



7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia
Cáceres, Extremadura

7CFE01-267

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

DENSIDAD ÓPTIMA DE CAMINOS FORESTALES CON LA EXTRACCIÓN DE MADERA DE *Eucalyptus* PARA *CLAMBUNK SKIDDER*

PEREIRA, M.M.¹; LEITE, A.M.P.²; ACOSTA, F.C.³ y PATINO, H.F.M.⁴

¹ Engenheiro Florestal e Mestre em Ciências Florestais na UFVJM, Brasil.

² Prof. Depart. de Engenharia Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Brasil.

³ Prof. do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Brasil.

⁴ Engenheiro Florestal e Mestrando em Ciências Florestais na UFVJM, Brasil.

RESUMEN

El objetivo fue determinar la densidad óptima de vías forestales (DOE) para extracción de madera con *Clambunk skidder*. Este trabajo fue adelantado en una plantación forestal de eucalipto, ubicada en Minas Gerais, Brasil. El sistema de aprovechamiento evaluado fue "fustes enteros". Se evaluó el rendimiento de la máquina de acuerdo a la distancia de extracción y a dos clases de pendiente, clase I (0 a 15°) y clase II (16 a 25°), utilizando la técnica de los estudios de tiempo y movimiento. Se estimó la DOE por medio de dos métodos directos y, uno tercero método indirecto, utilizando tres modelos de predicción del tiempo del ciclo operacional (métodos 1, 2 y 3, respectivamente). Se encontró que la extracción de madera por *Clambunk skidder* está influenciada por la pendiente y la distancia, reduciendo la productividad cuando estos factores se incrementan, elevando así los costos de extracción. Los métodos 2 y 3 fueron adecuados para estimar DOE, siendo el 3 más recomendable. El intervalo óptimo de DOE está entre 40,5 y 49,5 m.ha⁻¹ para la clase I y, 73,2-89,4 m.ha⁻¹ para la clase II. La densidad actual de las vías en la plantación es mayor al DOE estimado (óptimo recomendable), elevando el costo entre 0,73 y 1,93 (R\$.m⁻³) para clases de pendiente I y II, respectivamente.

Palabras clave

Aprovechamiento forestal, vías, racionalización.

1. Introducción

El aprovechamiento forestal desempeña un papel importante en la racionalización de los costos de producción de madera, debido al grande impacto económico en el valor final del producto, Por intermedio de la mecanización mejoras significativas ya fueron alcanzados en esta actividad, mas, la planificación es fundamental en la definición de las mejores condiciones operacionales para aumentar la productividad de las maquinas forestales y, consecuentemente, reducir los costos de producción.

Dentro las fases de aprovechamiento forestal la extracción de madera se destaca, siendo considerada por diversos autores como el punto crítico del sistema como un todo. Las maquinas utilizadas en esta actividad tienen su productividad y costo afectados principalmente por la pendiente del terreno y la distancia de extracción. Debido a la importancia de la distancia de extracción, uno de los principales ítems del gerenciamiento de esta operación corresponde a la modificación de la calidad / distancia entre las vías. Luego, la gestión y la planificación de las vías forestales y la extracción de la madera son realizados de forma conjunta, donde el dimensionamiento óptimo de estas es determinado en función de la actividad de extracción, cuyos valores dependerán principalmente de las características de los métodos a ser utilizados y de la pendiente de los rodales (ZAGONEL et al., 2008).

Además de influenciar la extracción de madera las vías forestales son la base de toda actividad forestal, por permitir el acceso a las plantaciones desde el proceso de implementación, practicas silvicultura les y el transporte de madera, Así, en la relación extensión de vía *versus* hectáreas de bosque se debe buscar un equilibrio, donde la ventaja de una red menos densa es evaluada comparando el aumento en los costos de extracción de madera con el ahorro obtenido en la construcción y mantenimiento de las vías (GHAFARIAN et al., 2009). En este sentido, se viene utilizando la densidad óptima de vías forestales (DOE), un método que permite optimizar no

57 solo los costos con las vías, como también los costos del aprovechamiento forestal, ya que el
58 objetivo final es minimizar el costo total de la vía y la extracción, los principales factores que
59 afectan la densidad de vías.
60

61 Las redes de vías forestales se diferencian en términos técnicos en cuanto a la situación
62 topográfica del área, el sistema de transporte, el tipo de máquinas y sistemas de
63 aprovechamiento, por lo tanto, la construcción de vías y los costos de mantenimiento sean
64 distintos en función de esos factores. En tanto, se torna importante saber cuáles costos deben
65 ser minimizados para que la mejor densidad y espaciamiento entre vías sean alcanzados, bien
66 como para definir el método a ser aplicado, al final se debe tener resultados más precisos y
67 reales. En este sentido, las comparaciones entre los métodos disponibles para obtener la
68 densidad óptima de vías forestales (DOE) es de suma importancia en términos de planificación, a
69 fin de escoger la DOE más adecuada con base en las condiciones locales (GHAFFARIAN et al.,
70 2009).
71

72 Debido a los elevados costos de adquisición, manutención y operación del *Clambunk*
73 *skidder*, es que se tornan necesarios los estudios auxiliares en la optimización de su uso y, como
74 la productividad de esta máquina es afectada principalmente por la distancia de extracción y por
75 la topografía (SANTOS et al., 2013), el cálculo de la densidad optima de vías para la situación es
76 de fundamental importancia.
77

78 Como los métodos existentes para determinar la DOE no fueran aún comparados para
79 definir cuál es el más adecuado en el establecimiento de la relación costo de la vías *versus* costo
80 de extracción con *Clambunk skidder*, es que el desarrollo de esta investigación está más que
81 justificada.
82

83 2. Objetivo

84

85 Determinar la densidad optima de vías en áreas de producción de eucalipto, con extracción
86 de madera realizada por *Clambunk skidder* a través de tres métodos distintos, estimando
87 también la densidad de vías actual de la empresa evaluada y comparando el resultado con el
88 valor de DOE determinado.
89

90 3. Metodología

91

92 3.1 Caracterización del área de estudio y de la operación

93

94 La investigación fue desarrollada en áreas de aprovechamiento forestal de *Eucalyptus* sp.,
95 pertenecientes a una empresa siderúrgica con sede en el municipio de Dionísio-MG (latitud
96 19°48' sur e longitud 42°31' oeste). El clima predominante de la región es del tipo Aw (clima
97 húmedo tropical), según la clasificación de Köppen, con un periodo de lluvias y otro periodo seco
98 bien definidos. La precipitación media anual es de 1.450 mm y la temperatura media anual esta
99 entre 20 y 30°C. Los suelos son de tipo Latossolo Rojizo-amarillo. El relieve varia de ondulado a
100 fuertemente ondulado, siendo que el trabajo se desarrolló en dos clases de pendiente, 0 - 15,9°
101 (clase I) e 16 - 25° (clase II).
102

103 Las plantaciones poseían aproximadamente 7 años de edad, siendo ejecutado el corte
104 raso de los árboles. El sistema de aprovechamiento utilizado fue *tree length* (trozas largas),
105 donde los arboles fueran derrumbados utilizando un tractor forestal *Feller-buncher* y dispuestas
106 en franjas paralelas a la vía. Posteriormente fueran semiprocesados (desramado y descopado)
107 con motosierra, para entonces ser arrastrados por el tractor forestal *Clambunk skidder* John
108 Deere modelo 1710D hasta el borde del rodal.
109

110 El ciclo operacional del *Clambunck skidder* fue subdividido en: *desplazamiento descargado*
111 (se inició en el momento en que la maquina se desplaza del borde de la vía en dirección a los
112 ejes y termina cuando comienza a mover la grúa para cargar); *formación de la carga* (se inicia

113 cuando la grúa es direccionada hacia los ejes de los fustes y termina cuando el eje es
114 posicionada sobre la garra invertida); *desplazamiento cargado* (se inicia cuando el
115 desplazamiento con la carga es iniciado y termina cuando llega próximo de la siguiente madera
116 apilada al borde de la vía); *descargue* (se inicia cuando, al aproximarse a la madera apilada al
117 borde de la vía, el operador retira la madera de la garra invertida con la ayuda de la grúa,
118 terminando cuando la grúa es posicionada sobre la garra para inicio de un nuevo desplazamiento
119 cargado).

120

121 Entre las dos clases de pendiente hubo diferencia en el sentido de la extracción, en la
122 clase I el arrastre es realizado para los dos lados de la vía, de modo que la maquina se desplaza
123 solo hasta el centro del rodal y retorna para cada lado. En la clase II, debido a la inclinación del
124 terreno más acentuada, el sentido del arrastre es siempre descendiendo, en sentido único.

125

126 3.2 Toma de datos

127

128 La evaluación de la actividad de extracción de madera fue realizada por medio de estudio
129 de tiempos y movimientos, con toma de datos realizado en agosto de 2014. Fue cronometrado el
130 ciclo evaluado que contempla una operación completa del *Clambunck skidder* (desplazamiento
131 descargado; cargue; desplazamiento cargado e descargue), bien como la medición de la
132 distancia de extracción y el número de árboles arrastrados en cada ciclo operacional.

133

134 La distancia de extracción fue obtenida por el computador a bordo de la máquina y al final del
135 descargue fue realizado el conteo de los árboles. Con el volumen medio por árbol del rodal fue
136 posible determinar los volúmenes individuales de las cargas arrastradas por ciclo.

137

138 3.3 Análisis de la densidad óptima de vías

139

140 La densidad óptima de vías fue estimada por intermedio de tres métodos distintos: método
141 directo introducido por la FAO (1976) (método 1); método indirecto propuesto por Pereira Neto
142 (1995) (método 2) y; método indirecto utilizando modelos de previsión de tiempo (GRAFFARIAN e
143 SESSIONS, 2007; BAGHERI et al., 2009; GRAFFARIAN et al., 2009) (método 3).

144

145 3.3.1 Método 1

146

147 Por este método, la densidad óptima de vías es estimada directamente a partir de la
148 siguiente fórmula (FAO, 1976).

149

$$DOE = 50 \sqrt{\frac{C.T.V.q}{R}} \quad (1)$$

150

151 En que:

152 DOE = densidad óptima de vía ($m \cdot ha^{-1}$);

153 C = costo de extracción en $R\$ \cdot m^{-3} \cdot km^{-1}$;

154 T = valor de corrección para extracción, para los casos en que extracción no es hecha en
155 línea recta y perpendicular a la vía y no termina en el punto más próximo al de origen,
156 siendo estimado entre 1,0 e 1,5;

157 V = factor de corrección para la red de vías, utilizado cuando las vías son tortuosas y no
158 paralelas, con espaciamiento desigual entre ellas, estimado entre 1,0 e 2,0.

159 q = cantidad de madera extraída en $m^3 \cdot ha^{-1}$;

160 R = costo de construcción y manutención de vías ($R\$ \cdot km^{-1}$).

161

162 El costo de construcción fue de $R\$ 6.000 \cdot km^{-1}$ y mantenimiento de $R\$ 87 \cdot km^{-1}$, valores
163 suministrados por la empresa estudiada, no hubo diferenciación del valor en función de las
164 clases de pendiente.

165
166
167
168

El costo de extracción en reales por metro cubico por kilómetro (R\$.m³.km⁻¹) es obtenido por la fórmula:

$$C = \frac{c \cdot t \cdot 1000}{L} \quad (2)$$

169
170
171
172
173
174
175
176

En que:

C = costo de extracción (R\$.m³.km⁻¹)

c = costo operacional de la máquina de extracción (R\$.min⁻¹);

t = tiempo en minutos gasto en la extracción, en viaje con y sin carga, en la distancia de 1 m (min.m⁻¹);

L = volumen medio extraído por ciclo (m³).

177
178
179

La distancia media depende del espaciamiento entre vías, que presentan una relación inversa con la densidad de vías representada por la siguiente formula:

$$ESP = \frac{10000}{DE} \quad (3)$$

180
181
182
183
184

En que:

ESP = espaciamiento entre vías (m);

DE = densidad de vías (m.ha⁻¹).

185
186
187
188
189
190
191

Esta relación permite estimar la distancia media de extracción utilizando factores de corrección introducidos por Segebaden (1964) y, considerando que el espaciamiento equivale a cuatro veces la distancia media, cuando la extracción es realizada en sentido doble y, dos veces, cuando es realizad en sentido único.

Para determinar la distancia media de extracción se utilizó la siguiente formula:

$$DME = \frac{10000 \cdot T \cdot V}{se \cdot DE} \quad (4)$$

192
193
194
195
196
197
198

En que:

DME = distancia media de extracción (m);

se = 4, cuando a extracción fuese realizada en sentido doble;

se =2, cuando a extracción fuese realizada en sentido único;

DE = densidad de estradas (m.ha⁻¹).

199
200
201
202
203
204
205

En este estudio se consideró que, en la clase de pendiente I la extracción fue realizada en sentido doble y, en la clase II, en sentido único. En la clase I hubo mayor distorsión de la extracción, ya que para la clase II, la operación fue realizada en la mayor parte de las áreas en línea recta y perpendicular a la vía, así, para el factor de corrección T, se utilizó 1,15 y 1,0 para el factor T, para las clases I e II, respectivamente, pues en la clase I había menor tortuosidad de las vías, diferente de la clase II, que presentó tortuosidad más acentuada.

206
207
208
209
210

- **Costo de extracción de madera**

Se pudo obtener posteriormente el cálculo de la DOE el costo medio de extracción para determinado valor de distancia media de extracción, por intermedio de la expresión matemática:

$$C_{ext} = \frac{c \cdot t \cdot DME}{L} \quad (5)$$

211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223

En que:

C_{ext} = costo de extracción (R\$.m⁻³);

c = costo operacional de la máquina de extracción (R\$.min⁻¹);

t = consumo medio de tiempo para el ciclo de extracción (min.m⁻¹);

DME = distancia media de extracción (m);

L = volumen medio de la carga (m³).

- **Costo de vías para uso forestal**

El costo de construcción y mantenimiento de vías fue obtenido en función de la DOE estimada por la siguiente formula:

$$RC = \frac{R \cdot DOE}{1000 \cdot q} \quad (6)$$

224
225
226
227
228
229
230

En que:

RC = costo de construcción y mantenimiento de vías (R\$.m⁻³);

R = costo de construcción y mantenimiento de vías (R\$.km⁻¹);

DOE = densidad óptima de vías por el método 1;

q = cantidad de madera extraída en m³.ha⁻¹.

231 3.3.2 Método 2

232
233
234
235
236
237
238
239
240

Este procedimiento consistió en la determinación de la DOE por el método propuesto por Pereira Neto (1995) basado en método convencionales y, posteriormente, modificado por Souza (2001) citado por Zagonel et al. (2008). Por este método, la DOE fue determinada por intermedio de fórmulas matemáticas específicas y, los valores obtenidos registrados en un gráfico constituido por tres curvas de costos: una para extracción, otra para construcción y mantenimiento de vía y, la última para costos totales. Siendo el espaciamiento optimo responsable por el menor costo global, considerando entonces en densidad optima de vías de uso forestal.

241
242
243
244

En este método, los costos son relacionados con la densidad de vías por la ecuación de las actividades efectivas que determina el tiempo en minutos por ciclo operacional (ZAGONEL et al., 2008). Para la clase I, tenemos que:

$$ae = (FC+DC) + \left(\frac{3625}{VSV} + \frac{3625}{VCC} \right) \cdot \frac{1}{DE} \quad (7)$$

245
246
247

Para la clase II:

$$ae = (FC+DC) + \left(\frac{7750}{VSV} + \frac{7750}{VCC} \right) \cdot \frac{1}{DE} \quad (8)$$

248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258

En que:

ae = actividades efectivas (min);

FC = tiempo de formación de carga (min);

DC = tiempo de descargue (min);

VSC = velocidad media de extracción sin carga (m.min⁻¹);

VCC = velocidad media de extracción con carga (m.min⁻¹).

DE = densidad de vías (m.ha⁻¹).

El costo de extracción por metro cubico fue determinado en función del tiempo de arrastre previsto por la ecuación de actividades efectivas, el costo hora de la máquina y el volumen medio arrastrado.

259

$$C_{ext} = \frac{CO \cdot 60}{L} \cdot ae \quad (9)$$

260

261

En que,

262

C_{ext} = costo de extracción forestal (R\$.m⁻³);

263

CO = costo operacional de la máquina (R\$.h⁻¹);

264

ae = actividades efectivas (min);

265

L = volumen medio extraído por ciclo (m³).

266

267

268

El costo de las vías fue calculado en función de la densidad de vías, utilizando incremento medio anual de la plantación y los costos anuales de las vías, aplicándose la formula presentada por Pereira Neto (1995):

269

270

$$C_{est} = \frac{CAe}{IMA} \cdot DE \quad (10)$$

271

272

En que:

273

C_{est} = costo de las vías (R\$.m⁻³);

274

CAe = costo anual de vías forestales (R\$.m⁻¹);

275

IMA = incremento medio anual (m³.ha⁻¹);

276

DE = densidad de vías (m.ha⁻¹).

277

278

Para el costo anual de las vías se consideró los costos de construcción y de mantenimiento de estas, ambos valores suministrados por la empresa estudiada.

279

280

281

Se presentó el costo de construcción en una base anual, por intermedio de la depreciación lineal de las vías y de los impuestos de capital invertidos en la construcción. En la determinación de la depreciación lineal se utilizó la formula:

282

283

284

$$D = \frac{(R / 1000)}{V} \quad (11)$$

285

286

En que:

287

D = depreciación anual por metro linear de la vía (R\$.m⁻¹);

288

R = costo de construcción de la vía(R\$.km⁻¹);

289

V = vida útil de la vía (años).

290

291

En el cálculo de la depreciación de las vías se utilizó como vida útil veinte (20) años, que representa la duración media de estas, según la empresa.

292

293

294

Los impuestos del capital invertido fueran calculados con base en la formula:

295

$$J = \frac{(R / 1000)}{2} \cdot \frac{i}{100} \quad (12)$$

296

297

En que:

298

J = impuestos anuales por metro linear de vía (R\$.m⁻¹);

299

R = costo de construcción de vía (R\$.km⁻¹);

300

i = tasa anual de impuestos (%).

301

302

En el cálculo de este fue adoptada una tasa de descuento de 12% al año, correspondiente al porcentaje medio practicado en el mercado.

303

304
305
306
307
308

De esta forma, el costo anual de las vías forestales fue obtenido por intermedio de la sumatoria de los siguientes ítems: depreciación anual, impuestos anuales y costo de mantenimiento.

309 • **Densidad Óptima de Vías (DOE)**

310
311
312
313
314

El costo global es la suma de los costos de extracción forestal y de las vías. La minimización de los costos globales es atendida matemáticamente por la derivada del costo global en función de la densidad de vías, igualada a cero.

$$CG = C_{est} + C_{ext} \quad (13)$$

315
316
317
318
319
320

En que:

CG = costo global (R\$.m⁻¹)

C_{est} = costo de vías forestales (R\$.m⁻¹);

C_{ext} = costo de extracción forestal(R\$.m⁻¹);

321 **3.3.3 Método 3**

322
323
324
325
326
327

En este método se utilizó el procedimiento de regresión para desarrollar una ecuación de previsión del tiempo de arrastre en función de la distancia de extracción utilizando el *software* Statistica 10.0 (STATSOFT INC., 2010). Los modelos fueron evaluados por intermedio de los gráficos de dispersión de residuos, para garantizar que el ajuste generará resultados adecuados.

328
329
330

La distancia de extracción fue transformada en densidad de vía por la ecuación que relaciona el espaciamiento y la densidad de vías en que, el espaciamiento fue considerado dos veces la distancia de extracción, para la clase I y, igual, para la clase II.

331
332
333
334
335
336
337
338
339

El costo de las vías fue obtenido de la misma forma que para el método 2. Por consiguiente, el costo de las vías y el costo de arrastre fueron representados gráficamente como una función de la densidad de vías y, el costo global como la suma de estos dos costos, siendo la densidad optima de vías el menor valor observado.

El costo de extracción por metro cubico fue determinado por el tiempo y el volumen previsto por las ecuaciones, alterando la distancia de extracción entre la mínima y la máxima observada en el estudio de tiempo y, el costo hora de la máquina.

$$C_{ext} = \frac{t \cdot CO}{v \cdot 60} \quad (14)$$

340
341
342
343
344
345
346

En que:

C_{ext} = costo de extracción (R\$.m⁻³)

t = consumo de tiempo para el ciclo de extracción (min.m⁻¹);

CO = costo operacional de la máquina (R\$.h⁻¹);

v = volumen de la carga (m³).

347 **3.4 Densidad de vías actual**

348
349
350
351
352

El espaciamiento entre las vías existentes fue medido para estimar su densidad real, Para eso fue utilizado el *software* ESRI ArcGIS 10.2, los datos de uso del suelo y de pendiente del área evaluada fueron asignados por la empresa en formato vectorial.

353 Con los datos de pendiente fueran separadas las áreas pertenecientes a las clases de
 354 pendiente I y II. En cada clase fueron lanzados puntos aleatorios y, en esos puntos, medidas las
 355 distancias entre las vías.
 356

357 Para determinarse el número de mediciones necesarias, el estudio piloto fue realizado con
 358 el objetivo de definir el número mínimo e mediciones para ser levantadas, para conseguir un
 359 error en la muestra admisible fijado en 5%, a 95% de probabilidad, para ambas clases, a partir
 360 de la siguiente formula:
 361

$$n \geq \frac{s^2 + CV^2}{E^2} \quad (15)$$

362

363 En que:

364

n = número mínimo de mediciones de espaciamiento entre vías;

365

s = valor de t , para nivel de probabilidad deseado a $(n-1)$ grados de libertad;

366

CV = coeficiente de variación, en porcentaje;

367

E = error admisible, en porcentaje.
 368

369

369 Con el dato medio de distancia entre vías, estas fueran transformadas en densidad por la
 370 ecuación que relaciona el espaciamiento y la densidad de vías (Ecuación 3), para las dos clases
 371 de pendiente.
 372

373

4. Resultados

374

375

4.1 Análisis técnico, económico de la extracción forestal y de la densidad óptima de vías (DOE)

376

377 Fueran registrados 78 ciclos operacionales del *Clambunck skidder* para la clase de
 378 pendiente I y, 81 ciclos para la clase II.
 379

380

380 En la Tabla 1 son presentados los valores medios observados con respecto a la desviación
 381 estándar (de) de: arboles arrastrados por ciclo operacional, volumen por ciclo, distancia de
 382 arrastre, tiempo por ciclo operacional, productividad y velocidad sin carga (VSC) y velocidad con
 383 carga (VCC).
 384

384

Tabla 1: Características de la operación del Clambunck skidder, para las dos clases de pendiente.

Ítem	Clase I		Clase II	
	Media	de	Media	de
Arboles/ciclo	86,9	33,5	59,5	19,3
Volumen/ciclo (m ³)	12,9	4,4	9,1	2,9
Distancia (m)	136,4	75,3	68,0	22,3
Tiempo/ciclo (minutos)	11,7	5,3	10,6	4,0
Velocidad sin carga (m.min ⁻¹)	76,9	14,8	39,7	14,1
Velocidad con carga (m.min ⁻¹)	57,0	10,7	49,0	11,0
Productividad (m ³ .he ⁻¹)	71,5	20,4	55,3	17,7

386

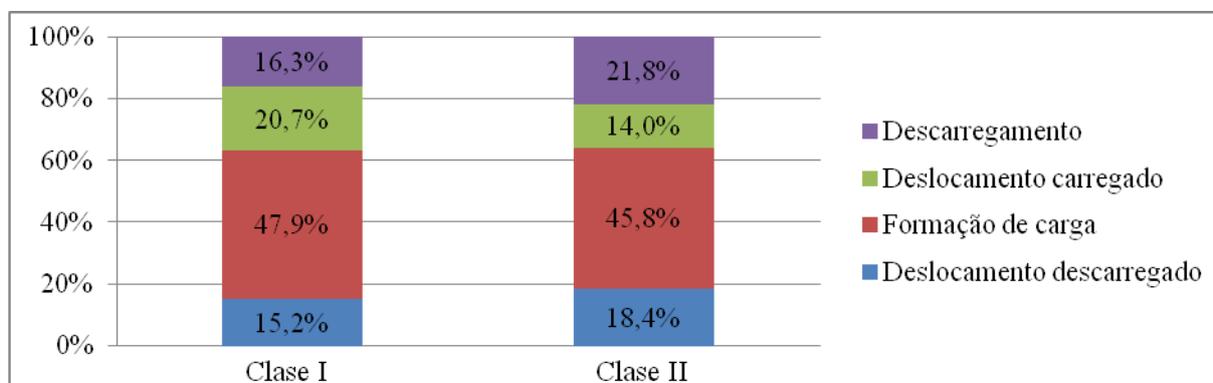
de = desviación estándar

387

388 La distancia media de arrastre para la clase de pendiente I fue 136m, muy superior a la
389 observada en la clase II, 68m. La distancia observada varió entre 25 e 296m, y 18 y 123m, para
390 la clase I y II, respectivamente.
391

392 La velocidad media sin carga por ciclo operacional de la clase I fue casi el doble de la clase
393 II, esto se debe por el desplazamiento descargado ser siempre realizado subiendo, así en los
394 locales de mayor inclinación del terreno la maquina se desplazaba con mayor dificultad, en
395 algunos momentos los neumáticos patinaban. Ya en el desplazamiento cargado la diferencia de
396 velocidad media fue menor, 16,3% entre la clase I y la II, como el desplazamiento cargado fue
397 efectuado en descenso, el efecto de la pendiente favoreció el movimiento de la máquina, siendo
398 este hasta mayor que el desplazamiento vacío, en esta categoría de terreno. El mejor desempeño
399 en términos de productividad del *Clambunck skidder* fue para la clase de pendiente I, 29%
400 superior en comparación con la clase II (71,5 m³ por hora efectiva de trabajo (he), contra 55,3
401 m³.he⁻¹, respectivamente).
402

403 La Figura 1 presenta la distribución del tiempo total de la actividad, para las dos clases de
404 pendiente.
405



406 Figura 1: Datos medios en porcentaje para el tiempo total del ciclo operacional del *Clambunck skidder*, para dos clases
407 de pendiente.
408
409

410 La distribución del tiempo entre los elementos del ciclo operacional fue semejante en las
411 dos clases de pendientes siendo la formación de carga el elemento que consumió mayor
412 cantidad de tiempo, con una diferencia de 2,1% superior en la clase I en comparación con la II.
413

414 El desplazamiento cargado fue el elemento que consumió el segundo mayor tiempo del
415 ciclo operacional para la clase de pendiente I. El consumo de tiempo en el descargue fue 5,5%
416 superior en la clase de pendiente II, siendo esta diferencia proporcionada por la forma de
417 realización de esta operación, ya que el descargue realizado en inclinaciones más acentuadas es
418 efectuado por la retirada de los ejes uno a uno, al contrario de las áreas más planas en que
419 todos son descargados de una sola vez.
420

421 Debido a la grande variación en los volúmenes transportados por ciclo operacional
422 observados en este estudio, una ecuación de regresión también fue desarrollada para estimar el
423 volumen de carga arrastrada en función de la distancia de extracción. La Tabla 2 presenta las
424 ecuaciones de regresión generadas para estimar el tiempo del ciclo operacional y el volumen
425 transportado en función de las distancias de arrastre, con sus respectivos coeficientes de
426 determinación (R²).
427

428
429

Tabla 2: Ecuaciones ajustadas para la estimativa de tiempos operacionales consumidos e volumen transportado en función de diferentes distancias de arrastre.

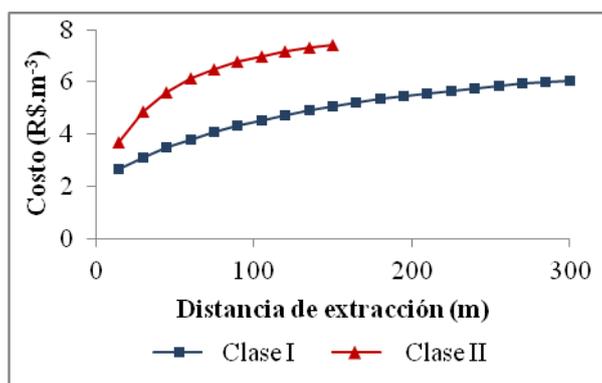
Clase de pendiente	Ecuación	R ²
Clase I	$t = 2,6845 + 0,0659.DE^*$	86,2%
	$L = 6,8529 + 0,0445.DE^*$	57,6%
Clase II	$t = 0,8886 + 0,1428.DE^*$	63,4%
	$L = 3,134 + 0,0882.DE^*$	45,9%

430 t = tiempo por ciclo operacional (min); L = volumen transportado por ciclo operacional (m³); DE = distancia de
431 extracción (m). * Significativo a 5% de probabilidad.

432
433 Utilizándose las ecuaciones generadas se obtiene la productividad estimada del
434 *Clambunck skidder* para las dos clases de pendiente, en función de la distancia de extracción. El
435 costo medio de producción fue calculado con base en el costo operacional (R\$ 327,35.he⁻¹)
436 dividido por las productividades medias (71,5 y 55,3 m³.he⁻¹) siendo igual a R\$ 4,57.m⁻³ y
437 R\$5,91.m⁻³, para las clases I y II de pendiente, respectivamente.

438
439 La Figura 2 ilustra la variación del costo de extracción en función de las clases de
440 pendiente y distancia de extracción y, este, en función de la productividad.

441



442
443 Figura 2: Costo de extracción de madera del *Clambunck skidder* en función de la distancia, para dos clases de
444 pendiente.

445
446 El costo de producción aumenta a medida que la distancia de extracción también aumenta
447 y, es siempre mayor para la clase II, igual para las mismas distancias de extracción, variando de
448 R\$2,65 a R\$9,18 m³ en la clase I, y R\$3,30 a R\$17,57 m³ para a clase II.

449
450 En la Tabla 3 a continuación siguen los resultados de densidad óptima de vías (DOE),
451 distancia media de extracción (DME) y espaciamento óptimo de vías (EOE), bien como los costos
452 específicos de extracción de vías, para las dos clases de pendiente (I y II) y los tres métodos
453 utilizados (1, 2 y 3).

454

455
456

Tabla 3: Valores de DOE, EOE, DME, costo de vías e costo de extracción para las dos clases de pendiente, a partir de los métodos 1, 2 e 3.

	Método 1		Método 2		Método 3	
	I	II	I	II	I	II
DOE (m.ha ⁻¹)	63,6	105,5	38,2	81,2	45,0	81,3
DME (m)	57,0	73,4	94,8	95,4	80,5	95,3
EOE (m)	157,3	94,7	261,6	123,2	222,0	123,0
Costo de estradas (R\$.m ⁻³)	2,06	3,42	1,22	2,60	1,44	2,60
Costo de extracción (R\$.m ⁻³)	2,06	2,65	4,38	6,88	4,69	7,20
Costo global (R\$.m ⁻³)	4,12	6,07	5,61	9,48	6,13	9,77

457
458
459
460
461

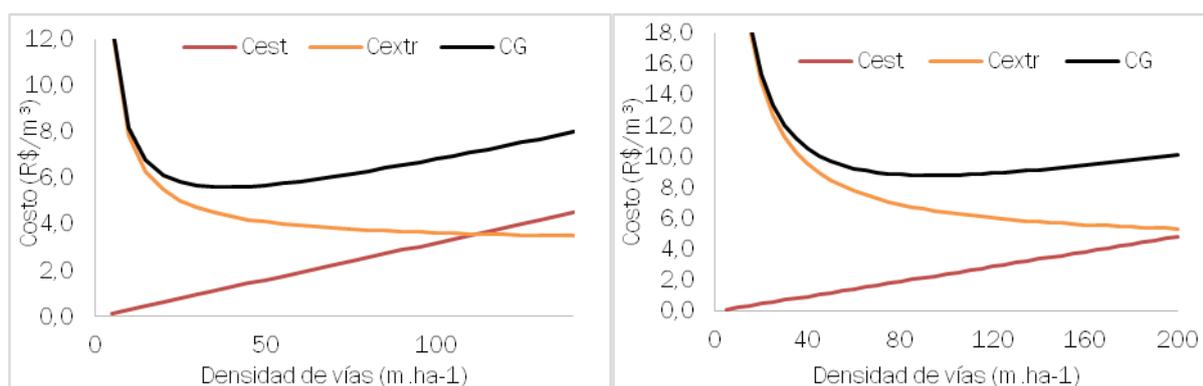
Para los tres métodos utilizados, se verificó la diferencia en la densidad de vías para las dos clases de pendiente, siendo el valor encontrado para la clase de pendiente II superior en 66%, 112% e 80%, para los métodos 1, 2 e 3, respectivamente, demostrando que la pendiente influyó sobremanera en la densidad de vías.

462
463
464
465
466
467
468
469
470
471

En términos de DME lo esperado sería un menor valor en la clase II, ya que mayor cantidad de vías (mayor valor de densidad de vías) reduce la distancia de extracción. Por el contrario, el valor obtenido fue superior en la clase II, para los métodos 1 y 3, debido al sentido de arrastre, ya que en pendientes más acentuadas el arrastre es realizado en sentido único y, en la clase I, el arrastre es realizado en sentido doble, lo que reduce este valor por la mitad. Ya que el método 2 la misma fue aproximadamente igual, con la grande diferencia en la densidad de vías, debido también al sentido de arrastre distinto entre las clases. Esto puede ser comprobado por el espaciamiento entre las vías (EOE), en que para la clase I fue muy superior a la clase II, en proporción semejantes a la densidad de vías.

472
473
474
475

La Figura 3 presenta la relación entre la densidad de vías y los costos de extracción de madera, de vías y costo global para el método 2.



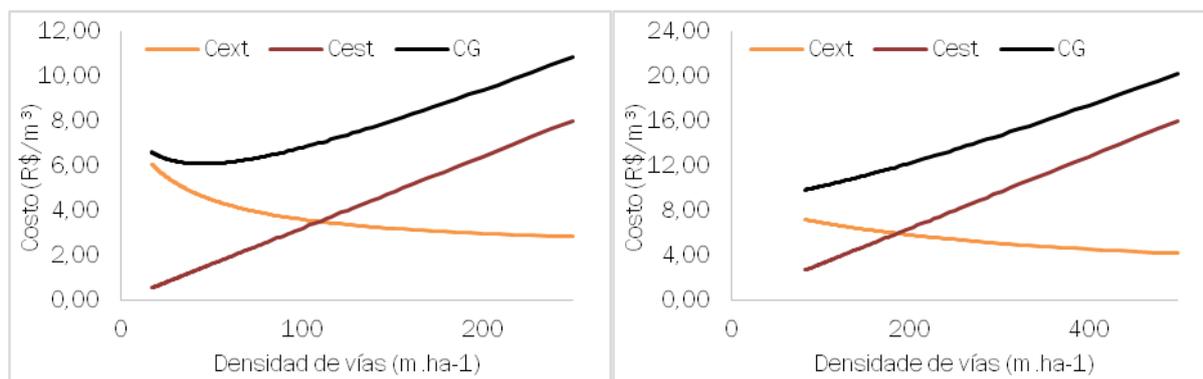
476
477
478
479

Figura 3: Relación entre densidad de vías y los costos de extracción y de vías por el método 2, para la clase I (a) y para la clase II de pendiente (b).

480
481
482
483
484

Para una densidad de vías de 38 m.ha⁻¹, el costo de construcción y mantenimiento de vías fue de R\$ 1,22.m⁻³, de extracción de R\$ 4,28.m⁻³ y un costo global mínimo de R\$ 5,61 .m⁻³. En la clase II, para una DOE de 81 m.ha⁻¹, el costo de construcción y mantenimiento de vías fue de R\$ 2,60 .m⁻³, de extracción de R\$ 6,88 .m⁻³ y de costo global mínimo de R\$ 9,48 .m⁻³.

485 La Figura 4 presenta los costos de extracción en función de la densidad de vías por
 486 el método 3.
 487



488
 489 Figura 4: Relación entre densidad de vías y los costos de extracción y de vías por el método 3, para a clase I (a) y para
 490 la clase II de pendiente (b).
 491

492 Considerando una DOE de 45 m.ha⁻¹ el costo de construcción y mantenimiento de las vías
 493 fue de R\$ 1,44.m⁻³, de extracción de R\$ 4,69 .m⁻³ y un costo global mínimo de R\$ 6,13 .m⁻³. En la
 494 clase II, para un DOE de 83 m.ha⁻¹ el costo de construcción y manutención de vías fue de R\$
 495 2,67 .m⁻³, de extracción de R\$ 7,20 .m⁻³ y un costo global mínimo de R\$ 9,83 .m⁻³.
 496

497 Observase en la Figura 4 que el valor de la DOE coincidió con el menor valor de densidad
 498 estimado, demostrando que el valor podría alterarse caso hubiera productividades estimadas
 499 para menores densidades de vías (mayores distancias de extracción). Pero estas no fueran
 500 observadas en el estudio, indicando que la densidad de vías actual está muy elevada, encima de
 501 la DOE, asunto que será discutido en el tópico posterior.
 502

503 4.2 Densidad de vías actual

504
 505 Fueran realizados 98 mediciones de espaciamento entre vías para la clase I y 44 para la
 506 clase II, atendiendo la suficiencia de muestras necesaria según el error establecido. Así, los
 507 valores medidos se encuentran en la Tabla 4.
 508

509 Tabla 4: Espaciamento entre vías en metros (mínimo, medio e máximo) y la densidad de vías estimada, para las clases
 510 I e II de pendiente.

Ítem	Clase I	Clase II
Espaciamento entre vías - Mínimo	40	34
Espaciamento entre vías - Medio	148	71
Espaciamento entre vías - Máximo	439	168
Error estándar de la media	8,29	4,79
Densidad actual de vías	68	141

511
 512 Se puede observar en la tabla anterior, que la densidad de vías actual de la clase II es
 513 expresivamente superior que de la clase I, una diferencia de 78 m.ha⁻¹.
 514

515 Se verificó aún que, para las dos clases de pendiente, la DOE presentase menor que la
 516 densidad de vías actual, o sea, hay una cantidad de vías superior al optimo deseado. En relación
 517 al método 3, el exceso de vías está en 23 m.ha⁻¹, en la clase I y 60m.ha⁻¹ para la clase II.
 518

519 El exceso de vías también fue observado por Campos (2010) que encontró valores de
520 densidad actual variando de 186,92 a 222,05 m.ha⁻¹ y exceso de vías, entre 34,02 e 138,08
521 m.ha⁻¹, en propiedades rurales en Espírito Santo (Brasil), en topografía fuertemente ondulada a
522 montañosa.

523

524 Por intermedio de la Ecuación 6, que estima el costo de vías en función de la densidad de
525 estas y, al utilizar el exceso de vías (m.ha⁻¹) como la densidad de vías, fue posible encontrar el
526 costo del exceso de infraestructura, que fue estimado en 0,73 e 1,93 (R\$.m⁻³) para la clase I e II,
527 respectivamente. Esto evidencia la necesidad de estudio buscando optimizar la cantidad de vías.

528

529 **5. Discusión**

530

531 Se verificó diferencias en las densidades ideales estimadas por los tres métodos. Para las
532 dos clases, el mayor valor de la DOE estimada fue por el método 1, siendo 66,4% superior al
533 método 2 y 41,1% superior al método 3, para la clase I y, 28,9% en relación a los métodos 2 y 3,
534 para la clase II (Tabla3). Esta diferencia entre los métodos justifica el comparativo entre los
535 mismos, buscando garantizar una planificación más eficiente, al identificar cual método es más
536 adecuado para determinadas condiciones locales.

537

538 Graffarian et al. (2009) obtuvo resultado semejantes cuando comparó el espaciamiento
539 óptimo de vías estimados por los métodos 1 y 3, encontrando mayores valores de EOE, o sea,
540 menor densidad de vías, para el método 3.

541

542 La DOE estimada para la clase II fue superior en todos los métodos, corroborando a la FAO
543 (1974), que concluyó ser mayor la densidad de vías, cuanto más accidentados fuesen las
544 condiciones topográficas.

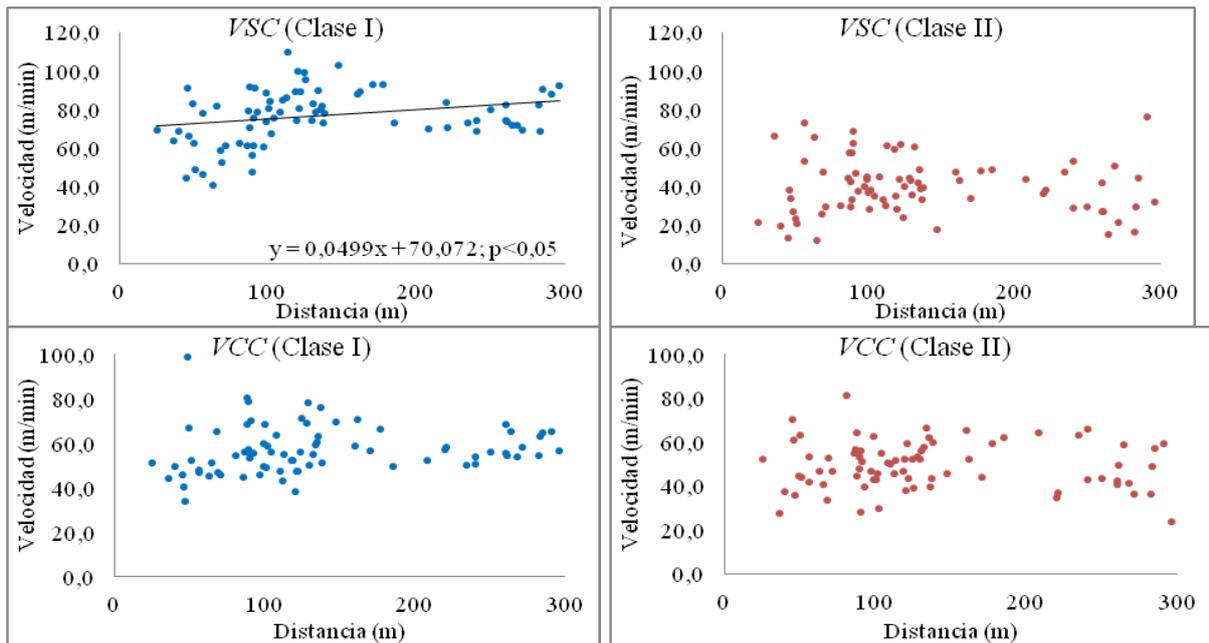
545

546 El método 1 es basado en la premisa del costo constante R\$.m⁻³.m⁻¹ y, de que, las trozas
547 son distribuidas uniformemente sobre la área. La premisa de costo constante es satisfecha
548 cuando la velocidad y la carga son constantes (GRAFFARIAN et al., 2009).

549

550 Utilizando el tiempo y la distancia de arrastre, las velocidades sin y con carga fueran
551 calculadas para diferentes distancias. Por intermedio del análisis de regresión fue posible
552 evaluar la relación de la velocidad con la distancia en cada clase de pendiente, constatando que
553 hubo influencia significativa de la distancia sobre la velocidad, solamente en el desplazamiento
554 descargado de la clase I, en que la misma aumentó a medida que la distancia también aumento
555 (Figura 5).

556



557

558

559

560

561

562

563

564

565

566

567

568

569

570

571

572

573

574

575

576

577

578

579

580

581

582

583

584

585

586

587

588

589

590

591

592

593

594

Figura 5: Dispersión de los datos observados de velocidad sin carga - VSC (m/min) y velocidad con carga VCC (m/min).

El volumen transportado no fue constante, aumentando con la distancia de arrastre, y la relación entre la distancia y la carga fue significativa para las dos clases de pendiente, una vez que la velocidad sin carga no es constante para diferentes distancias en la clase I y que, el volumen cargado no fue constante para ambas clases, se constató que el método 1 no es un procedimiento adecuado para estimar la densidad óptima de vías con extracción realizada por *Clambunk skidder*, en las condiciones de este estudio.

Graffarian et al. (2007) evaluando la actividad de un *Forwarder* en Austria, concluyó que el método 1 también no fue el apropiado para estimar la densidad óptima de vías, ya que la velocidad también no fue constante, aumentando con la distancia de extracción. Los autores atribuirán el aumento de la velocidad, debido a que las máquinas se movían más rápidamente en una distancia mayor, por causa del tiempo usado para acelerar y desacelerar.

Ninguna presuposición fue establecida para la aplicación del método 2, entretanto, en la ecuación de actividades efectivas (Ecuaciones 7 y 8), utilizada para estimar el tiempo total por ciclo operacional en función de la densidad de vías, se utiliza los valores medios de los elementos formación de carga (*FC*) y descargue (*DC*). Luego, este método es indicado para método de extracción donde los elementos sean constantes, no pudiendo aplicarse para este estudio, donde estos elementos variaron en función de la distancia de extracción como el ilustrado en la Figura 6.

De la misma forma, en la fórmula para cálculo de productividad de la máquina, en diferentes distancias de extracción, es utilizado el valor medio del volumen transportado, variable que este estudio también presentó relación significativa con la distancia de extracción. La utilización de los valores medios de estas variables que presenta relación significativa directa con la distancia de extracción acarrea subestimación de la productividad para pequeñas distancias y, subestimación para grandes distancias, alterando sobremanera el valor de la DOE estimada.

El costo de las vías fue estimado de la misma forma para los métodos 2 y 3, siendo la principal diferencia entre los mismos el cálculo del costo de extracción. En el método 3, la utilización de las ecuaciones de previsión del tiempo y volumen en función de la distancia de extracción permiten representar con mayor calidad la actividad, ya que la mayoría de los componentes del ciclo operacional en las dos clases de pendiente variaron con la distancia de extracción, así como el volumen transportado. Así mismo, se constató que el método 3 fue el más

595 adecuado para estimar la densidad optima de vías con extracción forestal realizada por
596 *Clambunk skidder*.

597

598 Entretanto, cuando la densidad de vías actual es alta (Tabla 4) como en la clase II, la
599 amplitud de la distancia de extracción disponible para la aplicación del método 3 es baja, o sea,
600 no hay local con grandes distancias para medición del tiempo del ciclo operacional, En estas
601 condiciones, este método retorna el menor valor estimado de densidad de vías (Figura 4),
602 situación observada en este estudio, pero que puede no ser el valor de densidad con menor
603 costo global. Así, se recomienda para estudios posteriores, la obtención de ciclos operacionales
604 adicionales, simulando distancias mayores de extracción para inclusión en los modelos y,
605 posterior verificación del valor de la DOE.

606

607 La determinación de la densidad optima de vías otorga un valor que indica un intervalo,
608 pues en la práctica no se puede esperar un resultado preciso debido a las inúmeras variaciones
609 que se encuentran en las áreas forestales (FAO, 1976). Se tiene así, que el intervalo de
610 optimización de la densidad esta entre 40,5 y 49,5 m.ha⁻¹, para la clase I y 73,2 a 89,4 m.ha⁻¹,
611 para ça clase II, con base en el método 3.

612

613 A pesar del método 3 se mostró más adecuado, la diferencia en la DOE estimada entre
614 los métodos 2 y 3 fue pequeña, de 7 m.ha⁻¹ en la clase I, y apenas 0,1 m.ha⁻¹ en la clase II. Así,
615 para esta máquina y en las características de la área de este estudio, los métodos 2 y 3 pueden
616 ser utilizados.

617

618 **6. Conclusiones**

619

620 La extracción forestal por *Clambunk skidder* fue influenciada por la pendiente y por la
621 distancia de extracción, siendo reducida la productividad de la maquina a la medida que estos
622 factores aumentaran. Cuanto menor la productividad de la máquina, mayores fueran los costos
623 de extracción.

624

625 En las condiciones de este estudio, solamente los métodos 2 y 3 se mostraron adecuados
626 para estimas la densidad óptima de vías, siendo el método 3 el más recomendado. Pero,
627 alterándose las características del local, costo, factores de corrección o la maquina evaluada, un
628 nuevo estudio comparativo debería ser realizado para verificación del mejor método.

629

630 El intervalo de densidad optima de vías por el método 3, está entre 40,5 e 49,5 m.ha⁻¹
631 para la clase de pendiente I e, entre 73,2 a 89,4 m.ha⁻¹ para la clase II.

632

633 La densidad actual de vías de la empresa estudiada es superior a la cantidad de vías
634 considerada como ideal, generando un costo de exceso de 0,73 y 1,93 (R\$.m⁻³) para la clase de
635 pendiente I e II, respectivamente.

636

637 El costo de construcción y mantenimiento de las vías afecta la DOE de forma inversa y los
638 demás componentes, costo operacional, incremento medio anual, vida útil de las vías y factores
639 de corrección, presentan una relación directa.

640

641 El mayor impacto positivo en la DOE es causado por la reducción de 20% en el valor de
642 construcción y mantenimiento de vías y, el mayor impacto negativo, con la reducción de 20% en
643 los valores del costo operacional, incremento medio anual y factores de corrección.

644

645 **7. Agradecimientos**

646

647 La UFVJM, la FAPEMIG y la ARCELOR MITTAL.

648

649 **8. Bibliografía**

- 650
- 651 CAMPOS, R. F. **Avaliação da densidade de estradas em propriedades rurais no sul do ES.** 2014.
- 652 33 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Espírito Santo,
- 653 Jerônimo Monteiro, 2010.
- 654
- 655 FAO. **Harvesting man-made forests in developing countries: a manual on techniques, roads,**
- 656 **production and cost...** Roma,1976, 198 p.
- 657
- 658 FAO. **Logging and log transport in tropical high forest: a manual on production and costs.** Roma,
- 659 1974. 90p.
- 660
- 661 GHAFFARIAN, M. R.; STAMPFER, K.; SESSIONS, J. Comparison of three methods to determine
- 662 optimal road spacing for forwarder-type logging operations. **Journal of Forest Science**, v. 55, n. 9,
- 663 p. 423-431, 2009
- 664
- 665 GHAFFARIAN, M. R.; SOBHANI, H. Optimum road spacing of ground based skidding operations in
- 666 Nowshahr, Iran. **Caspian Journal of Environmental Sciences**, v. 6, n. 2, p. 105-112, 2008.
- 667
- 668 GHAFFARIAN, M. R.; STAMPFER, K.; SESSIONS, J. **Optimum road spacing of forwarding operations:**
- 669 **a case study in southern Austria.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORESTRY
- 670 MECHANIZATION, 40, 2007, Vienna, Austria.
- 671
- 672 MATTHEWS, D.M. **Cost control in the logging industry.** New York: McGraw-Hill, 1942.
- 673
- 674 PEREIRA NETO, S. D. **Análise econômica da densidade de estradas nas áreas de produção de**
- 675 ***Eucalyptus*.** 1995. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal
- 676 do Paraná, Curitiba, 1995.
- 677
- 678 SANTOS, P. H. A. S.; SOUZA, A. P., MARZANO, F. L. C; MINETTE. L. J. Produtividade e custos de
- 679 extração de madeira de eucalipto com *Clambunk skidder*. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p.511-518,
- 680 2013.
- 681
- 682 SEGEBADEN, G. V. **Studies of cross-country transport distances and road net extension.** Studia
- 683 Forestalia Suecica, n. 18, 1964.
- 684
- 685 SESSIONS, J. **Forest road operations in the tropics.** Oregon: Springer, 2006. 170 p.
- 686
- 687 SOUZA, D. O. **Avaliação dos diferentes níveis de mecanização na atividade de colheita de**
- 688 **madeira: Relatório técnico-científico final.** Curitiba: UFPR/PIBIC/CNPq, 2001. 74p.
- 689
- 690 STATSOFT INC. **Statistica data analysis system version 10.0.** Tulsa: Statsoft Inc., 2010.
- 691
- 692 ZAGONEL, R. **Análise da densidade ótima de estradas de uso florestal em relevo plano de áreas**
- 693 **com produção de *Pinus taeda*.** 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) -
- 694 Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- 695
- 696 ZAGONEL, R.; CORREA, C. M. C.; MALINOVSKI, J. R. Densidade ótima de estradas de uso florestal
- 697 em áreas de relevo plano em povoamentos de *Pinus taeda* no planalto catarinense. **Scientia**
- 698 **Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 33-41, 2008.
- 699