíduas e semidecíduas.

Qualidade da floresta remanescente

A colheita florestal, mesmo que seja cuidadosamente planejada e executada, sempre produzirá danos às árvores remanescentes, com intensidade variando de acordo com o método de extração utilizado. No sistema MAFA, 19,4% (36,4 árvores/ha) dos indivíduos remanescentes apresentaram algum tipo de dano, enquanto que no sistema SS registrou-se 25,3% (64,3 árvores/ha) das árvores remanescentes. Em uma colheita planejada para produção de madeira pelo menos 30% das árvores do povoamento manejado sofrem algum tipo de injúria (BULFE et al., 2009; HENDRINSON, 1989).

O maior dano à vegetação, em ambos os sistemas, foi a quebra de parte da copa, ocasionado pelo abate de árvores vizinhas de maior porte, sendo o sistema SS o que apresentou o maior número de árvores danificadas nas três categorias avaliadas (Figura 3). Isso corrobora a hipótese que de os impactos inerentes à colheita florestal são menores onde aplicou-se o sistema MAFA.

Com referência a qualidade estrutural da floresta, antes da colheita 57% dos indivíduos apresentavam fustes variando de reto a pouco tortuoso no sistema MAFA, após a colheita esse percentual foi de 94% dos indivíduos. A mesma tendência foi observada no sistema SS, porém com percentuais de 55,0 e 88,0% antes e após a colheita, respectivamente. Isso demonstrou que nesses sistemas silviculturais, principalmente no MAFA, as árvores remanescentes possuem boas características fenotípicas.

Figura 3. Danos de colheita no sistema MAFA e no sistema SS, Projeto MAGELA, município de Codó, estado do Maranhão, Brasil.

Figure 3. Harvest damage in the MAFA and SS systems, MAGELA Project, Codó Municipality, Maranhão State, Brazil.

Com relação à ocorrência de oco, constatou-se uma redução de 15,0% para 4,0% (7,5 árvores/ha) dos indivíduos com oco no MAFA e de 22,0% para 3,0% (7,6 árvores/ha) no sistema SS. Quanto à ocorrência de cupins, houve uma redução de 12% para 6% do número de árvores com cupins no fuste no sistema SS e MAFA após a colheita. Isso demonstra que a colheita priorizou árvores ocas, tortuosas e com cupins, evitando a degeneração genética das espécies submetidas ao manejo florestal sustentável, assim nos próximos ciclos de corte esperasse que, junto a aplicação de tratamento silviculturais (liberação de mudas e desbastes de cepas), a floresta apresente indivíduos com melhores qualidades estruturais e genéticas.

Ciclo de trabalho da equipe de colheita

O ciclo total de trabalho foi maior no sistema MAFA (7h 9min) do que no sistema SS (7h 02min). No sistema SS, ocorreu maior número de interrupções de operação e manutenção, destacando-se as interrupções operacionais devido ao enganchamento e entrelaçamento das árvores fazendo com que a colheita ficasse mais perigosa e trabalhosa. O enganchamento, além de dificultar a queda, exigiu a derrubada de árvores adicionais. Segundo Minetti et al. (1991), somente o enganchamento da árvore com derrubada de outra representa mais de 60% do total de tempo gasto com interrupções no abate.

As interrupções totalizaram 30,0% e 41,1% do tempo total de trabalho no sistema MAFA e SS, respectivamente. Em geral, do tempo total das interrupções para manutenção, o abastecimento e a afiação representaram, respectivamente, 52,8% e 41,7% do tempo no sistema MAFA e 46,7% e 43,2% do tempo no sistema SS. Minetti et al. (2000), avaliando o desempenho do motosserra no corte de árvores com DAP ≥ 50 cm, verificaram que a afiação consumiu mais tempo (46,7%) do que o abastecimento (23,6%), devido à ocorrência de árvores muito duras para corte, árvores com altos teores de sílica ou com a presença de látex, goma ou resina.

Tabela 2. Produtividade média das equipes de colheita, por parcela, no sistema MAFA e no sistema SS, Projeto MAGELA, município de Codó, estado do Maranhão, Brasil.

Table 2. Mean productivity per harvesting team, per plot, in the MAFA and SS systems, MAGELA Project, Codó Municipality, Maranhão State, Brazil.

Parcela	VTc	DT	Tempo de trabalho (h)		Produtividade média		
			Total	Diário	st/hora	st/dia	m ³ /dia
MAFA 1	322,0	17,0	108,3	6,37	2,97	18,94	10,52
MAFA 2	350,5	20,0	155,4	7,7	2,26	17,53	9,74
MAFA 3	370,0	20,0	156,5	7,83	2,36	18,50	10,28
Média	347,5	19,0	140,1	7,32	2,53	18,32	10,18
SS 1	288,5	18,0	117,1	6,50	2,46	16,03	8,90
SS 2	298,7	18,0	126,1	7,00	2,37	16,60	9,22
SS 3	420,5	26,0	197,7	7,60	2,13	16,17	8,99
Média	335,9	20,7	146	7,04	2,32	16,27	9,04

VTc = volume total de colheita, em st/ha; DT = dias trabalhados; Conversão st/m³ = 1,8.

Mais da metade das paradas para afiação ocorrem após o corte de árvores com oco, principalmente caneleiro (*Cenostigma macrophyllum* Tul.), devido a presença de terra no tronco (material depositado por cupins). A produtividade média das equipes de colheita (motosserrista e ajudante) foi de 18,32 e 16,27 st/dia no sistema MAFA e SS, respectivamente, indicando que o sistema MAFA foi mais produtivo (13%). A diferença de produtividade foi devida, em parte, ao desbaste de sub-bosque que facilita o deslocamento da equipe de colheita e a rotina operacional de abate das árvores, que começou das menores para as maiores.

CONCLUSÕES

Em Floresta Ombrófila Aberta com Cipó, já explorada, o sistema MAFA apresentou maior viabilidade ambiental, melhor rendimento operacional de colheita (corte e traçamento) e mais produtividade do que o Sistema Seletivo utilizado no Nordeste brasileiro para produção de lenha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, A. V. *Los tratamientos silviculturales*. Santiago: Universidad de Chile, 1978. 234 p.
- ARIAS, W. P. Regeneración natural después de cinco años em fajas aprovechadas a tala rasa Valle del Palcazú-Perú. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE POSIBILIDADES DE MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EM AMERICA TROPICAL, 1., 1997, Santa Cruz de la Sierra. *Anais...* Santa Cruz de la Sierra: Proyecto BOLFOR/CIFOR/IUFRO, 1998. p. 206-213.
- BULFE, N. M. L.; GALVÃO, F.; FILHO, A. F.; DONAGH, P.M. Efeitos da exploração convencional e de impacto reduzido em uma floresta estacional semidecidual, na província de Misiones, nordeste da Argentina. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 365-379, 2009.
- CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Modernização da produção de carvão vegetal no Brasil: subsídios para revisão do Plano Siderurgia*. Brasília: CGEE, 2015. 150 p.
- CHAGAS, R. C. M. *Em busca da sustentabilidade: reflorestamento versus floresta nativa como fonte de carvão vegetal para guseiras ao longo da estrada de ferro Carajás*. 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.
- GAMA, J. R. V. *Manejo florestal em faixas alternadas para floresta ombrófila aberta no município de Codó, estado do Maranhão*. 2004. 126 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.
- GRAYBILL, F. A. *Theory and application of the linear model*. 1.ed. North Scituate: Ouxburg Press, 1976. 704 p.
- HARTSHORN, G. Application of gap theory to tropical forest management: natural regeneration on strip clear-cuts in the Peruvian Amazon. *Ecology*, Washington, v. 70, n. 3, p. 567-569, 1989.
- HENDRINSON, J. *Damage: controlled logging in managed tropical rain forests in Suriname*. 2.ed. Wargeningen: Agricultural University, 1989. 224 p.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Instrução Normativa nº 03, de 04/05/2001*. Brasília: IBAMA, 2001, 41 p.
- JEGLUM, J. K. Alternate strip clearcutting in upland black spruce. II. Factors affecting regeneration in firstcut strips. *The Forestry Chronicle*, Ottawa, v. 63, n. 6, p. 439-445, 1987.

JESUS, R. M.; GARCIA, A. Produção sustentada: uma alternativa para o desmatamento. In: SEITZ, R. A.; REISSMANN, C. B.; CARNEIRO, J. G. A.; MALINOVSKI, J. R.; SOARES, R.V. (Org.). **O desafio das florestas neotropicais**. Curitiba: UFPR/ UAL, 1991, p. 226-242.

JOHNS J.; BARRETO, P.; UHL, C. Logging damage in planned and unplanned logging operations and its implications for sustainable timber production in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.89, n. 1-3, p.59-77, 1996.

JONKERS, W. B. J. **Vegetation structure, logging damage and silviculture in a tropical rain forest in Suriname**. Wageningen: Agricultural University, 1987. 186 p.

MEYER H. A. Structure, growth, and drain in balanced uneven-aged forests. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.50, n. 2, p. 85-92, 1952.

MINETTI, L. J.; COIC, A.; SOUZA, A. P. Estudos metodológicos aplicados à exploração racional de floresta tropical úmida sob regime de manejo sustentado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL; 1., 1991, Belo Horizonte. **Anais...** Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 1991. p. 19-34.

MINETTI, L. J.; OLIVIEIRA-FILHO, R. F.; PINTO, L. A. A.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Análise técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de terra-firme na Amazônia ocidental. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 429-435, 2000.

MONTEIRO, M. A. A produção de carvão vegetal na Amazônia: realidades e alternativas. **Paper da NAEA**, Belém, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2004.

OCHOA J. G. Análisis preliminar de los efectos del aprovechamiento de maderas sobre la composición y estructura de bosques en la Guyana Venezolana. **Interciencia**, Caracas, v. 23, n. 4, p 197-207, 1998.

REIS P. C. M.; REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; QUEIROZ, W. Effect of timber harvesting on density and basal area of Lecythidaceae species in the Eastern Amazon. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 229-238, 2013.

SANTOS S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. **Production**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. B.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Projection of diametric distribution and carbono stock of a managed forest in Manaus/AM. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 525-534, 2014.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Projeto de hidrologia e climatologia da Amazônia**: Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira. Belém: SUDAM, 1984. 125 p.

UHLG, A.; GOLDEMBERG J.; COELHO, S. T. O uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Energia**, Itajubá, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

UHL, C.; VIEIRA, I. C. G. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region in the state of Pará. **Biotropica**, Lawrence, v. 21, n. 2, p. 98-106, 1989.

Recebido em 02/05/2017

Aceito em 13/11/2017