

Estudo do momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp: o caso do aumento das receitas

Study of the optimal moment for substitution of *Eucalyptus* spp plantations: the case of increase in income

José Luiz Pereira de Rezende
Álvaro Nogueira de Souza
Antônio Donizette de Oliveira

RESUMO: A reforma ou substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp demanda alto investimento anualmente. Vários projetos são conduzidos paralelamente para atender às demandas da unidade industrial. O aumento nas receitas de uma empresa, não havendo mudança nos preços da madeira e na área plantada, se dá via aumento de produtividade. O aumento da produtividade ocorre devido ao progresso tecnológico do Setor, devendo ser estudado e entendido a fim de que os recursos investidos alcancem maior retorno. O progresso tecnológico pode se dar de várias formas, mas seus efeitos se resumem no aumento de produtividade e na redução dos custos. Este trabalho objetivou estudar os efeitos do aumento da produtividade sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp; determinar o momento de corte do povoamento, sendo a receita crescente e o custo constante; propor e verificar a eficiência de um modelo matemático; determinar o momento de substituir-se os custos que permaneceram constantes desde a década de 60 e projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando a produtividade crescente e os custos constantes a valores de hoje, utilizando-se dados médios de grandes empresas florestais que atuam no Cerrado do Estado de Minas Gerais. Para a determinação do volume e da produtividade, foi utilizada a Função Gompertz. O critério econômico utilizado para a avaliação da viabilidade dos projetos foi o Valor Presente Líquido. O estudo proposto constou da modelagem do aumento da produtividade e da determinação da taxa desse aumento, bem como da determinação de uma taxa que serviu como um moderador para que a produtividade não atingisse valores irrealis. Os custos foram considerados constantes ao longo do tempo. Concluiu-se que: a rotação florestal com valores atuais é aos 7 anos de idade; mantidos os custos da década de 60, a idade ótima de substituição estaria após 6 cortes; o modelo mostrou-se eficiente para estimativas em um período de até 40 anos; o estudo da cadeia de substituição mostrou que as idades ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando dos 6 cortes na década de 60, quando havia prejuízo, para 3 cortes na década de 80, quando se começou a obter lucro com a atividade. Atualmente, a substituição deve ser realizada após 2 cortes; para os futuros plantios, verificou-se uma tendência de permanecer nos 2 cortes antes da substituição, porém pequena melhora tecnológica na produtividade das talhadias passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

PALAVRAS-CHAVE: Progresso tecnológico, Reforma de *Eucalyptus*, Economia florestal

ABSTRACT: The renewal or substitution of *Eucalyptus* spp. plantations demands high yearly investment. Several projects are carried out simultaneously to fulfill the demands of the industrial unit. The increase in a company's income when there is no change in the wood price and cultivated area occurs through yield increase. The yield increase occurs with technological progress in the Sector, which should be studied and understood so that the resources invested reach a higher return. Technological progress happens in various ways, but its effects summarize into yield increase and cost reduction. This study aimed to study the effects of yield increase on the optimal time to substitute *Eucalyptus* spp. plantations; to determine rotation age the income being crescent and the cost being constant; to propose and verify the efficiency of a mathematical model; to determine the time of substitution if the costs have been constant since the sixties and to project the time in the future to substitute the population, considering the yield crescent and the costs constant at today's values, employing average data of large forest companies that act in the Cerrado of Minas Gerais State. The Gompertz Function was employed to determine the volume and yield. The economical criterion employed to evaluate the viability of the projects was the Current Net Value. The proposed study consisted of the modeling of the yield increase and the determination of this increment's rate, as well as the determination of a rate which served as a moderator so that the yield would not have unreal values. The costs were considered constant through time. It was concluded that: the forest rotation with current values is at 7 years of age; keeping the costs from the sixties, the optimal age for substitution would be after 6 cuttings; the model proved to be efficient for estimates for a period of up to 40 years; the study of the substitution chain showed that the optimal ages for substitution have gone down along the years, going from 6 cuttings in the sixties, when there was loss, to 3 cuttings in the eighties, when the activity started to be profitable. Nowadays the substitution should be done after 2 cuttings; a tendency to stick with 2 cuttings after the substitution was verified for future cultivations, although little technological improvement in the coppice yield brings the optimal point of substitution to after the third cutting.

KEYWORDS: Technological progress, Renewal of *Eucalyptus*, Forest economy

INTRODUÇÃO

Altos investimentos são aplicados na reforma ou substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp. anualmente.

Os investidores esperam que as receitas geradas ao final do projeto, superem os custos de produção e permitam novos investimentos.

O aumento nas receitas de uma empresa, não havendo mudança nos preços da madeira, se dá via aumento de produtividade, que por sua vez, é possível devido ao progresso tecnológico. Steindl (1980) definiu progresso tecnológico como um processo que acarreta a longo prazo o aumento do produto por trabalhador e que possa ser medido experimentalmente. Porém, esta definição simples não traduz a complexidade do fenômeno. O autor mostrou que o progresso tecnológico pode proporcionar a economia do fator terra e recursos naturais e, consequente-

mente, de capital, além de produzir novos bens e afetar a qualidade de vida. Uma outra característica é o estímulo ao investimento.

Recentemente, tem sido observado um aumento de produtividade nos novos plantios devido aos trabalhos de melhoramento florestal realizados pelas empresas. O aumento gradativo dos preços de terras utilizadas para o plantio de florestas força as empresas a obterem maior produtividade por unidade de área.

O efeito do progresso tecnológico na empresa florestal pode, entre outros critérios, ser verificado pelo aumento na produtividade dos talhões. Com a introdução de clones melhorados e adaptados aos sítios, a utilização de novas técnicas de plantios e tratos culturais, as florestas têm produzido mais a cada ciclo. Este ganho em produtividade pode ser observado na Fi-

gura 1, que mostra o aumento da produtividade de uma empresa florestal de grande porte do Estado de Minas Gerais.

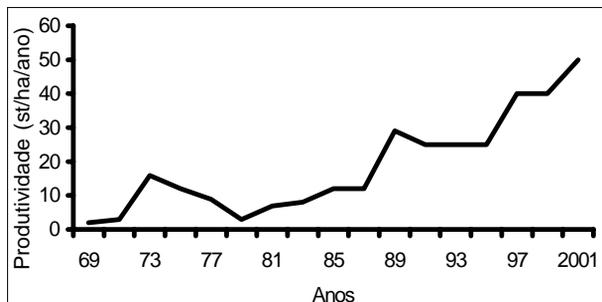


Figura 1. Evolução da produtividade (st/ha.ano) em plantações de *Eucalyptus* spp.

(Productivity growth (st/ha.ano) of *Eucalyptus* spp. plantations).

O efeito do progresso tecnológico sobre os custos neste mesmo período foi menos pronunciado. Tal fato esteve relacionado às altas taxas de inflação, que, associadas à correção monetária, mascaravam os níveis de custos e dificultavam seu controle.

Dentre as atividades de manejo, a reforma é uma das mais importantes, porque proporciona a continuidade da atividade florestal.

A reforma pode ser implementada a qualquer tempo, porém, para se estabelecer uma regulação da floresta com o objetivo de manter um fluxo constante de produção de madeira, é necessário definir qual o intervalo entre os cortes de um determinado talhão, ou seja, qual a idade ótima de se fazer o corte do alto fuste e das talhadias.

Davis (1966) definiu rotação como sendo o tempo passado entre o estabelecimento e o cres-

cimento de uma floresta até o momento de ser explorada. Para ele, o problema maior envolvendo o assunto está em determinar este tempo.

Silva (1990) definiu reforma como sendo a substituição total do povoamento de baixo potencial produtivo, ou com produtividade abaixo da esperada, por um novo povoamento originado do plantio de mudas.

Rezende et al. (1987) compararam um povoamento florestal a uma máquina que produz o produto madeira, chamando a atenção para o fato de que a época ótima de substituir a floresta poderia ser encontrada da mesma maneira que se encontrava a época de substituir uma máquina qualquer.

De acordo com os conceitos da Engenharia Econômica, Massé (1962) diferenciou substituição de reforma quando se trata de máquinas e equipamentos. Para ele, uma substituição é efetuada quando o equipamento se torna incapaz de exercer a função para a qual foi designado e construído, e reforma seria um “reparo” no equipamento para que continue a produzir dentro do esperado.

Rezende et al. (1987) definiram reforma e substituição para o caso de um povoamento florestal, sendo a substituição considerada quando o povoamento não produz de maneira satisfatória.

A reforma se refere a uma situação na qual um povoamento ainda é capaz de executar suas funções, mas pode ser alterado (interplântio, adensamento) ou mesmo ser substituído por outro mais eficiente.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi estudar os efeitos do progresso tecnológico (aumento da produtividade) sobre a época ótima de substituir povoamentos de *Eucalyptus* spp, ou seja, quantos cortes serão realizados no povoamento entre implantações (reforma).

Especificamente, pretendeu-se:

- ✓ Conhecer o momento de corte do povoamento sendo a receita crescente e o custo constante;
- ✓ Propor e verificar a eficiência de um modelo matemático;

✓ Verificar qual seria o momento de substituir, se os custos estivessem constantes desde o início dos incentivos fiscais, ou seja, na década de 60;

✓ Projetar o momento de substituir o povoamento no futuro, considerando a produtividade crescente e os custos constantes a valores de hoje.

MATERIAL E MÉTODOS

Método de avaliação econômica utilizado

O valor presente líquido (VPL), critério mais adotado na avaliação de projetos florestais, foi utilizado neste trabalho. Este critério é rigoroso e isento de falhas, o que lhe confere credibilidade (Contador, 1996). O critério do VPL consiste em trazer para o ano zero do projeto todos os valores constantes no seu fluxo de caixa e subtrair as receitas dos custos.

Algebricamente tem-se:

$$VPL = \sum_{x=0}^{nt} R_x (1+r)^{-x} - \sum_{x=0}^{nt} C_x (1+r)^{-x}$$

onde:

C_x = custos efetuados no ano x ;

R_x = receitas auferidas no ano x ;

r = taxa anual unitária de desconto;

t = rotação em anos;

n = número de cortes;

x = ponto no tempo, em anos, em que ocorrem custos e receitas.

Dado que o horizonte de planejamento considerado foi infinito (VPL_{∞}), não há problemas de correção de durações diferentes entre projetos, nem mesmo para a determinação de rotações.

Função de produção

Para estimar a produção de madeira foi utilizada a Função Gompertz, que é dada por:

$$Y = K \left(1 - e^{-a \cdot e^{b \cdot m}} \right) \quad (1)$$

onde:

K , a e b = coeficientes;

m = Idade do povoamento em meses;

e = Base dos logaritmos neperianos;

Y = Produção de madeira em st/ha.

Contudo, nessa forma a função é “fixa”, isto é, o volume será sempre o mesmo para a mesma idade projetada do povoamento de qualquer implantação. Para retratar uma situação dinâmica (progresso tecnológico) é preciso adaptá-la. Uma possibilidade é determinar uma taxa de crescimento volumétrico que explique o aumento da produtividade com o tempo. Haverá sempre progresso tecnológico. Assim, a partir da equação (1), se Y é constante, a produtividade do alto fuste seria a mesma a cada rotação. Mas se Y cresce com o progresso tecnológico, na próxima rotação não será Y e sim $Y + \Delta Y$. Este ΔY pode ser reduzido a uma taxa anual de aumento de produtividade, facilitando a manipulação. Assim:

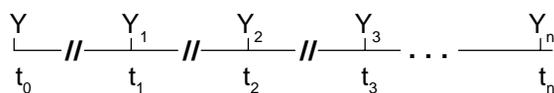
$Y_i = Y + \Delta Y$ = produção do próximo ciclo;

j_i = taxa anual de crescimento de Y no período t_i (rotação);

t_i = rotação em anos.

$$Y_i = Y(1 + j_i)^{t_i} \quad (2)$$

O esquema a seguir ilustra a situação em que o volume é crescente ao longo do tempo:



Onde:

$Y_1 = Y(1 + j_1)^{t_1}$;

$Y_2 = Y(1 + j_1)^{t_1} (1 + j_2)^{t_2}$;

$$\begin{aligned}
 Y_3 &= Y(1+j_1)^{t_1}(1+j_2)^{t_2}(1+j_3)^{t_3}; \\
 &\vdots \\
 Y_n &= Y(1+j_1)^{t_1} \dots (1+j_n)^{t_n}.
 \end{aligned}$$

Em que: Y_1, Y_2, \dots, Y_n são as produtividades dos alto fustes das várias implantações.

Considerando o período de ocorrência das parcelas como sendo igual a cada rotação, para simplificar e permitir a modelagem tem-se:

$$\begin{aligned}
 j_1 = j_2 = j_3 = \dots = j_n = j \\
 t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n = t
 \end{aligned}$$

Assim:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Y(1+j)^t; \\
 Y_2 &= Y(1+j)^{2t}; \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$

$$Y_n = Y(1+j)^{nt} \quad (3)$$

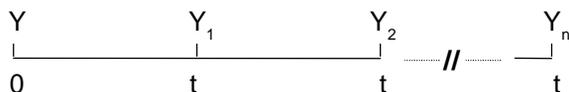
onde:

n = número de implantações;

nt = número de anos decorridos entre o primeiro plantio e o corte final.

Há ainda que se considerar que as talhadas não se beneficiam do progresso tecnológico. Cada talhadia relaciona-se com o volume do alto fuste que lhe deu origem, sendo sempre uma porcentagem deste volume. Por este motivo, quando a taxa de progresso tecnológico é alta, espera-se que o número de cortes que antecedem a reforma, em princípio, diminua a fim de que o volume do novo plantio incorpore o ganho da nova tecnologia.

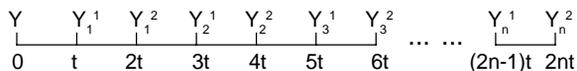
Para a reforma após cada corte e “ n ” implantações, tem-se o seguinte esquema:



Onde:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= Y(1+j)^t \\
 Y_2 &= Y(1+j)^{2t} \\
 Y_n &= Y(1+j)^{nt}
 \end{aligned}$$

Para a reforma após 2 cortes e “ n ” implantações tem-se:

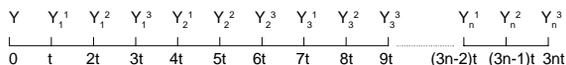


Onde:

$$\begin{aligned}
 Y_1^1 &= Y(1+j)^t \\
 Y_1^2 &= Y.\beta(1+j)^t \\
 Y_2^1 &= Y(1+j)^{3t} \\
 Y_2^2 &= Y.\beta(1+j)^{3t} \\
 Y_3^1 &= Y(1+j)^{5t} \\
 Y_3^2 &= Y.\beta(1+j)^{5t} \\
 &\vdots \\
 Y_n^1 &= Y(1+j)^{(2n-1)t} \\
 Y_n^2 &= Y.\beta(1+j)^{(2n-1)t}
 \end{aligned}$$

Em que “ β ” é o fator que corrige o volume da primeira talhadia em relação ao volume do alto fuste e das demais talhadas em relação à talhadia anterior. O valor de “ β ” foi considerado como sendo 0,90 (90%) do volume anterior.

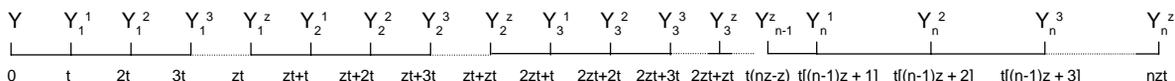
Da maneira como foi colocada, a equação (3) não retratará a realidade, uma vez que a taxa “ j ” não apresenta o mesmo comportamento ao longo do tempo. Para contornar isto, tornou-se necessária a entrada de um moderador que, aplicado à taxa “ j ”, proporcionasse ao volume crescer a uma taxa decrescente, evitando atingir valores irreais.



Onde:

$$\begin{aligned}
 Y_1^1 &= Y(1+j)^t \\
 Y_1^2 &= Y.\beta(1+j)^t \\
 Y_1^3 &= Y.\beta^2(1+j)^t \\
 Y_2^1 &= Y(1+j)^{4t} \\
 Y_2^2 &= Y.\beta(1+j)^{4t} \\
 Y_2^3 &= Y.\beta^2(1+j)^{4t} \\
 &\vdots \\
 Y_n^1 &= Y(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^2 &= Y.\beta(1+j)^{(3n-2)t} \\
 Y_n^3 &= Y.\beta^2(1+j)^{(3n-2)t}
 \end{aligned}$$

Para a reforma após “z” cortes e “n” implantações, tem-se:



Onde:

$$Y_1^1 = Y(1+j)^t$$

$$Y_1^2 = Y.\beta(1+j)^t$$

$$Y_1^3 = Y.\beta^2(1+j)^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y.\beta^{z-1}(1+j)^t$$

$$Y_2^1 = Y(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_2^2 = Y.\beta(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_2^3 = Y.\beta^2(1+j)^{t(z+1)}$$

⋮

$$Y_2^z = Y.\beta^{z-1}(1+j)^{t(z+1)}$$

$$Y_3^1 = Y(1+j)^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^2 = Y.\beta(1+j)^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^3 = Y.\beta^2(1+j)^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_3^z = Y.\beta^{z-1}(1+j)^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_n^1 = Y(1+j)^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^2 = Y.\beta(1+j)^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^3 = Y.\beta^2(1+j)^{t[(n-1)z+1]}$$

⋮

$$Y.\beta^{z-1}(1+j)^{t[(n-1)z+1]}$$

Em que:

Y₁¹ = Volume do primeiro corte da primeira implantação;

Y₁² = Volume do segundo corte da primeira implantação;

⋮

Y_zⁿ = Volume do z-ésimo corte da n-ésima implantação.

No esquema acima, partiu-se de um volume Y referente a uma implantação anterior ao estudo. Como se trata de dois cortes, o primeiro valor Y₁¹ representa o volume do primeiro corte da primeira implantação, Y₁² representa o segundo corte da primeira implantação, e assim sucessi-

vamente. Para modelar o crescimento de Y no caso de reforma após 2 cortes e “n” implantações que retrate a realidade, tem-se em cada ponto no tempo as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y [1+j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^t]^t$$

$$Y_2^1 = Y [1+j(1-u)^{3t}]^{3t}$$

$$Y_2^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^{3t}]^{3t}$$

$$Y_3^1 = Y [1+j(1-u)^{5t}]^{5t}$$

$$Y_3^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^{5t}]^{5t}$$

⋮

$$Y_n^1 = Y [1+j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

$$Y_n^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^{(2n-1)t}]^{(2n-1)t}$$

onde “u” representa a taxa de decréscimo de “j”.

Para o caso de reforma após 3 cortes e “n” implantações com a taxa “j” decrescendo à taxa “u”, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y [1+j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^t]^t$$

$$Y_1^3 = Y.\beta^2 [1+j(1-u)^t]^t$$

$$Y_2^1 = Y [1+j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^2 = Y.\beta [1+j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

$$Y_2^3 = Y.\beta^2 [1+j(1-u)^{4t}]^{4t}$$

⋮

$$Y_n^1 = Y [1+j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1+j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2 [1+j(1-u)^{(3n-2)t}]^{(3n-2)t}$$

Para o caso de “z” cortes e “n” implantações, têm-se as seguintes expressões:

$$Y_1^1 = Y [1+j(1-u)]^t$$

$$Y_1^2 = Y \cdot \beta [1+j(1-u)]^t$$

$$Y_1^3 = Y \cdot \beta^2 [1+j(1-u)]^t$$

⋮

$$Y_1^z = Y \cdot b^{z-1} [1+j(1-u)]^t$$

$$Y_2^1 = Y [1+j(1-u)^{t(z+1)}]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^2 = Y \cdot \beta [1+j(1-u)^{t(z+1)}]^{t(z+1)}$$

$$Y_2^3 = Y \cdot \beta^2 [1+j(1-u)^{t(z+1)}]^{t(z+1)}$$

⋮

$$Y_2^z = Y \cdot \beta^{z-1} [1+j(1-u)^{t(z+1)}]^{t(z+1)}$$

$$Y_3^1 = Y [1+j(1-u)^{t(2z+1)}]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^2 = Y \cdot \beta [1+j(1-u)^{t(2z+1)}]^{t(2z+1)}$$

$$Y_3^3 = Y \cdot \beta^2 [1+j(1-u)^{t(2z+1)}]^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_3^z = Y \cdot \beta^{z-1} [1+j(1-u)^{t(2z+1)}]^{t(2z+1)}$$

⋮

$$Y_n^1 = Y [1+j(1-u)^{t[(n-1)z+1]}]^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^2 = Y \cdot \beta [1+j(1-u)^{t[(n-1)z+1]}]^{t[(n-1)z+1]}$$

$$Y_n^3 = Y \cdot \beta^2 [1+j(1-u)^{t[(n-1)z+1]}]^{t[(n-1)z+1]}$$

⋮

$$Y_n^z = Y \cdot \beta^{z-1} [1+j(1-u)^{t[(n-1)z+1]}]^{t[(n-1)z+1]} \quad (4)$$

A equação (4) representa o modelo proposto para a determinação da produção, considerando o progresso tecnológico.

Receitas

As receitas brutas (RB) são obtidas com a venda da produção (Y) ao preço de mercado (P). Logo, RB é dada por:

$$RB = Y * P \quad (5)$$

Para o cálculo do Valor Presente da RB, tem-se a seguinte expressão para “z” cortes e “n” implantações:

$$VP(RB) = P * \left\{ Y_1^1 (1+r)^{-t} + Y_1^2 (1+r)^{-2t} + \dots + Y_1^z (1+r)^{-zt} + Y_2^1 (1+r)^{-t(z+1)} + Y_2^2 (1+r)^{-t(z+2)} + \dots + Y_2^z (1+r)^{-2zt} + \dots + Y_{n-1}^z (1+r)^{-t(nz-z)} + Y_n^2 (1+r)^{-t[(n-1)z+1]} + \dots + Y_n^z (1+r)^{-znt} \right\} \quad (6)$$

O valor entre chaves representa o volume equivalente no período considerado.

Custos

A planilha de custos utilizada para os cálculos, em valores atuais (1999), está representada na Tabela 1. Os custos, de grandes empresas florestais que atuam na região do cerrado em Minas Gerais, foram divididos em três grupos. O 1º grupo foi composto pelos custos operacionais de plantio (ano zero), o 2º grupo foi composto por custos operacionais da manutenção florestal (1º ano ao ano de corte) e o 3º grupo foi composto pelos custos operacionais da regeneração florestal (1º ano após o corte ao ano de corte das talhadas). Além desses custos, foram considerados os seguintes valores:

- Taxa de desconto: 8% ao ano;
- Preço atual da madeira: 15.00 US\$/st;
- Preço da madeira na década de 60: 12.00 US\$/st;

- Produtividade das talhadias (β): 90% do volume do corte anterior (valor médio de acordo com empresas que atuam no cerrado mineiro);
- Custo de colheita na década de 60: 6.00 US\$/st;
- Custo atual de colheita: 2.00 US\$/st;
- Custo de bateção pré-corte na década de 60: 48.00 US\$/st;
- Custo atual de bateção pré-corte: 16.00 US\$/st.

Como o presente trabalho considerou os custos constantes ao longo do tempo, o cálculo do valor presente dos custos será semelhante ao das receitas. Assim:

$$VPC = \sum_{X=0}^{nt} (C_x)^{-x} \quad (7)$$

onde VPC representa o valor presente dos custos e C representa as parcelas de custos consideradas iguais ao longo do tempo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo

Para se testar a validade do modelo, ou seja, para modelar o crescimento da produtividade ao longo do tempo, foram utilizados dados de produtividade provenientes da década de 1960 até os dados atuais. O primeiro passo foi calcular a taxa média de crescimento da produtividade ao longo destes anos.

Dados obtidos de IBDF (1974), e os atuais, fornecidos por grandes empresas que atuam na região do Cerrado de Minas Gerais, proporcionaram a obtenção da taxa média de crescimento da produtividade (“j”), que foi de 15% a.a. entre as décadas de 1960 e 1990. Porém, este valor médio, por si só, não resolveria a questão, pois se esta taxa fosse considerada sempre de 15% a.a., a produtividade calculada pelo modelo chegaria a valores irrealistas. Assim houve a necessidade de introduzir um moderador que permitisse a modelagem com valores reais. De posse dos valores antigos e atuais de produtividade foi calculado o valor da taxa de decréscimo (moderador) da taxa de aumento da produtividade (“u”), que foi de 2,3% a.a. .

O próximo passo foi determinar as produtividades ao longo do tempo, aplicando-se a seguinte equação:

$$Y_n = Y * [1+j(1-u)^{nt}]^{nt}$$

Abaixo estão relacionadas as produtividades aos 7 anos, que vão de 1960 a 2000, e, de 2000 a 2040, bem como, os valores das taxas “j” e “u”. Estes dados originaram a Tabela 2, onde estão relacionadas as produtividades estimadas para as décadas de 1960 a 2040, beneficiadas pelo progresso tecnológico.

1960-2000	2000-2040
Y = 30 st/ha;(1960)	Y = 300 st/ha; (2000)
Y _n = 300 st/ha;(2000)	Y _n = 400 st/ha; (2040)
j = 0,15; ou 15% a.a.	j = 0,007218; ou 0,7218% a.a.
u = 0,023; ou 2,3% a.a.	u = 0,001; ou 0,1% a.a.

O volume foi estimado dentro de um horizonte de 40 anos. Tal fato se deve às próprias limitações apresentadas pelo modelo. A parte da equação:

$$[1+j(1-u)^{nt}]^{nt}$$

crece até um certo ponto com “nt”, posteriormente ela começa a cair, provocando reduções nos volumes. Estas restrições do modelo são mais pronunciadas quanto maiores forem os valores de “j” e “u”. A Figura 2 representa a evolução da produtividade ao longo do período considerado.

É importante lembrar que a função de produção utilizada para estimar a produtividade é

Tabela 1. Planilha de Custos.

(Cost Chart).

Custos de plantio	Custo efetivo (US\$/ha)	Custo efetivo	Ano de
	década de 60	(US\$/ha) atual	ocorrência
Preparo da área	331,11	110,37	0
Capina química	134,19	44,73	0
Adubação	192,60	64,20	0
Produção de mudas	357,54	119,18	0
Plantio	87,72	29,24	0
Diversos	696,84	232,28	0

Custos de plantio	Custo efetivo (US\$/ha)	Custo efetivo	Ano de
	década de 60	(US\$/ha) atual	ocorrência
Tratos culturais	253,95	84,65	1
	95,61	31,87	2
	16,08	5,36	3 a t
Adubação	98,97	32,99	1
	16,62	5,54	2
Controle de pragas	24,63	8,21	1 a t
Controle de incêndios florestais	10,20	3,40	1 a t
Inventário florestal	6,15	2,05	1 a t
Diversos	61,05	20,35	1
	22,17	7,39	2
	8,85	2,95	3 a t

Custos de plantio	Custo efetivo (US\$/ha)	Custo efetivo	Ano de
	década de 60	(US\$/ha) atual	ocorrência*
Tratos culturais	60,63	20,21	1
	123,33	41,11	2
Adubação	561,06	187,02	1
Controle de pragas	37,56	12,52	1
	24,63	8,21	2 a t
Controle de incêndios florestais	10,20	3,40	1 a t
Inventário florestal	6,09	2,03	1 a t
Diversos	107,7	34,90	1
	25,47	8,49	2
	6,33	2,11	3 a t

*Anos que sucedem aos cortes.

Tabela 2. Produtividade estimada por década de 1960 a 2000 e de 2000 a 2040.

(Estimated productivity per decade from 1960 to 2000 and from 2000 to 2040).

Época	Volume (st/ha)	Época	Volume (st/ha)
1960	30,00	2000	300,00
1970	92,23	2010	322,14
1980	181,52	2020	345,43
1990	259,99	2030	369,88
2000	300,00	2040	395,53

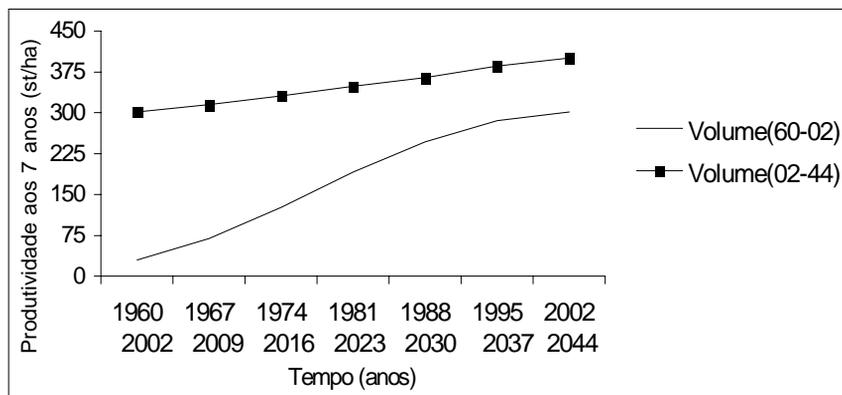


Figura 2. Evolução da Produtividade de 1960 até 2002 e Projeção de 2002 a 2044.

(Productivity evolution from 1960 to 2002 and expected production from 2002 to 2044).

uma função ajustada para o cerrado do Estado de Minas Gerais, mas em outras regiões a produtividade atual (1999) pode chegar até a 600 st/ha.

Nos primeiros 40 anos do estudo, a produtividade teve um impulso maior com o progresso tecnológico, mostrando o quanto se estava longe do ideal. Na segunda metade do estudo, observou-se que os aumentos na produtividade foram menores, chegando a um ponto em que tenderam à estabilidade.

Rotação

Toda base de cálculo foi elaborada a partir do prévio conhecimento da idade ótima de corte, pois quando se altera qualquer variável, tem-se efeito nas condições técnicas e econômicas da rotação, portanto, é necessário recalcular a idade de corte e verificar o efeito no número de cortes que antecedem a substituição. A Tabela 3 mostra o VPL_{∞} em diversas idades de corte para uma taxa de desconto de 8%. Os coeficientes usados para o cálculo do volume foram:

$$K = 300 \text{ st/ha};$$

$$a = -0,07849;$$

$$b = 0,037$$

A época ótima de corte do povoamento foi aos 7 anos de idade, quando o VPL_{∞} foi maior.

Tabela 3. VPL_{∞} e Volume para Diversas Idades de um Povoamento de *Eucalyptus* sp para uma Taxa de Desconto de 8%.

(PNW and volume for various age of *Eucalyptus* sp. stand for a discount rate of 8% p.a).

Idade (anos)	Volume (st/ha)	VPL_{∞} (US\$/ha)
1	28,16	-6,219.11
2	44,18	-2,785.85
3	68,10	-1,172.02
4	12,11	-72.29
5	146,86	806.83
6	198,80	1,470.12
7	248,19	1,818.94
8	282,44	1,787.15
9	296,94	1,470.01
10	299,82	1,075.04

Os dados da Tabela 3 foram considerados a base para outros cálculos.

Mesmo sabendo que do alto fuste para as talhadas a idade de corte pode mudar, neste estudo foi considerado que ela é a mesma. A variação entre elas pode ser desprezada para fins de cálculo (Lopes, 1990).

Cadeia de substituição

O estudo da cadeia de substituição foi realizado em etapas, sendo que, na primeira, foi es-

tudado o efeito do progresso tecnológico na época ótima de substituição, considerando os custos da época em que se iniciou o estudo, ou seja, a década de 1960. Na segunda etapa foi estudado o efeito do progresso tecnológico com dados atuais, e na terceira, foram projetadas as épocas ótimas de substituição para 40 anos no futuro, dada uma taxa de progresso tecnológico projetada pelo modelo.

Os dados de custos para a década de 60 foram considerados como três vezes maiores que os atuais, exceção feita ao custo da terra, que foi de 200.00 US\$/ha e considerado como o custo de oportunidade da terra à taxa de 8% a.a., sendo, portanto, um custo anual. A Tabela 4 mostra o momento ótimo de substituição para a década de 1960.

Houve uma queda no valor atual dos custos com o aumento do número de cortes. Este fato, a princípio, pode parecer paradoxal, uma vez que os custos de manutenção e condução das brotações continuam existindo, porém, quanto maior for o número de cortes, menos implantações, que representam custos pesados, serão necessárias, conseqüentemente os custos totais atualizados serão menores, pois se considera horizonte infinito.

Um outro fato importante é em relação ao VPL_{∞} na idade ótima de substituição, que seria após 6 cortes. Estes valores negativos demonstram que os projetos florestais naquelas condições eram avaliados pelo menor prejuízo e não pelo maior lucro. Esta situação, por si só, justificou a ação governamental que concedeu os incentivos fiscais ao reflorestamento. O que se esperava era um desenvolvimento

tecnológico no Setor que mudasse aquela situação.

A Tabela 5 mostra o comportamento da época ótima de substituição dos povoamentos de eucalipto ao longo das décadas de 1960 a 2000. No período 1960/1970, o VPL_{∞} ainda era negativo e o número de cortes alto (6). Quando o VPL_{∞} passou a ser positivo, o reflorestamento tornou-se lucrativo, o número de cortes caiu rapidamente de 6 para 3, permanecendo inalterado até 1990, quando se reduziu para 2 cortes. A redução dos incentivos fiscais pelo governo e sua total extinção em 1985 parece ter seguido trajetória perfeitamente justificada do ponto de vista econômico.

A situação projetada para o período 2000/2040 pode ser observada na Tabela 6.

Para as próximas 4 décadas haverá sempre 2 cortes antes de se substituir o povoamento.

Tabela 4. Momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp no Estado de Minas Gerais.

(Optimal age of replacing *Eucalyptus* spp. plantation in Minas Gerais State).

Número de cortes	Valor atual das receitas (US\$/ha)	Valor atual dos custos (US\$/ha)	VPL_{∞} (US\$/ha)
1	1,938.08	2,559.39	-621.31
2	1,866.67	2,092.65	-225.98
3	1,814.14	1,946.98	-132.48
4	1,776.59	1,881.61	-105.03
5	1,750.44	1,847.85	-97.42
6	1,732.66	1,829.23	-96.57
7	1,720.84	1,818.60	-97.76

Tabela 5. Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederam à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp.

(The effect of technological progress in the number of cuttings before replacement of *Eucalyptus* spp plantation).

Década	Volume (st/ha)	VPL_{∞} (US\$/ha)	Nº de Cortes
1960-1970	92,23	-97.57	6
1970-1980	181,53	1,189.47	3
1980-1990	259,97	2,426.65	3
1990-2000	298,70	2,995.65	2

Tabela 6. Efeito do Progresso Tecnológico no número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp, projetado para o período 2000/2040.

(Expected effect of technological progress in the number of cuttings before replacement of *Eucalyptus* spp plantation, expected from 2000 to 2040).

Década	Volume (st/ha)	VPL $_{\infty}$ (US\$/ha)	Nº de cortes
2000-2010	322,14	3,406.80	2
2010-2020	345,43	3,815.32	2
2020-2030	369,88	4,244.19	2
2030-2040	395,53	4,694.11	2

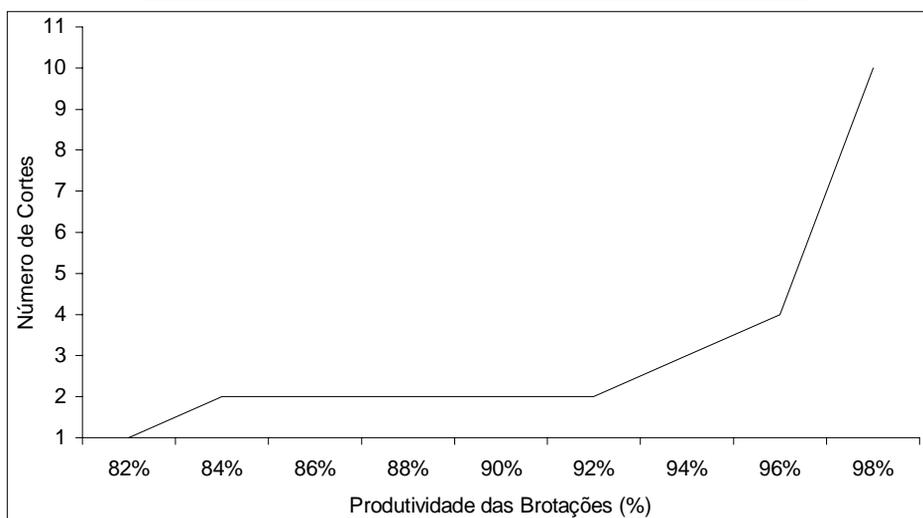


Figura 3. Representação gráfica da variação no número de cortes que antecederão à substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp, em função de aumentos na produtividade das brotações.

(Effect on the number of cuttings before replacement of *Eucalyptus* spp. plantation due to coppicing productivity growth).

Este fato, porém, ocorre em uma situação onde β será sempre 90% em relação ao volume anterior. O número de cortes, por sua vez, é muito sensível a possíveis aumentos de β , de maneira que se o índice passar de 90% para 94%, o número de cortes subirá para 3, passando para 96% conforme a Figura 3, o número de cortes chegará a quatro antes da substituição.

O número de cortes nunca será menor que 1, em outras palavras, para β menor que 82% sempre ocorrerá substituição após um corte. Para valores de β entre 84% e 93%, o número de cortes será sempre 2 antes da substituição. Quando a produtividade das talhadas tender a

100%, o número de cortes tenderá ao infinito, conforme o último seguimento da Figura 3. Para a situação onde β permite 4 cortes (96%), observou-se que no quarto corte o volume já chegaria a 83% do volume inicial, o que implicaria na necessidade de outra implantação.

A busca do aumento da produtividade nas talhadas não vinha sendo considerada como prioridade nas pesquisas. Um dos motivos era a combinação de fatores mecânicos, ecológicos e silviculturais (Rezende et al., 1987). Porém, com a elevação dos custos, as empresas buscam aumentar a produtividade das talhadas, postergando o momento da substituição.

CONCLUSÕES

Os resultados alcançados e as análises realizadas, permitiram as seguintes conclusões:

- ✓ Mantidos os custos da década de 60, a idade ótima de substituição seria após 6 cortes;
- ✓ O modelo mostrou-se eficiente para estimativas e previsões em horizontes de até 40 anos;
- ✓ As épocas ótimas de substituição caíram ao longo dos anos, passando de 6 cortes na

década de 60 para 3 na década de 80 e chegando a 2 nos dias atuais;

- ✓ Para os futuros plantios, a tendência é que a substituição seja feita após 2 cortes. Porém, pequena melhora tecnológica na produtividade das talhadas passa o ponto ótimo de substituição para após o 3º corte.

AUTORES

JOSÉ LUIZ PEREIRA DE REZENDE é Engenheiro Florestal, Ph.D., Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - DCF/UFLA – Lavras, MG - 37200-000. E-mail: jlprezen@ufla.br

ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA é Engenheiro Florestal, Professor da Faculdade de Engenharia Florestal da Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior (FIMES) - Mineiros/GO

e Doutorando em Engenharia Florestal pelo DCF/UFLA – Lavras, MG - 37200-000. E-mail: ansouza@ufla.br

ANTÔNIO DONIZETTE DE OLIVEIRA é Engenheiro Florestal, Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - DCF/UFLA – Lavras, MG - 37200-000. E-mail: donizete@ufla.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONTADOR, C.R. **Projetos sociais: avaliação e prática**. 3.ed. São Paulo: Atlas, 1996. 375p.

DAVIS, K.P. **Forest management: regulation and valuation**. 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1966. 519p.

IBDF – INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Zoneamento econômico florestal do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 1974. 182p.

LOPES, H.V.S. **Análise econômica dos fatores que afetam a rotação de povoamentos de eucaliptos**. Viçosa, 1990. 188p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa

REZENDE, J.L.P.; PAULA JR., G.G.; RIBEIRO, G.A. Técnicas de análise econômicas usadas na tomada de decisão referentes à reforma de eucaliptais. In: SEMINÁRIO SOBRE ASPECTOS TÉCNICOS E ECONÔMICOS DA REFORMA DE EUCALIPTAIS, Belo Horizonte, 1987. **Anais**. Belo Horizonte: UFV / SIF, 1987.

SILVA, A.A.L. **Análise econômica da substituição de povoamentos de *Eucalyptus* spp.** Viçosa, 1990. 109p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa

STEINDL, J. Progresso técnico, distribuição e crescimento. In: GAREGNANI, P. **Progresso técnico e teoria econômica**. São Paulo: Hucitec, 1980. 183p. (Economia e Planejamento. Série Técnica Contemporânea).

