

USO DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS PARA DETERMINAÇÃO DO MOMENTO ÓTIMO DA TRANSFORMAÇÃO DE VEÍCULOS¹

Gláucio Marcelino Marques², Márcio Lopes da Silva³, Sebastião Renato Valverde³, Rommel Noce⁴ e
Ciro de Castro⁵

RESUMO – Este trabalho teve por objetivo analisar a viabilidade econômica da transformação de veículos de transporte florestal. Foram avaliadas duas situações: 1^a) carreta utilizada e retirada do processo após o fim de sua vida útil; 2^a) carreta utilizada, transformada em caminhão *truck* e, posteriormente, em caminhão toco. A equação diferencial foi utilizada para definir o momento ótimo das transformações. Os resultados obtidos indicaram que, no modelo sem transformação, obteve-se um tempo ótimo de utilização de nove anos, apresentando um Valor Anual Equivalente (VAE) de R\$4.084,06. No modelo com transformação (carreta/*truck*/toco), obteve-se um (VAE) de R\$10.555,04, indicando a viabilidade no sistema de transformação. Com base nos dados de custo e receita utilizados, a transformação (carreta/*truck*/toco) mostrou-se a melhor alternativa. Conclui-se que os modelos desenvolvidos permitem auxiliar a tomada de decisão referente à substituição de veículos de transporte.

Palavras-chave: Funções contínuas, substituição de equipamento e veículo transportador.

THE USE OF DIFFERENTIAL EQUATIONS FOR THE DETERMINATION OF THE OPTIMAL TIME FOR THE TRANSFORMATION OF VEHICLES

ABSTRACT – *The objective of this work was to analyse the economic feasibility of the transformation of forest transport vehicles. Two situations were evaluated; in one the cart was used and removed after its useful lifetime, in the other one the cart is transformed in to truck and, finally, in to a two-wheeled cart. The differential equation was used to define the optimal time of the transformations. The results obtained showed that in the model without transformation an optimal time nine years used was defined, presenting an Equivalent Annual Value of R\$4,084.06. In the model with transformation (cart/truck/two-wheeled cart), an Equivalent Annual Value of R\$10,555.04 was obtained, indicating the viability of the transformation system. Based on data of costs and incomes used the transformation (cart/truck/two-wheeled cart) showed to be best alternative. It follows that the models developed showed to be suitable in supporting the decision making related to the replacement of transport vehicles.*

Key words: Continuo functions, equipment replacement and transportation vehicle.

¹ Recebido em 07.11.2003 e aceito para publicação em 25.11.2004.

² Mestrado em Ciência Florestal pelo DEF/UFV.

³ Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. E-mail: <marlosil@ufv.br>.

⁴ Administrador de Empresas.

⁵ Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da UFV.

1. INTRODUÇÃO

Equipamentos, máquinas e veículos são substituídos quando se desgastam ou são destruídos, completamente ou não. No caso em que as unidades são destruídas parcialmente, pode-se decidir entre efetuar a substituição apenas dos componentes que falham e a substituição completa. Esse segundo caso é típico dos equipamentos cuja eficiência decresce gradativamente com o tempo e, ou, com o uso, provocando aumento nos custos operacionais e de manutenção, que, além de prejudicar a qualidade dos serviços realizados, pode diminuir a eficiência produtiva (HIRSCHFELD, 1992). Todo o processo de substituição envolve um conjunto de regras e princípios econômicos (VALVERDE e REZENDE, 1997).

Na área florestal, muitos equipamentos e máquinas apresentam custos elevados, daí a necessidade de eles operarem em jornadas extensas de uso intensivo, visando minimizar esses custos. No entanto, as condições de trabalho às quais as máquinas são submetidas, em especial nas atividades de plantio e de colheita, muitas vezes são adversas, resultando na necessidade de reparos, manutenções, consertos (LIMA e LEITE, 2002), levando, conseqüentemente, à substituição total ou parcial de máquinas e equipamentos após alguns anos de uso.

As empresas florestais brasileiras têm se preocupado mais com estudos relacionados à viabilidade das operações manuais, semimecanizadas e, ou, mecanizadas, bem assim com a terceirização de determinadas atividades, a exemplo dos trabalhos de Minette (1988), Andrade (1998) e Moreira (1992). Pouca ênfase tem sido dada às questões de substituição de máquinas e equipamentos.

Outro aspecto importante é que nas últimas décadas houve a introdução de modernas técnicas de mecanização, principalmente no que diz respeito à colheita florestal. Grandes empresas começaram a utilizar, experimentalmente, máquinas novas e mais adaptadas aos serviços florestais. Atualmente, as máquinas já estão operando em plena capacidade e já passaram pelas adaptações básicas. Desse modo, várias empresas do segmento florestal estão aumentando seu maquinário (MACHADO, 2002). Assim, estudos sobre substituição de máquinas e equipamentos são fundamentais na tomada de decisão na área florestal (FILGUEIRAS, 1997).

Uma alternativa para determinar a necessidade de substituição de equipamentos e máquinas consiste

no uso de equações diferenciais, adotando critérios de cálculo de substituição, como a retirada do equipamento, a substituição parcial, a cadeia de substituição constante e a cadeia de substituição, considerando-se o progresso tecnológico (VALVERDE e REZENDE, 1997).

Uma situação que merece ser investigada é a transformação de caminhões utilizados no setor florestal em outros tipos de veículos. Um exemplo é a possível transformação de uma carreta com semi-reboque de três eixos em um caminhão *truck* e, posteriormente, em um caminhão *toco*, que seria o equipamento terminal. Embora esse procedimento já tenha sido utilizado por algumas empresas, na maioria das vezes empreiteiras, não foram encontrados relatos sobre a sua viabilidade econômica.

Salienta-se que, ao se fazer a transformação, conseqüentemente ocorrerão algumas mudanças, como: redução na capacidade de carga, mudança no tipo de atividade e menor rendimento do transporte. Em contrapartida, a transformação traria benefícios, visto que o caminhão é mais ágil em curtas viagens e cargas rápidas, consome menos combustível e apresenta custo operacional menor, sendo estas algumas das vantagens em se fazer a transformação.

Massé (1962) apresentou um modelo denominado substituição parcial, no qual considerava que a receita do equipamento, após a reforma, continuava sendo a mesma, porém isso nem sempre ocorre. Neste estudo foi proposto um modelo que permite alterações nas receitas e custos ao longo da vida útil do equipamento. O estudo teve como objetivo desenvolver uma equação diferencial para decidir sobre o momento ótimo de se proceder às transformações de um equipamento, por meio das derivadas parciais. Especificamente, pretende-se decidir sobre o momento ótimo de transformar uma carreta em caminhão *truck* e, posteriormente, em caminhão *toco*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. O modelo matemático

O modelo empregado (1) foi baseado nas equações diferenciais desenvolvidas por Massé (1962), as quais se baseiam na situação em que se realiza a compra de um equipamento e limita-se ao horizonte de planejamento, conforme a vida útil econômica desse aparelho. Nesse

caso, o processo de substituição termina quando o equipamento se desgasta e é vendido como sucata.

O modelo utilizado nesse processo é proveniente da fórmula a seguir:

$$B(t) = \int_0^T Q(t)e^{-i(t)} dt + S(T)e^{-i(T)} - C \quad (1)$$

em que:

$B(t)$ = lucro total descontado do equipamento;

T = tempo de substituição desconhecido;

$Q(t)dt$ = renda líquida (frete-custo operacional) anual gerada pelo equipamento;

$S(T)$ = valor de revenda (sucata) do equipamento no instante T ;

C = valor de aquisição do equipamento novo;

$i(t)$ = taxa de juros contínua; e

e = base dos logaritmos neperianos.

O momento ótimo para substituição do equipamento é obtido pela derivação de $B(t)$ em relação a t :

$$dB/dt = 0 = [Q(T) - i(T) + S'(T)]e^{-i(T)} \quad (2)$$

$$= Q(T) - i(T)S(T) - S'(T) \quad (3)$$

$$d^2B/dT^2 < 0 \quad (4)$$

$$Q = iS - S' \quad (5)$$

$$iS = Q + S' \quad (6)$$

A expressão (5) indica que o momento ótimo de retirada (T) ocorre quando o lucro potencial (Q) se igualar aos juros sobre o valor residual (iS) menos a perda do valor residual (S'), ou seja, a receita marginal (recebimentos marginais) é igual ao custo de oportunidade marginal (juros que seriam recebidos pela venda do equipamento menos a perda do valor residual).

A partir do modelo de Massé (1962), desenvolveu-se um novo modelo, considerando a transformação de uma carreta em caminhão *truck* e, posteriormente, em caminhão *toco*.

A função de lucro utilizada para representar essa transformação foi:

$$L = L_{s3} + L_{TR} + L_{TO} \quad (7)$$

em que:

L = lucro total do equipamento transformado;

L_{s3} = lucro obtido com a carreta (cavalo-mecânico 4x2 + semi-reboque de três eixos);

L_{TR} = lucro obtido com a carreta transformada em *truck* (6x4); e

L_{TO} = lucro obtido com o equipamento transformado em caminhão *toco* (4x2).

As equações diferenciais de cada etapa do processo são dadas por:

a) Lucro obtido com a carreta

$$L_{s3} = \int_0^\alpha R_{s3}(t)e^{-i(t)} dt + S_{s3}(\alpha)e^{-i(\alpha)} - C_0 \quad (8)$$

em que:

L_{s3} = lucro obtido com a carreta;

$R_{s3}(t)$ = receita líquida da carreta no ano t ;

$S_{s3}(\alpha)$ = valor residual do semi-reboque no momento α ;

C_0 = valor de aquisição do veículo novo;

i = taxa de desconto; e

α = momento ótimo para transformação (carreta em *truck*).

b) Lucro obtido com a transformação de carreta em *truck*

$$L_{Tr} = \int_\alpha^\beta R_{Tr}(t_\alpha)e^{-i(t\alpha\beta)} dt - C_{Tr}(\alpha)e^{-i(\alpha)} \quad (9)$$

em que:

L_{Tr} = lucro obtido com o caminhão *truck*;

$R_{Tr(t\alpha\beta)}$ = receita líquida do *truck* no período de a a b ;

$C_{Tr}(\alpha)$ = custo de conversão da carreta em *truck*; e

β = momento ótimo para transformação (*truck* em *toco*).

c) Lucro obtido com a transformação do *truck* em *toco*

$$L_{To} = \int_\beta^T R_{To}(t)e^{-i(t)} dt + S_{To}(T)e^{-i(T)} - C_{To}(\beta)e^{-i(\beta)} \quad (10)$$

em que:

L_{To} = lucro obtido com o caminhão *toco*;

R_{To} = receita líquida do caminhão *toco* no período de b a T ;

S_{To} = receita da venda do caminhão *toco* no ano T ;

C_{To} = custo de conversão do *truck* em caminhão *toco*;

T = momento ótimo para retirada do caminhão.



As derivadas parciais da função de lucro total (7) em função de α, β e T e igualadas a zero indicam o momento ótimo de transformação (α, β) e de retirada (T) do veículo.

$$dL/d\alpha = R_{S_3}(\alpha)e^{-i(\alpha)} + S'_{S_3}(\alpha)e^{-i(\alpha)}S_{S_3} - C'_{Tr}(\alpha)e^{-i(\alpha)} + i(\alpha)C_{Tr}(\alpha) = 0 \quad (11)$$

Colocando o termo em evidência, tem-se:

$$dL/d\alpha = [R_{S_3}(\alpha) + S'_{S_3}(\alpha) - i(\alpha)S_{S_3} - C'_{Tr}(\alpha) + i(\alpha)C_{Tr}(\alpha)]e^{-i(\alpha)} = 0 \quad (12)$$

$$R_{S_3}(\alpha) + S'_{S_3}(\alpha) + i(\alpha)C_{Tr}(\alpha) = i(\alpha)S_{S_3} + C'_{Tr}(\alpha) = 0 \quad (13)$$

ou, simplificando a expressão, tem-se:

$$R_{S_3} = iS_{S_3} - S'_{S_3} - iC_{Tr} + C'_{Tr} \quad (14)$$

admitindo-se que:

$$d^2L/d\alpha^2 < 0 \quad (15)$$

em que:

S_{S_3} = valor de venda do semi-reboque;

S'_{S_3} = variação do valor de venda do semi-reboque;

C_{Tr} = custo de transformação de semi-reboque em truck (2 eixos); e

C'_{Tr} = variação do custo de transformação para truck (2 eixos).

A equação (14) indica que o tempo α ótimo que maximiza o lucro ocorrerá quando a receita líquida se igualar aos juros sobre o valor residual do semi-reboque, menos a perda do valor residual, menos os juros sobre o custo de transformação da carreta em truck mais a variação do custo de transformação, ou seja, quando a receita marginal se igualar aos custos marginais.

Para obter o tempo ótimo de serviço do caminhão truck (β), ou seja, o momento em que ocorrerá a transformação em caminhão toco, derivou-se a função de lucro (7) e definiu-se a equação subsequente:

$$dL/db = [R_{Tr}(\beta)e^{-i(\beta)} - \{C'_{To}(\beta)e^{-i(\beta)} + C_{To}(\beta)\}[-i(\beta)]e^{-i(\beta)}] = 0 \quad (16)$$

Colocando o termo $e^{-i(\beta)}$ em evidência, tem-se:

$$dL/db = [R_{Tr}(\beta) - C'_{To}(\beta) + C_{To}(\beta) * i(\beta)]e^{-i(\beta)} = 0 \quad (17)$$

$$R_{Tr}(\beta) - C'_{To}(\beta) + C_{To}(\beta) * i(\beta) = 0 \quad (18)$$

$$\text{ou } R_{Tr}(\beta) + i(\beta)C_{To}(\beta) = C'_{To}(\beta) = 0 \quad (19)$$

$$R_{Tr} = C'_{To} - iC_{To} \quad (20)$$

admitindo-se que:

$$d^2L/d\beta^2 < 0 \quad (21)$$

em que C'_{To} = variação do custo de transformação em toco (4x2).

A equação (20) indicou que o momento β ótimo que maximiza o lucro ocorrerá quando a receita líquida do truck se igualar à variação do custo de transformação, menos os juros sobre o custo de transformação.

De forma semelhante às antecedentes, derivou-se a função de lucro (7) em relação a (T) para se obter o tempo ótimo de serviço para o caminhão toco (T); observou-se também que este é o ponto de retirada do equipamento, ou seja, fecha-se o ciclo.

$$dL/dT = R_{To}(T)e^{-i(T)} + S'_{To}(T)e^{-i(T)} - i(T)S_{To}(T) = 0 \quad (22)$$

Colocando o termo em evidência, tem-se:

$$dL/dT = [R_{To}(T) + S'_{To}(T) - i(T)S_{To}(T)]e^{-i(T)} = 0 \quad (23)$$

$$R_{To}(T) + S'_{To}(T) - i(T)S_{To}(T) = 0 \quad (24)$$

$$\text{ou } R_{To} = iS_{To} - S'_{To} \quad (25)$$

admitindo-se que:

$$d^2L/dT^2 < 0 \quad (26)$$

em que S'_{To} = variação do valor de venda do toco (4x2) no ano T .

Nesse último caso, a equação (25) diz que o momento T ótimo que maximiza o lucro ocorrerá quando a receita do toco se igualar aos juros sobre o valor residual do toco menos a perda do valor residual.

2.2. Estudo de caso

Para comparar os modelos foram utilizados dados de um conjunto (cavalo-mecânico + semi-reboque de três eixos) que, após trabalhar certo período, seria transformado em caminhão truck, o qual também trabalharia determinado período e, posteriormente, seria transformado em caminhão toco; este, após alguns anos trabalhando, seria finalmente retirado do processo.

Para testar a aplicabilidade dos modelos, considerou-se o valor de aquisição da carreta Scania P – 124 GA 360 4x2 igual a R\$206.000,00 e uma taxa de juros anual de 10%.

O valor residual da carreta foi obtido no site Economia e Transporte, observando-se o valor de mercado do equipamento com diferentes idades. O custo operacional foi calculado considerando os custos fixos

e variáveis do equipamento, excluindo a depreciação. A renda bruta foi obtida considerando um valor médio pago por quilômetro rodado por ano.

As análises foram feitas numa planilha eletrônica. Para fins de análise, consideraram-se o custo operacional do *truck* de aproximadamente 78% do custo operacional da carreta, o custo operacional do toco de aproximadamente 78% do custo operacional do *truck*, a renda bruta do *truck* de cerca de 80% da renda bruta da carreta, a renda bruta do toco de aproximadamente 90% da renda bruta do *truck*. O valor residual do semi-reboque e do toco foi obtido de Economia e Transporte (2003).

Os demais dados utilizados foram obtidos em Transporte Moderno (2000), Sora (2002), Economia e Transporte (2003ab) e Automóvel (2003) e através de contatos (via E-mail) realizados com usuários de veículos *Scania*. Cabe ressaltar que os valores foram corrigidos para real (R\$), considerando-se, em março de 2003, a conversão de U\$1,00 = R\$3,40.

2.3. Comparação das alternativas

Para comparar as duas alternativas de uso da carreta sem transformação e o conjunto transformado, utilizou-se como método de avaliação econômica o Valor Anual Equivalente (VAE).

O VAE representa o lucro anual que o veículo proporcionará ao longo de sua vida útil. Esse critério permite comparar projetos ou alternativas com durações diferentes, como o estudo em questão. Seu cálculo é dado por:

$$VAE = \frac{VPL * i}{[1 - (1 + i)^n]}$$

em que:

VAE = Valor Anual Equivalente (R\$/ano);

VPL = Valor Presente Líquido (R\$);

i = taxa anual de juros; e

n = tempo ótimo de utilização do equipamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Simulação

A simulação do método ciclo terminal para carreta *Scania*, sem considerar as transformações, é apresentada no Quadro 1. Verificou-se que o frete decresce aproximadamente de forma linear, e a receita líquida é decrescente e positiva do 1º ao 12º ano, sendo, a partir de então, decrescente e negativa. O mesmo comportamento foi observado para receita atualizada.

Quadro 1 – Simulação do método ciclo terminal para carreta *Scania* P124 GA 360 4 x 2, sem considerar as transformações
Table 1 – Simulation of the method terminal cycle for cart *Scania* 360 P124 GA 4 x 2, without considering the transformations

Período	Valor Residual (S)	Custo Operacional	Renda Bruta	Receita Líquida (Q)	Receita Líquida Atualizada	Receita Atualizada Acumulada	Lucro Atual (B)	(i.S)	(S')	(i.S - S')
1	137.793,40	35.450,25	83.808,07	48.357,82	43.961,65	43.961,65	-36.771,62	13.779,34	-68.206,60	81.985,94
2	121.974,72	35.584,24	79.817,08	44.232,84	36.556,07	80.517,72	-24.676,73	12.197,47	-15.818,68	28.016,15
3	110.460,30	36.114,27	76.016,14	39.901,87	29.978,87	110.496,59	-12.512,95	11.046,03	-11.514,41	22.560,44
4	101.303,15	36.447,17	72.395,95	35.948,78	24.553,50	135.050,09	-1.758,50	10.130,31	-9.157,16	19.287,47
5	94.860,27	36.947,75	68.948,52	32.000,77	19.869,96	154.920,05	7.820,81	9.486,03	-6.442,88	15.928,91
6	89.785,24	37.747,45	65.665,89	27.918,44	15.759,23	170.679,28	15.360,71	8.978,52	-5.075,02	14.053,55
7	84.703,40	38.794,51	62.538,75	23.744,24	12.184,55	182.863,83	20.330,06	8.470,34	-5.081,85	13.552,18
8	78.333,70	39.945,47	59.560,46	19.614,99	9.150,54	192.014,37	22.557,62	7.833,37	-6.369,69	14.203,07
9	73.586,68	41.874,25	56.724,38	14.850,13	6.297,90	198.312,27	23.520,21	7.358,67	-4.747,02	12.105,69
10	69.105,25	43.875,45	54.022,52	10.147,07	3.912,14	202.224,41	22.867,47	6.910,52	-4.481,43	11.391,95
11	62.201,64	45.675,28	51.320,66	5.645,38	1.978,67	204.203,08	20.004,37	6.220,16	-6.903,61	13.123,78
12	59.626,49	47.985,74	48.618,81	633,07	201,71	204.404,80	17.403,63	5.962,65	-2.575,15	8.537,80
13	55.709,03	49.572,68	45.916,95	-3.655,73	-1.058,93	203.345,86	13.482,78	5.570,90	-3.917,46	9.488,36
14	51.977,92	51.987,58	43.215,09	-8.772,49	-2.310,07	201.035,79	8.723,20	5.197,79	-3.731,11	8.928,90
15	48.417,75	53.678,95	40.513,24	-13.165,71	-3.151,77	197.884,02	3.474,85	4.841,78	-3.560,16	8.401,94

Em que: iS= juros sobre o valor residual, S'= variação do valor residual e (iS-S'=Q) = momento ótimo de substituição do equipamento.



Observou-se alta desvalorização da carreta nos primeiros anos: 33,11; 11,45; e 9,43% no 1º, 2º e 3º anos, respectivamente. A redução do valor residual diminui nos anos seguintes, tendendo a se estabilizar nos últimos anos. Os custos variáveis comportam-se de forma contrária, ou seja, seguem uma tendência crescente ao longo dos anos, em virtude de maior manutenção e desgastes.

A receita bruta acumulada atinge seu valor máximo no 12º ano. O lucro é negativo até o 4º ano, período até o qual é abatido o investimento inicial para a compra da carreta. O lucro mostra-se crescente até o nono período, em que atinge seu valor máximo, sendo esse momento indicado para substituição da carreta (quando $iS - S' = Q$). O lucro máximo observado foi de R\$23.520,21, com um valor anual equivalente de R\$4.084,06 para o projeto e tempo ótimo de serviço de nove anos (Figura 1).

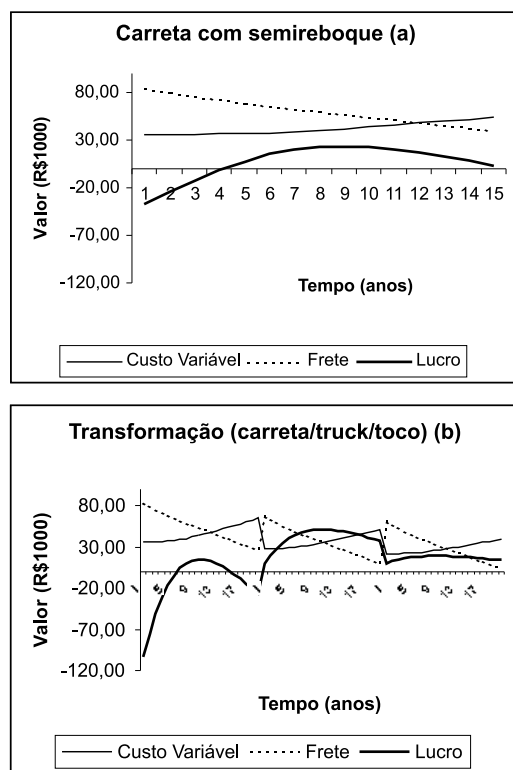


Figura 1 – Simulação de custo variável, frete e lucro acumulado para carreta com semi-reboque (a) e para transformação (carreta/truck/toco) (b).

Figure 1 – Simulation of variable cost, freight and profit accumulated for cart with semitrailer (a) and transformation (cart/truck/two-wheeled cart) (b).

Conforme demonstrado no Quadro 2, a receita líquida apresenta-se positiva até o 12º ano, o mesmo notado em relação à renda líquida atualizada; a renda bruta acumulada apresenta-se crescente até o 12º ano, a partir do qual se torna decrescente. O lucro mostra-se negativo até o sexto ano, a partir daí torna-se positivo, atingindo seu valor máximo no 10º ano, sendo de R\$15.182,73. No entanto, o tempo ótimo para transformação da carreta em *truck* é o 11º ano (quando $iS_{s3} - S'_{s3} - iC'_{tr} + C'_{tr} = R_{s3}$). Esse fato se justifica na pequena diferença do valor do lucro entre o 10º e o 11º ano, que é de 1,38%, e principalmente porque a metodologia busca maximizar a função de lucro total (uso da carreta, do *truck* e do toco ao mesmo tempo) e não as funções de lucros parciais ou de um dos veículos individualmente.

Após transformação da carreta em *truck* aos 11 anos, a equação do modelo que maximiza o lucro do *truck* apresentou tanto a receita líquida quanto a atualizada positiva até os 21 anos de uso (Quadro 3).

Conforme pode ser observado no Quadro 3, o *truck* apresenta lucro positivo em todo o horizonte temporal em que foi realizada a simulação, sendo do ano 11 ao 31. O fato de a carreta já estar paga contribui para a lucratividade favorável; o *truck* arca apenas com o custo da transformação, que é de R\$9.303,00, contando para amortizá-lo com o valor residual do semi-reboque de R\$66.450,00. O lucro da utilização do *truck* é maximizado no 21º ano, sendo de R\$51.093,71. Como ocorreu com a carreta, o tempo ótimo indicado para a transformação foi o período seguinte (quando $R_{tr} = C'_{to} - C_{to}$); a diferença para o valor do lucro maximizado é de 0,06%.

A equação utilizada para determinar o momento ótimo da transformação do caminhão *truck* em toco indicou que o veículo passa a ser utilizado como toco no 23º ano, com um custo de transformação de R\$7.974,00; a partir daí apresenta receita líquida e atualizada, com valores positivos até o 33º ano, período até o qual também se notou a receita acumulada com comportamento crescente. O lucro é maximizado no 31º ano, com o valor de R\$19.044,65, sendo este indicado como o último ano de atividade do caminhão toco (quando $R_{to} = iS'_{to} - S'_{to}$), devendo ser retirado com valor residual de R\$25.744,10 – isso pode ser observado no Quadro 4.

O tempo total de utilização do equipamento transformado foi estimado em 31 anos, apresentando lucro positivo em todas as fases de utilização, conforme Quadro 5.

Quadro 2 – Simulação da carreta para transformação em *truck*

Table 2 – Simulation of the cart for transformation into truck

Período	Custo Operacional	Renda Bruta	Receita Líquida	Receita Atual	Receita Atualizada Acumulada	Lucro Atual	S_{ss}	C_r	S'_{ss}	C'_r	$iS_{ss}-S'_{ss}-iC_r+C'_r$
1	35.450,25	83.808,07	48.357,82	43.961,65	43.961,65	-104.045,62	63.792,00	6.645,00	-2658,00	265,80	8.638,50
2	35.584,24	79.817,08	44.232,84	36.556,07	80.517,72	-74.958,31	61.134,00	6.910,80	-2658,00	265,80	8.346,12
3	36.114,27	76.016,14	39.901,87	29.978,87	110.496,59	-51.569,53	58.476,00	7.176,60	-2658,00	265,80	8.053,74
4	36.447,17	72.395,95	35.948,78	24.553,50	135.050,09	-31.917,74	57.147,00	7.442,40	-1329,00	265,80	6.565,26
5	36.947,75	68.948,52	32.000,77	19.869,96	154.920,05	-16.421,37	55.818,00	7.708,20	-1329,00	265,80	6.405,78
6	37.747,45	65.665,89	27.918,44	15.759,23	170.679,28	-4.563,10	54.489,00	7.974,00	-1329,00	265,80	6.246,30
7	38.794,51	62.538,75	23.744,24	12.184,55	182.863,83	4.143,31	53.160,00	8.239,80	-1329,00	265,80	6.086,82
8	39.945,47	59.560,46	19.614,99	9.150,54	192.014,37	10.193,91	51.831,00	8.505,60	-1329,00	265,80	5.927,34
9	41.874,25	56.724,38	14.850,13	6.297,90	198.312,27	13.730,05	50.502,00	8.771,40	-1329,00	265,80	5.767,86
10	43.875,45	54.022,52	10.147,07	3.912,14	202.224,41	15.182,73	49.173,00	9.037,20	-1329,00	265,80	5.608,38
11	45.675,28	51.320,66	5.645,38	1.978,67	204.203,08	14.972,11	47.844,00	9.303,00	-1329,00	265,80	5.448,90
12	47.985,74	48.618,81	633,07	201,71	204.404,80	13.225,91	46.515,00	9.568,80	-1329,00	265,80	5.289,42
13	49.572,68	45.916,95	-3.655,73	-1.058,93	203.345,86	10.434,63	45.186,00	9.834,60	-1329,00	265,80	5.129,94
14	51.987,58	43.215,09	-8.772,49	-2.310,07	201.035,79	6.584,71	43.857,00	10.100,40	-1329,00	265,80	4.970,46
15	53.678,95	40.513,24	-13.165,71	-3.151,77	197.884,02	2.064,89	42.528,00	10.366,20	-1329,00	265,80	4.810,98
16	55.867,25	37.811,38	-18.055,87	-3.929,48	193.954,54	-3.079,36	41.199,00	10.632,00	-1329,00	265,80	4.651,50
17	57.876,28	35.109,52	-22.766,76	-4.504,28	189.450,26	-8.661,68	39.870,00	10.897,80	-1329,00	265,80	4.492,02
18	59.874,78	32.407,67	-27.467,12	-4.940,20	184.510,06	-14.558,01	38.541,00	11.163,60	-1329,00	265,80	4.332,54
19	62.341,57	29.705,81	-32.635,76	-5.336,21	179.173,85	-20.741,69	37.212,00	11.429,40	-1329,00	265,80	4.173,06
20	64.873,41	27.003,95	-37.869,46	-5.629,05	173.544,79	-27.121,43	35.883,00	11.695,20	-1329,00	265,80	-7.947,42

Em que: S_{ss} = valor residual do semi-reboque, C_r = custo de transformação (carreta em truck), S'_{ss} = variação do valor residual do semi-reboque, C'_r = variação do custo de transformação (carreta em truck), iS_{ss} = juros sobre o valor residual do semi-reboque, iC_r = juros sobre o custo de transformação e $iS_{ss}-S'_{ss}-iC_r+C'_r = R_{ss}$ = momento ótimo para transformação (carreta em truck).

Quadro 3 – Simulação do truck para transformação em toco

Table 3 – Simulation of truck for transformation into two-wheeled cart

Período	Custo Operacional	Renda Bruta	Receita Líquida R_{Tr}	Receita Atual	Receita Atualizada Acumulada	Lucro Atual	C_{to}	C'_{to}	$C'_{to} - iC_{to}$
12	27.651,20	67.860,07	40.208,87	12.811,79	12.811,79	9.551,14	6.645,00	132,90	-531,60
13	27.755,71	63.869,08	36.113,37	10.460,76	23.272,54	20.011,90	6.777,90	132,90	-544,89
14	28.169,13	60.068,14	31.899,01	8.400,01	31.672,55	28.411,91	6.910,80	132,90	-558,18
15	28.428,79	56.447,95	28.019,15	6.707,56	38.380,11	35.119,47	7.043,70	132,90	-571,47
16	28.819,25	53.000,52	24.181,28	5.262,55	43.642,66	40.382,02	7.176,60	132,90	-584,76
17	29.443,01	49.717,89	20.274,88	4.011,28	47.653,94	44.393,30	7.309,50	132,90	-598,05
18	30.259,72	46.590,75	16.331,04	2.937,28	50.591,22	47.330,58	7.442,40	132,90	-611,34
19	31.157,47	43.612,46	12.455,00	2.036,49	52.627,71	49.367,07	7.575,30	132,90	-624,63
20	32.661,92	40.776,38	8.114,46	1.206,16	53.833,88	50.573,23	7.708,20	132,90	-637,92
21	34.222,85	38.074,52	3.851,67	520,48	54.354,35	51.093,71	7.841,10	132,90	-651,21
22	35.626,72	35.372,66	-254,05	-31,21	54.323,14	51.062,50	7.974,00	132,90	-664,50
23	37.428,88	32.670,81	-4.758,07	-531,37	53.791,77	50.531,13	8.106,90	132,90	-677,79
24	38.666,69	29.968,95	-8.697,74	-883,04	52.908,73	49.648,08	8.239,80	132,90	-691,08
25	40.550,31	27.267,09	-13.283,22	-1.225,99	51.682,74	48.422,10	8.372,70	132,90	-704,37
26	41.869,58	24.565,24	-17.304,35	-1.451,93	50.230,81	46.970,17	8.505,60	132,90	-717,66
27	43.576,46	21.863,38	-21.713,08	-1.656,22	48.574,59	45.313,94	8.638,50	132,90	-730,95
28	45.143,50	19.161,52	-25.981,98	-1.801,68	46.772,91	43.512,27	8.771,40	132,90	-744,24
29	46.702,33	16.459,67	-30.242,66	-1.906,48	44.866,43	41.605,79	8.904,30	132,90	-757,53
30	48.626,42	13.757,81	-34.868,62	-1.998,27	42.868,16	39.607,52	9.037,20	132,90	-770,82
31	50.601,26	11.055,95	-39.545,31	-2.060,26	40.807,90	37.547,26	9.170,10	132,90	-784,11

Em que: C_{to} = custo de transformação (truck em toco), C'_{to} = variação do custo da transformação, iC_{to} = juros sobre o valor do custo da transformação e $(C'_{to}-iC_{to} = R_{Tr})$ = momento ótimo para a transformação (truck em toco).



Quadro 4 – Simulação do uso do caminhão toco até a retirada**Table 4** – Simulation of the use of the two-wheeled cart until the withdrawal

Período	Custo Operacional	Renda Bruta	Receita Líquida R_T	Receita Atual	Receita Atualizada acumulada	Lucro Atual	Valor Residual Toco S_{T_o}	S'_{T_o}	$iS_{T_o} - S'_{T_o}$
23	21.567,93	61.215,07	39.647,14	4.427,72	4.427,72	10.127,06	59.805,00	-6645,0	12.625,50
24	21.649,45	57.224,08	35.574,63	3.611,74	8.039,45	12.524,45	53.824,50	-5980,5	11.362,95
25	21.971,92	53.423,14	31.451,22	2.902,82	10.942,28	14.433,71	48.442,05	-5382,5	10.226,66
26	22.174,46	49.802,95	27.628,49	2.318,18	13.260,46	15.938,98	43.597,85	-4844,2	9.203,99
27	22.479,01	46.355,52	23.876,51	1.821,24	15.081,70	17.095,12	39.238,06	-4359,8	8.283,59
28	22.965,55	43.072,89	20.107,34	1.394,31	16.476,01	17.945,25	35.314,25	-3923,8	7.455,23
29	23.602,58	39.945,75	16.343,17	1.030,26	17.506,28	18.530,27	31.782,83	-3531,4	6.709,71
30	24.302,82	36.967,46	12.664,64	725,79	18.232,07	18.891,78	28.604,55	-3178,3	6.038,74
31	25.476,29	34.131,38	8.655,08	450,92	18.682,99	19.044,65	25.744,09	-2860,5	5.434,86
32	26.693,82	31.429,52	4.735,70	224,29	18.907,28	19.025,08	23.169,68	-2574,4	4.891,38
33	27.788,84	28.727,66	938,82	40,42	18.947,70	18.865,98	20.852,71	-2317,0	4.402,24
34	29.194,52	26.025,81	-3.168,72	-124,03	18.823,67	18.578,70	18.767,44	-2085,3	3.962,02
35	30.160,02	23.323,95	-6.836,07	-243,26	18.580,42	18.201,88	16.890,70	-1876,7	3.565,81
36	31.629,24	20.622,09	-11.007,15	-356,07	18.224,34	17.736,53	15.201,63	-1689,1	3.209,23
37	32.658,27	17.920,24	-14.738,04	-433,42	17.790,92	17.213,70	13.681,47	-1520,2	2.888,31
38	33.989,63	15.218,38	-18.771,26	-501,85	17.289,08	16.638,70	12.313,32	-1368,1	2.599,48
39	35.211,93	12.516,52	-22.695,41	-551,60	16.737,48	16.027,25	11.081,99	-1231,3	2.339,53
40	36.427,82	9.814,67	-26.613,15	-588,02	16.149,46	15.390,26	9.973,79	-1108,2	2.105,58
41	37.928,61	7.112,81	-30.815,80	-618,98	15.530,49	14.731,22	8.976,41	-997,4	1.895,02
42	39.468,98	4.410,95	-35.058,03	-640,17	14.890,32	14.058,26	8.078,77	-897,6	1.705,52

Em que: iS_{T_o} = juros sobre o valor residual do toco, S'_{T_o} = variação do valor residual do toco e $(iS_{T_o} - S'_{T_o} = R_{T_o})$ = momento ótimo (T) para retirada do toco.

Quadro 5 – Lucratividade da carreta sem transformação e da carreta transformada**Table 5** – Profitability of the cart without transformation and the transformed cart

Equipamento	Intervalo de Uso (anos)	Lucro (R\$)	VAE (R\$)
Carreta s/ transformação	1-9	23.520,31	4.084,06
Carreta c/ transformação	1-11	14.972,11	-
Truck	12-22	66.034,64	-
Toco	23-31	19.044,64	-
Sistema (carreta/truck/toco)	1-31	100.051,37	10.555,04

Verifica-se, pelo Quadro 5, que o valor anual equivalente (VAE) ou lucro anual corrigido, obtido através da simulação da transformação, à taxa de 10% a.a., foi de R\$10.555,04, maior, portanto, que o valor obtido com a simulação da carreta sem transformação que foi de R\$4.084,06. O modelo que utiliza as transformações apresentou um VAE 258% maior, indicando a viabilidade na transformação de equipamentos. Tal fato possibilita maior utilização do equipamento com um lucro anual

equivalente mais atrativo do que o processo sem transformação.

3.2. Análise de Sensibilidade

Para verificar o efeito das variáveis preço de compra do veículo novo, custos operacionais, valor do frete e taxa de juros no lucro e no tempo de utilização dos veículos, simularam-se variações de mais ou menos 20% nessas variáveis. Os resultados obtidos dessas variações (Quadro 6) evidenciaram que as variações percentuais nos valores de preço de compra e taxa de juros não causaram efeito significativo em α , β e T do sistema, mas afetaram a lucratividade.

Todas as variáveis afetaram significativamente o lucro, sendo a variação na taxa de juros a que causou menor efeito. Observou-se que o frete pode ser reduzido até cerca de 11% que o lucro ainda se mostra positivo (Figura 2a), a partir daí se tem um lucro negativo. O efeito dos custos operacionais e do preço de compra do equipamento no lucro é aproximadamente o mesmo, observando-se que, mesmo com o aumento de 20% nos valores dessas variáveis, o lucro ainda se mantém positivo.

Quadro 6 – Efeitos de variações nos valores das variáveis em mais ou menos 20%, apresentando o lucro em reais e α, β e T em anos

Table 6 – Effect of variations in the values of the 0 variable with plus or minus 20%, presenting the profit in Reals and α, β and T in years

Variável	-20%				0%				+20%			
	Lucro	α	β	T	Lucro	α	β	T	Lucro	α	β	T
Pr. Compra	182451,37	11	22	31	100051,37	11	22	31	17651,37	11	22	31
Custos Operac.	200356,22	13	26	37	100051,37	11	22	31	12429,37	9	18	26
Frete	-77258,67	8	17	24	100051,37	11	22	31	293027,62	13	26	37
Tx. Juros	165031,88	11	22	32	100051,37	11	22	31	48445,59	11	22	31

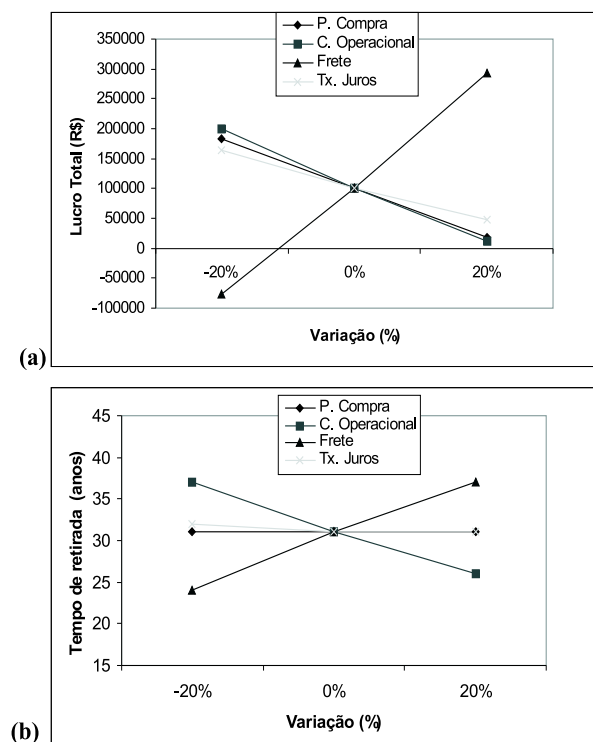


Figura 2 – Simulação dos efeitos de variações no sistema.
Figure 2 – Simulation of the effects of variations in the system

Com relação ao tempo de retirada (Figura 2b), o custo operacional teve efeito negativo, ou seja, aumentando o valor dos custos operacionais, diminuiu-se o tempo de retirada do equipamento. Em contrapartida, o frete teve efeito positivo, isto é, incrementando o valor do frete, eleva-se o tempo de retirada do equipamento. Observou-se também que o preço de compra do equipamento não afetou o tempo de retirada, pois ocorre uma única vez e no ano zero.

A taxa de juros afetou negativamente o tempo de retirada, ou seja, aumentando a taxa, diminui-se o tempo de retirada do equipamento.

4. CONCLUSÕES

O método desenvolvido mostrou-se eficiente para dar suporte à tomada de decisão, no que se refere aos veículos de transporte pesado, que representam importante ativo nas empresas florestais.

Com base nos dados de custo e frete utilizados, a transformação mostra-se como uma alternativa para as empresas que não dispõem de capital para investir em um equipamento novo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, S.C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois sistemas de colheita florestal no litoral norte da Bahia.** 1998. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

AUTOMÓVEL. **O mega portal do automóvel.** Disponível em <<http://www.automovel.com.br>>. Acesso em 22. Fevereiro. 2003.

ECONOMIA E TRANSPORTE. **Caminhões Scania.** Disponível em <<http://www.economiaetransporte.com.br/tabelas/Scania/Scania.html>>. Acesso em 20, fevereiro. 2003a.

ECONOMIA E TRANSPORTE. **Custos operacionais.** Disponível em <<http://www.economiaetransporte.com.br/custosoperacionais/custosoperacionais.html>>. Acesso em 20, fevereiro, 2003b.



- FILGUEIRAS, J. F. **Um modelo de substituição de equipamentos para minimizar custos operacionais em uma empresa florestal.** 1997. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- HIRCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos.** 5.ed. São Paulo: Atlas, 1992. 465 p.
- LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. **Mecanização.** Viçosa: Editora UFV, 2002, v. 1. p. 32-54.
- MACHADO, C.C. **O Setor Florestal Brasileiro.** Viçosa: Editora UFV, 2002. v.1. p. 1-32.
- MASSÉ, P. **Optimal investment decisions: rules for action and criteria for choice.** New Jersey: Prentice Hall, 1962. 500 p.
- MINETTE, L.J. **Avaliação técnica e econômica dos tratores florestais (forwarders), na extração de madeira de eucalipto.** 1988. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- MOREIRA, M.F. O desenvolvimento da mecanização na exploração sob a ótica dos custos. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE EXPLORAÇÃO E TRANSPORTE FLORESTAL, 7., 1992. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.161-170.
- SORA, P. Manutenção ajuda a reduzir custos. **Transporte Moderno**, v.40, n.400, p.79-80, 2002.
- Tabela de Indicadores de Mercado.** v.36, n.393, p.66-69. 2000.
- VALVERDE, S. R.; REZENDE, J. L. P. Princípio de substituição de máquinas e equipamentos. **Revista Árvore**, v. 21, n. 3, p. 353-364, 1997.