

# MODELACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE MADERA CON AUTOCARGADOR (FORWARDER) UTILIZANDO EL CABESTRANTE DE TRACCIÓN AUXILIAR

Ângelo Marcio Pinto Leite

Rogger Miranda Coelho, Bruno Ricardo Fernandes y Guilherme Augusto S. de Sá.

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM).



## 1. INTRODUCCIÓN

La extracción de madera es una de las operaciones forestales más engorrosas (MALINOVSKI et al., 2008), su costo puede ser hasta 25 veces superior al transporte principal en algunos países (BIRRO et al., 2002). La productividad del autocargador es fuertemente relacionada con la distancia de extracción (MINETTE et al., 2004; CAVALLI; GRIGOLATO; BERGOMI, 2009; CONEGLIAN et al., 2010). La inclinación del terreno también está relacionada con la productividad del autocargador, siendo muchas veces un factor limitante para la operación con este equipamiento. La introducción del cabestrante de tracción auxiliar (CTA) favoreció la extracción mecanizada de madera en áreas accidentadas. Así, estudios sobre las variables que influyen la productividad y el costo del autocargador en terrenos inclinados son imprescindibles.

## 2. OBJETIVO

Modelar la productividad del autocargador en función de las variables: pendiente del terreno, distancia de extracción y uso del cabestrante de tracción auxiliar.

## 3. METODOLOGÍA

**3.1. Área de estudio:** El trabajo fue realizado en cultivos de *Eucalyptus* spp. de una empresa forestal localizada en el municipio de Antônio Dias-Esado de MG, Brasil, entre las coordenadas geográficas 19° 29' latitud sur y 42° 48' longitud oeste. La extracción de madera con autocargador fue valuada en tres proyectos forestales, denominados Pinhão, Barbosão IV y Cubas. En la Tabla. 1 se presenta información del inventario forestal de cada proyecto. Se evaluarán cultivos en régimen de primera rotación cuyo espaciamiento de plantío correspondió a 3,0 metros entre individuos e 3,33 metros entre filas.

Tabla 1 – Estimaciones medias del inventario forestal de los tres proyectos evaluados en el estudio.

Proyecto	DAP (cm)	Altura (m)	Vtcc** (m³ ha⁻¹)	IMA*** (m³ ha⁻¹ ano⁻¹)	Edad (años)
Pinhão	16,43	24,92	286,15	48,5	5,9
Barbosão IV	18,37	29,48	351,88	46,3	7,6
Cubas	17,95	26,63	327,12	37,6	8,7

\*DAP = diámetro a 1,30 metros del suelo; \*\*Vtcc = volumen total con corteza; \*\*\*IMA = incremento medio anual.

**3.2 Toma de datos:** Para obtener el rendimiento operacional del autocargador en diferentes condiciones de inclinación del terreno e distancias de extracción se realizó un Estudio de Tiempos e Movimientos (ETM). Fueron consideradas las siguientes actividades parciales del ciclo operacional del autocargador:

- Desplazamiento sin carga;
- Cargamento;
- Desplazamiento con carga;
- Descargue;
- Instalación del cabestrante;
- Desinstalación del cabestrante.

Con el fin de determinar el número mínimo de observaciones para conseguir un error de la muestra admisible de 5% y un 95% de probabilidad, se realizó un estudio piloto para el ciclo operacional del autocargador. Los datos fueron tomados durante el periodo de febrero a abril del 2015, en el turno de trabajo de las 7:00 a las 16:00h.

**3.3 Características técnicas del autocargador:** Máquina fabricada por Ponsse, modelo ElephantKing, motor diesel, potencia nominal de 275 Hp, tracción 8x8, velocidad de desplazamiento de 0 a 20 km hora⁻¹. Las dimensiones del autocargador son 10 metros de largo, 3 metros de ancho, con una altura de la caja de carga variando de 4,5 a 6,1 metros. La máquina pesa 22.900 kg con capacidad de carga de 20.000 kg. Para trabajar en pendientes superiores a 27° los autocargadores son equipados con CTA marca Herzog modelo HSW9-S1. El pesa 1.900 kg, siendo fijado en el chasis de la máquina, funcionando sincronizado con el sistema de transmisión. Éste equipamiento puede estar equipado con dos tipos de cable de acero, ambos con resistencia a tracción de 200 kN (20 toneladas). Los comandos del cabestrante están instalados en la cabina, y son operados por medio de control remoto.

**3.4 Procedimientos operacionales del autocargador:** Esto inicia la operación a partir de la vía con la cabina de la máquina direccionada para el interior del rodal (Figura 1). Se evaluó la extracción de madera con autocargador en dos condiciones operacionales:

- Operación sin uso de CTA, pendientes inferiores a 27°;
- Operación con CTA, pendientes del terreno superiores a 27°.

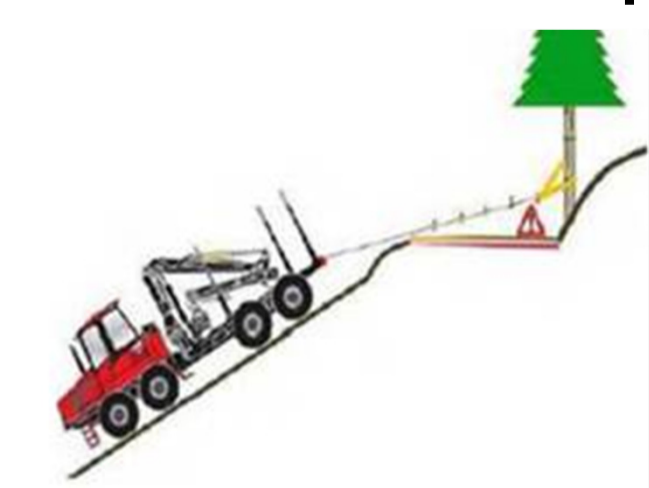


Figura 1 - Procedimiento operacional del autocargador.

**3.5 Modelación de la productividad del autocargador:** La inclinación del terreno, la distancia de extracción y el uso del CTA fueran las variables independientes utilizadas para explicar la productividad del autocargador (variable dependiente). El uso de cabestrante correspondió a una variable cualitativa (dummy). Se utilizaron modelos aditivos generalizados para relacionar la productividad del autocargador con las variables independientes. Los análisis fueron procesados en el software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), utilizando el paquete "mgcv" (WOOD, 2006), específico para ajuste de modelos aditivos generalizados.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Estudio de tiempos e movimientos

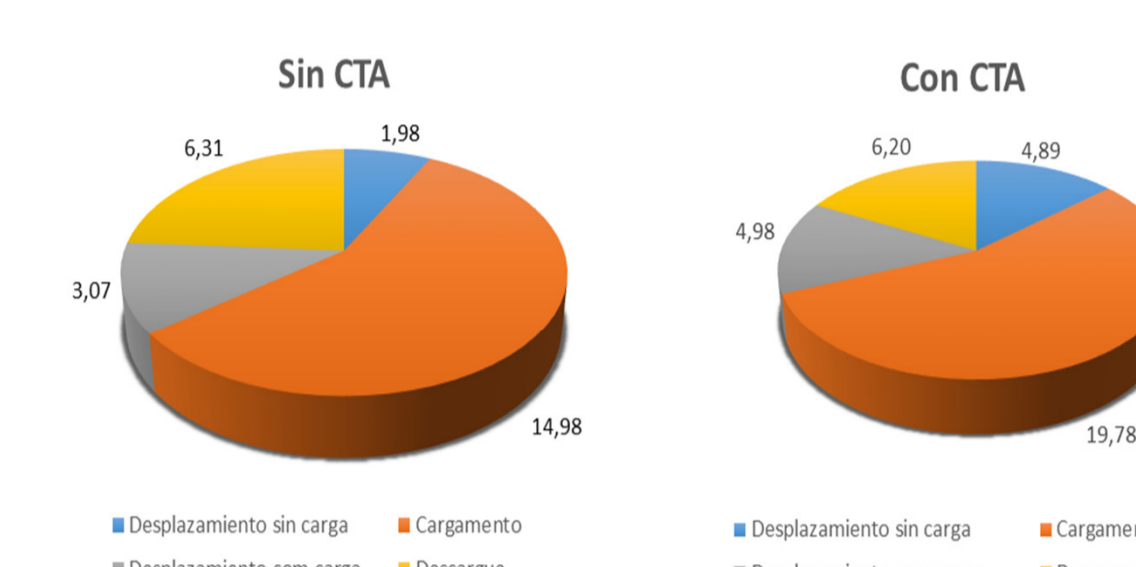


Figura 2: Tiempo medio (minutos) de cada elemento del ciclo operacional del autocargador, para dos condiciones operacionales evaluadas.

### 4.2 Modelación de la productividad del autocargador

El desempeño operacional del autocargador fue influenciado por la inclinación del terreno, por la distancia de extracción y por el uso de CTA.

Tabla 2 - Significancia de la variable cualitativa uso del CTA por el test t.

Parametros	Estimativo	Error Estándar	t calculado	p-valor
Intercepto	32,419	1,011	32,068	2,0x10 <sup>-16</sup>
Uso CTA	-8,549	1,98	-4,318	3,8x10 <sup>-05</sup>

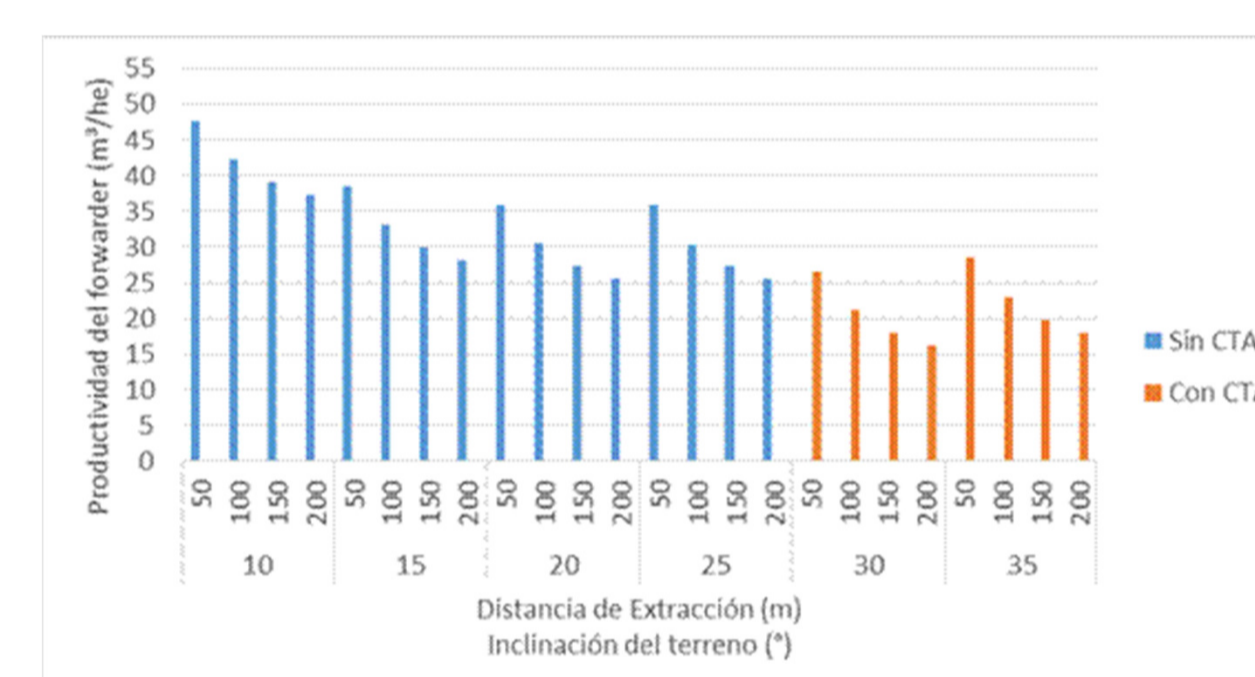


Figura 3: Productividad del autocargador en función de la distancia de extracción, pendiente del terreno y uso del CTA.

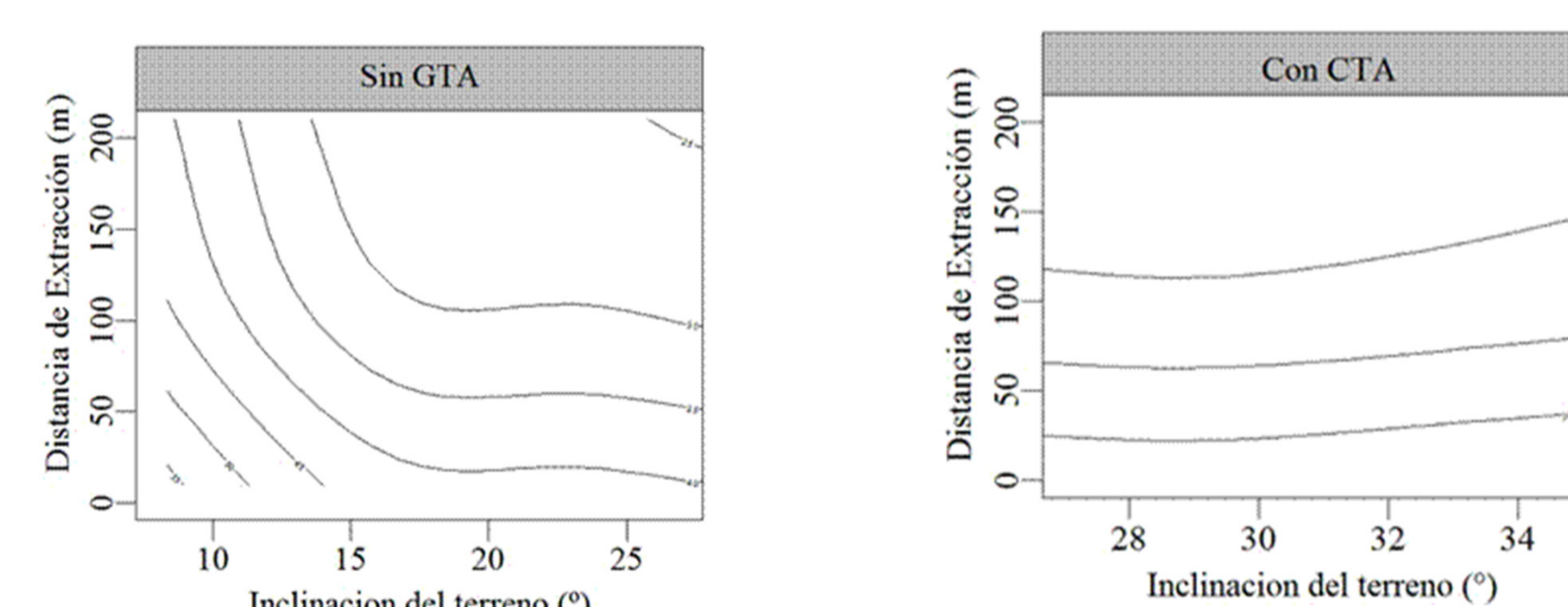


Figura 4: Productividad del autocargador (m³ he⁻¹) en función de la pendiente y distancia de extracción para operación sin CTA y con CTA.

## 5. CONCLUSIONES

- Las variables explicativas pendiente del terreno, distancia de extracción y uso del CTA permiten modelar la productividad y, determinar el rendimiento operacional del autocargador.
- El incremento de la pendiente del terreno y de la distancia de extracción proporcionara una caída de la productividad del autocargador trabajando sin CTA (relación inversa).
- El incremento de la distancia de extracción y el uso del CTA ocasionaran una reducción en la productividad del autocargador en pendientes superiores a 27°.

## BIBLIOGRAFÍA

- BIRRO, M. H. B.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; MINETTI, L. J. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com track-skidder em região montanhosa. Revista Árvore, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 525-532, 2002.
- CAVALLI, R.; GRIGOLATO, S.; BERGOMI, L. Z. Esbosco in ambiente montano con Cable-Autocargador. Taormina (ME): 16-19 outubro 2009. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 1476-1481.
- MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; MIRANDA, G. M.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica da operação de extração de Eucalyptus spp. utilizando trator autocarregável e o trator florestal transportador "forwarder" na região sul da Bahia. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.16, n.3, p.312-317, 2008.

