

TEXTO PARA DISCUSSÃO Nº 737

**O VALOR DE OPÇÃO DAS
CONCESSÕES NAS FLORESTAS
NACIONAIS DA AMAZÔNIA***

Katia Rocha**
Ajax R. B. Moreira**
Leonardo Carvalho**
Eustáquio J. Reis**

Rio de Janeiro, junho de 2000

* Os autores agradecem especialmente a Claudio B. A. Bohrer, do Departamento de Geografia da UFF, Paulo Barreto (Imazon), Adalberto Veríssimo (Imazon) e Ronaldo Seroa da Motta e Claudio Ferraz (IPEA), pelas relevantes informações e sugestões. Agradecem também a Marcia Pimentel, Carmem Falcão, Ingrid Valdez e Joana Pires Costa (IPEA) pela assistência.

** Da Diretoria de Macroeconomia do IPEA.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO

Martus Tavares - Ministro

Guilherme Dias - Secretário Executivo



Presidente

Roberto Borges Martins

DIRETORIA

Eustáquio José Reis

Gustavo Maia Gomes

Hubimaier Cantuária Santiago

Luís Fernando Tironi

Murilo Lôbo

Ricardo Paes de Barros

Fundação pública vinculada ao Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, o IPEA fornece suporte técnico e institucional às ações governamentais e disponibiliza, para a sociedade, elementos necessários ao conhecimento e à solução dos problemas econômicos e sociais do país. Inúmeras políticas públicas e programas de desenvolvimento brasileiro são formulados a partir de estudos e pesquisas realizados pelas equipes de especialistas do IPEA.

Texto para Discussão tem o objetivo de divulgar resultados de estudos desenvolvidos direta ou indiretamente pelo IPEA, bem como trabalhos considerados de relevância para disseminação pelo Instituto, para informar profissionais especializados e colher sugestões.

Tiragem: 103 exemplares

SERVIÇO EDITORIAL

Supervisão Editorial: Nelson Cruz

Revisão: André Pinheiro, Elisabete de Carvalho Soares, Isabel Virgínia de Alencar Pires, Lucia Duarte Moreira, Luiz Carlos Palhares e Miriam Nunes da Fonseca

Editoração: Carlos Henrique Santos Vianna, Juliana Ribeiro Eustáquio (estagiária), Rafael Luzente de Lima e Roberto das Chagas Campos

Divulgação: Libanete de Souza Rodrigues e Raul José Cordeiro Lemos

Reprodução Gráfica: Edson Soares e Cláudio de Souza

Rio de Janeiro - RJ

Av. Presidente Antonio Carlos, 51 — 14º andar - CEP 20020-010

Telefax: (21) 220-5533

E-mail: editrj@ipea.gov.br

Brasília - DF

SBS. Q. 1, Bl. J, Ed. BNDES — 10º andar - CEP 70076-900

Telefax: (61) 315-5314

E-mail: editsbs@ipea.gov.br

Home page: <http://www.ipea.gov.br>

© IPEA, 2000

É permitida a reprodução deste texto, desde que obrigatoriamente citada a fonte.

Reproduções para fins comerciais são rigorosamente proibidas.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - CONCESSÃO DE FLORESTAS NA AMAZÔNIA	2
3 - VALOR DA CONCESSÃO SEGUNDO A TOR.....	4
3.1 - O Modelo.....	5
3.2 - Valor da Concessão segundo o VPL	7
3.3 - Parâmetros de Custos de Produção.....	7
4 - ESTIMATIVAS DA BIOMASSA E OUTRAS MEDIDAS	10
4.1 - Resultados Empíricos: Densidade de Biomassa.....	14
4.2 - Estimativa do Preço e da sua Incerteza.....	16
5 - VALORAÇÃO DAS FLONAS	18
5.1 - Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Seleccionados	20
5.2 - Análise de Sensibilidade da Política Regulatória	22
6 - CONCLUSÃO	24
APÊNDICE A.....	25
APÊNDICE B.....	26
APÊNDICE C.....	27
APÊNDICE D.....	28
BIBLIOGRAFIA	28

RESUMO

Este trabalho, baseado na Teoria das Opções Reais (TOR), propõe uma metodologia de valoração das concessões de áreas para exploração de madeira nas florestas nacionais (Flonas) da Amazônia brasileira. O valor das concessões é determinado por modelos de maximização intertemporal que supõem estratégias empresariais ótimas diante das incertezas dos preços futuros da madeira e dos estoques de madeira comercial das concessões, bem como das restrições de manejo florestal impostas pela política de concessão. Isso permite determinar o valor das concessões de forma mais realista e rigorosa do que o método do Valor Presente Líquido (VPL), tradicionalmente utilizado nesse tipo de avaliação. A comparação dos resultados obtidos pelos métodos do VPL e da TOR mostra que, em geral, o valor das concessões calculado pela TOR é significativamente maior. No caso em referência, por exemplo, essa estimativa foi 140% maior. Dado que áreas de concessão florestal são recursos públicos, diferenças de valor de ativos dessa ordem de magnitude não devem ser negligenciadas.

O trabalho propõe também metodologias para se estimar as distribuições de probabilidade do estoque de madeira comercial nas áreas de concessão e dos preços futuros. Para o estoque de madeira, estimou-se um modelo espacial que o especifica em função de características geográficas da área (como solo, vegetação, clima, distância do mar, altitude etc.) e de sua vizinhança. Os parâmetros foram estimados com base nos dados do inventário florestal (Radam/IBGE) e de outras informações geoecológicas disponíveis em nível municipal. Para a distribuição dos preços futuros da madeira, foram estimados modelos GARCH e ARCH com base em dados mensais de preços das exportações brasileiras de mogno, no período 1977/95, obtidos da Secex, e das principais madeiras exportadas pela Malásia, obtidos do IFS.

ABSTRACT

The Brazilian government is now planning to implement natural forest concessions for timber extraction. In addition to the legal requirements imposed on the management of concessions (minimum reserves, maximum extraction rates etc.), the value of concessions depends crucially on the uncertainties of the estimates of the volume of commercial logs within the area of concession as well as of the future prices of timber.

This paper proposes a method to evaluate forest concession based upon the real option theory (ROT). By combining the hypothesis of uncertainties in the estimates of the volume of logs in concessions as well as of the future prices of logs with intertemporal maximization of profits, the method provides a more realistic estimate of the market value of concessions than the Net Present Value which does not take these uncertainties in account. Comparison between estimates of NPV and ROT show that the latter are systematically higher. For the reference case, for example, the values of ROT are 140% higher. Since forest concession are public resources, differences of that magnitude can not be neglected.

The paper also proposes methods to estimate the probability distribution of logging volumes of concession areas as well as of future prices of logs. The volume distribution is specified in a spatial model as function of geographic characteristics of the area as well of the neighboring areas. Forest inventory data (from Radam/IBGE) as well as other geo-ecological information at município (Brazilian county) level are used to estimate the parameter of the model. For timber prices, monthly prices of mahogany, from 1977 to 1997 (Secex and IFS) are used to estimate GARCH and ARCH models.

1 - INTRODUÇÃO

Como parte da estratégia de desenvolvimento sustentável da Amazônia, o governo brasileiro analisa, no momento, a proposta de implantação de uma política de concessões de áreas das florestas nacionais (Flonas) para a exploração comercial de madeiras. Uma questão importante para essa política é a determinação do valor dessas concessões, pois é imperioso que a outorga (por leilão ou outro mecanismo qualquer) do direito de uso das florestas seja avaliada de forma criteriosa e realista a fim de evitar transferências indevidas de recursos públicos para grupos privados e também para impedir o desperdício no uso desses recursos ambientais escassos.

Os aspectos considerados cruciais para se determinar o valor econômico de uma concessão florestal são — além das restrições de manejo florestal legalmente impostas pela política de concessão (estoque mínimo preservado, taxa de corte máximo etc.) — as incertezas nas estimativas do volume de madeira comercializável na área de concessão e as incertezas na evolução dos preços futuros dessas madeiras.

A utilização de conceitos puramente econômicos na valoração de recursos naturais é simplificadora. Para uma avaliação mais ampla e rigorosa dos custos e benefícios sociais, a análise requer também que se valorem os benefícios ambientais das áreas de florestas que não se refletem nos preços de mercado das concessões (tais como o seqüestro de carbono e sua contribuição para a estabilidade climática global, regional e local; preservação da biodiversidade, manutenção do balanço hidrológico etc.), bem como as incertezas correlatas. Por escassez de informações sobre esses aspectos ambientais, contudo, a análise que se segue estará restrita à questão da determinação do valor econômico de mercado das concessões¹ [ver Young e Fausto (1997)].

O objetivo do trabalho é propor uma metodologia, baseada na Teoria das Opções Reais (TOR), para determinar o valor de mercado das concessões florestais, incorporando o efeito das incertezas das estimativas dos preços futuros da madeira e do volume de madeira comercializável das concessões. Essa metodologia calcula o valor das concessões supondo que as decisões do concessionário sobre sua variável de controle — ou seja, a extração e a comercialização de madeira — sejam ótimas no sentido de maximizar o valor esperado do seu fluxo de renda líquida futura descontada, dadas suas expectativas estocásticas sobre a trajetória dos preços da madeira e sobre o volume de madeira comercializável da concessão, e dadas também as restrições de manejo florestal impostas no contrato de concessão.

¹ A valoração pelo aspecto econômico tem, contudo, como vantagens: *a*) compreensão mais fácil e menos propensa a controvérsias; *b*) fornecer estimativa de valor mínimo para o recurso natural; e *c*) permitir alcançar resultados próximos daqueles obtidos por um planejador central, penalizando eventuais efeitos nocivos não considerados por meio de taxas, impostos ou *royalties* destinados a financiar a regeneração e a sustentabilidade dos próprios recursos naturais.

Na metodologia do Valor Presente Líquido (VPL), tradicionalmente utilizada nesse tipo de avaliação, o valor da concessão é determinado pelo desconto dos fluxos futuros de receita líquida estimados com base em expectativas determinísticas. Essa avaliação não considera, os ganhos decorrentes das decisões que consideram a incerteza da evolução dos preços e dos volumes de madeiras, bem como suas interações com restrições da política de concessão (estoque mínimo preservado, taxa de corte máximo, política de manejo). Por conseguinte o cálculo do VPL tende a subavaliar a concessão e induzir a decisões errôneas.²

No modelo proposto para determinar o valor das concessões, a política regulatória foi caracterizada pela manutenção de um percentual mínimo da área em floresta preservada, por tetos anuais na extração de madeira e pela política de manejo. Para se estimar a distribuição da densidade esperada de madeira comercial — da qual depende também o valor da concessão —, por falta de informação, adotou-se como *proxy* a distribuição da densidade de biomassa³ esperada cuja estimativa foi feita a partir dos inventários florestais do Radam/IBGE que se encontram disponíveis para uma amostra de estações florestais. Por fim, para as expectativas de preços de madeira, foram estimados modelos GARCH e ARCH com base em dados mensais de preços das exportações brasileiras de mogno, no período 1977/95, obtidos da Secex, e das principais madeiras exportadas pela Malásia, obtidos do IFS.

O trabalho está dividido em seis seções, incluindo esta introdução. A Seção 2 descreve a política de concessão de florestas nacionais (Flonas) no Brasil. A Seção 3 apresenta o modelo TOR adotado para a valoração da concessão, bem como as hipóteses feitas na sua parametrização. A Seção 4 especifica e estima os modelos espaciais de determinação das densidades de biomassa. A Seção 5 apresenta os resultados do valor da concessão para diferentes cenários e situações. Finalmente, a Seção 6 apresenta a conclusão.

2 - CONCESSÃO DE FLORESTAS NA AMAZÔNIA

Abrigando um terço das florestas tropicais do mundo, a Amazônia brasileira possui um volume de madeira estimado em 60 bilhões de metros cúbicos [ver Veríssimo e Barros (1996, Introdução)]. Em 1997, a região produziu 25 milhões de metros cúbicos de madeiras, respondendo por 80% do total produzido no país, sendo 90% da produção regional absorvidos pelo mercado doméstico brasileiro.

A indústria florestal é uma das principais atividades da região. Nos Estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, sua contribuição para o PIB atinge 15% a 20%. Em nível nacional, contudo, sua contribuição não chega a 2%.

² Para uma análise crítica do método VPL, ver Dixit and Pindyck (1994).

³ Dado o tipo de cobertura vegetal característico de uma região, a quantidade de biomassa numa área determina implicitamente a quantidade de árvores com diâmetro mínimo que pode ser cortada, e, portanto, o quanto de toras pode ser extraído.

No mercado internacional de madeiras tropicais, o Brasil figura ainda como exportador marginal, respondendo por apenas 4% das exportações mundiais. Contudo, projeta-se uma expansão significativa dessa participação na próxima década, devido à exaustão gradativa dos recursos florestais asiáticos.

A exploração da madeira na Amazônia brasileira é feita de forma predatória devido aos baixos preços de mercado da madeira em pé, cujas causas são a abundância e o livre acesso aos recursos florestais, agravados pela carência de políticas públicas adequadas. Dentre essas, cabe mencionar as obras de infraestrutura, sobretudo rodovias, que facilitam o acesso aos recursos florestais; o monitoramento inadequado da região junto à não-observância das técnicas de manejo sustentável; e, *last but not least*, a ineficácia da política de reservas florestais para a exploração de madeira.

Um importante instrumento da política florestal brasileira são as Flonas. Segundo o Código Florestal (Lei 4.771, de 15 de setembro de 1965, art. 5º), as Flonas são áreas de domínio público, providas de cobertura vegetal nativa ou plantada, estabelecidas com o objetivo de promover o manejo dos recursos naturais, com ênfase na produção de madeira e outros produtos vegetais, garantir a proteção dos recursos hídricos, das belezas cênicas e dos sítios históricos e arqueológicos, assim como fomentar o desenvolvimento da pesquisa científica básica e aplicada, da educação ambiental e das atividades de recreação, lazer e turismo.

Atualmente, estão legalmente delimitadas 46 Flonas, totalizando cerca de 152 mil km², sendo 99,5% dessas áreas situadas na Amazônia.⁴ Apesar de cobrir uma área insuficiente para atender à demanda por madeiras da região, até o momento nenhuma das Flonas foi usada para produção de madeira. Dado o aumento das ameaças sobre os recursos florestais da região, em 1998 o governo criou (Decreto 2.473, de janeiro de 1998) o Programa Florestas Nacionais com o objetivo de implementar o manejo sustentável das Flonas existentes e promover a criação de novas áreas com vistas a desenvolver de forma sustentável a exploração de madeira e atender à demanda prevista.

A legislação atual (Decreto 1.298, de 27 de outubro de 1994) especifica que as Flonas devem ser administradas pelo Ibama sob a supervisão do Ministério do Meio Ambiente e cada uma deve ter no seu plano de manejo programas de ação, zoneamento ecológico-econômico, diretrizes e metas para um período mínimo de cinco anos. Devido ao precário sistema de monitoramento e fiscalização e também à grande oferta de madeira oriunda da expansão das atividades agropecuárias, a

⁴ Maiores informações sobre as Flonas existentes, legislação em vigor e ordenamento e manejo do recurso florestal brasileiro podem ser encontradas no *site* do Ibama: www.ibama.gov.br

atual legislação não tem sido eficaz no controle do desflorestamento e do manejo florestal.⁵

Diante desse quadro e da escassez de recursos do setor público, a implantação de uma política de concessões públicas de áreas para a exploração de madeiras comerciais emerge naturalmente como solução institucional para os problemas de manejo e monitoramento da Flonas. Sua vantagem é privatizar parte das funções e responsabilidades públicas para conseguir, a um só tempo, o manejo sustentável das Flonas e a redução dos custos governamentais de administração, monitoramento e fiscalização dessas áreas. Permite, nesse sentido, conciliar a sustentabilidade ecológica com a viabilidade financeira das Flonas.

A delegação de funções e responsabilidades públicas ao setor privado bem como os direitos e obrigações no que se refere à exploração comercial de madeira e outros recursos florestais seriam estabelecidos mediante contratos de concessão de longo prazo para grandes áreas das Flonas. O não-cumprimento das práticas de manejo e de exploração sustentável definidas nas licenças de concessão sujeitaria o infrator a multas e penalidades e até mesmo a cancelamento do contrato [ver Ferraz e Seroa da Motta (1998)]. A outorga dos contratos seria feita por meio de leilões ou outros mecanismos concorrenciais entre empresas privadas nacionais e estrangeiras.

3 - VALOR DA CONCESSÃO SEGUNDO A TOR

Na literatura econômica, diversos artigos utilizam a TOR para valorar recursos naturais. A referência básica para nossa análise é Morck, Schwartz e Stangeland (1989), que aplicam a TOR para valorar uma concessão de pinheiros em Alberta, Canadá. Esses autores incorporam incertezas e flexibilidades estratégicas para reagir a mudanças de condições conjunturais, contrastando com a suposição rígida de fluxos de caixas previsíveis da técnica clássica de orçamento (VPL). Brennan e Schwartz (1985) aplicam a TOR para valorar um recurso natural não-renovável (por exemplo, mina, o contrário de concessões florestais onde o recurso natural é renovável) em que incertezas sobre as receitas futuras de um projeto são cruciais e políticas ótimas de decisões quanto ao desenvolvimento, operação e abandono são necessárias.

⁵ Um dos obstáculos à disseminação dos planos de manejo florestal são os baixos níveis de preços de mercado para a madeira em pé, incentivando, por conseguinte, a exploração predatória. Para que o manejo seja lucrativo, os custos da madeira manejada não devem superar os da madeira de áreas não-manejadas. Para isso, pode-se aplicar taxas, impostos ou *royalties* de forma a equilibrar ou até mesmo desfavorecer a exploração predatória. Várias questões estão pendentes, como o direito de uso e posse do recurso, o tempo e tamanho da concessão, incentivos ao manejo da concessão, bem como o processo de alocação das concessões.

3.1 - O Modelo

Seja o preço das toras, P , dado pela seguinte equação diferencial estocástica, onde dz é o incremento de Wiener:

$$\frac{dP}{P} = \mu_p dt + \sigma_p dz \quad dz = \varepsilon \sqrt{dt}, \quad \varepsilon \sim N(0,1) \quad (1)$$

Essa equação mostra que a taxa de retorno dos preços das toras pode ser representada por uma normal com média ($\mu_p dt$) e desvio-padrão ($\sigma_p dt$), ou seja, o processo é não-estacionário. Admitindo que existe um mercado futuro de toras, pode-se utilizar a teoria da arbitragem para provar que a equação (1) pode ser colocada na forma (2),⁶ onde (r) é a taxa livre de risco e (k) é o custo de estocagem (*convenience yield*):

$$\frac{dP}{P} = (r - k)dt + \sigma_p dz \quad (2)$$

Seja a seguinte equação diferencial estocástica para o volume de madeiras ou estoque de toras, I , na região (biomassa em m^3/ha), onde dw é o incremento de Wiener, dw e dz não são correlacionados.⁷

$$dI = [\mu \cdot I - q(P, I, t)]dt + \sigma_I I dw \quad (3)$$

Na equação (3), a taxa de crescimento do estoque de toras apresenta uma tendência $\mu \cdot I - q(P, I, t)$, que pode vir a ser negativa.⁸ O parâmetro μ corresponde à taxa de crescimento do estoque residual em percentagem; $q(P, I, t)$ é a variável de controle que representa a política de corte ótima, ou seja, a quantidade de tora cortada em um período dt ; e o desvio-padrão σ_I corresponde à incerteza sobre a evolução da taxa de crescimento do estoque (possíveis queimadas, descoberta de maior densidade de madeira de qualidade, perda de fatias de mercado).

A função de custos da madeireira, $A(q)$, na falta de informação mais precisa, foi considerada linear, portanto a produção pode ser suspensa e reiniciada a qualquer momento sem incorrer em custos adicionais.⁹

$$A(q) = a_1 q(P, I, t) + a_0$$

⁶ Brennan e Schwartz (1985) mostram que a taxa ajustada ao risco para o preço das toras equivale a $r - k$.

⁷ Estamos supondo que a madeireira é uma firma pequena nessa indústria e no mercado internacional, e que seu nível de estoque agregado não tem efeito no nível de preços de mercado das toras.

⁸ Evidentemente, o estoque de toras decai à medida que a taxa de corte aumenta, resultando em uma taxa de crescimento negativa.

⁹ Brennan e Schwartz (1985) e Dixit e Pindyck (1994, Caps. 6 e 7), mostram como é possível relaxar essa suposição. A função de custo, por ser linear, implica uma solução de fronteira para o corte: zero ou máximo. A adoção de uma função de custo mais complexa pode levar a soluções interiores que talvez sejam mais realistas.

Seja $F(P, I, t)$ o valor da concessão da Flona, dado o preço atual da tora P , o estoque inicial I e o tempo t até o término da concessão em $t = T$, então o problema do agente é caracterizado pela expressão (4), e pela restrição (4.1) sobre o corte máximo anual, representando as regras de regulação e a limitação de capacidade de produção:

$$F(P, I, t) \equiv \max_{q^*(P, I, t)} E_t \left\{ \int_{t=0}^{t=T} [(P_{t+dt} \cdot q^*(P_{t+dt}, I_{t+dt}, t+dt)) - A(q)] \cdot e^{-r \cdot t} dt \right\} \quad (4)$$

$$q^*(P, I, t) \in [0, q_{\text{máx}}] \quad \forall t \quad (4.1)$$

Utilizando a hipótese de independência entre os processos estocásticos do preço de mercado e do estoque de toras na área de concessão, ou seja, entre as inovações (dz) e (dw), por meio da equação de Bellman, pode-se mostrar que o valor de $F(P, I, t)$ segue a equação diferencial parcial¹⁰ (5) sujeita à restrição (5.1) e às condições de contorno (6 a 11):

$$rF = \frac{1}{2} \sigma_p^2 P^2 F_{pp} + (r-k)PF_p + \frac{1}{2} \sigma_I^2 I^2 F_{II} + [\mu \cdot I - q^*(P, I, t)]F_I + F_t + Pq^*(P, I, t) - a_1q^*(P, I, T) - a_0 \quad (5)$$

$$q^*(P, I, t) \in [0, q_{\text{máx}}] \quad \forall t \quad (5.1)$$

$$F(P, I, T) = 0 \quad (6)$$

$$F(0, I, t) = 0 \quad (7)$$

$$\lim_{P \rightarrow \infty} F_p = I \quad (8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial I} \Big|_{I=I_{\text{max}}} = 0 \quad (9)$$

$$F(P, 0, t) = 0 \quad (10)$$

$$q(P, I \leq I_{\text{mín}}, t) = 0 \quad (11)$$

As condições de contorno garantem que: (6) ao término do contrato de concessão $t = T$, seu valor é zero; (7) caso o preço da madeira negociada atinja o valor zero, então o processo (2) implica um valor de concessão zero; (8) se o preço da madeira torna-se excessivamente elevado, mudanças no valor da concessão decorrente de mudanças no valor dos preços são proporcionais ao nível de estoque

¹⁰ Não estamos considerando a incidência de impostos sobre a receita da venda de toras. Acrescentam-se essas alíquotas sem maiores complicações no modelo.

no momento, sendo uma função linear deste estoque; (9) existe uma barreira refletora devido à densidade máxima de madeira (I_{\max}) na área total concedida, a partir da qual o valor da concessão não aumenta. A condição (10) estipula que a concessão não terá valor caso o estoque atinja zero. Por último, a restrição (11) impõe um limite regulatório mínimo (I_{\min}) para o estoque, a partir do qual não é permitida a extração.

A equação diferencial parcial (5) bem como suas condições de contorno foram resolvidas numericamente utilizando o método das diferenças finitas (MDF) na forma explícita,¹¹ conforme mostrado no Apêndice A. Assim, dados os parâmetros $\varphi = (a_0, a_1, \mu, r, k, \sigma_p, \sigma_I, q_{\max}, I_{\min}, P_0)$ e o estoque inicial de biomassa (I_0), pode-se calcular o valor da concessão $F(\varphi, I_0)$.

Caso o estoque inicial de tora (I_0) não for conhecido, mas sim apenas sua distribuição de probabilidade $p(I_0, m, s)$, podemos considerar o valor da concessão $F(\cdot)$ como:

$$V(\varphi, m, s) = \int F(\varphi, I_0, 0) \cdot p(I_0, m, s) dI_0 \quad (12)$$

3.2 - Valor da Concessão segundo o VPL

Para cada situação será calculado o valor da concessão segundo as duas abordagens — TOR e VPL. No cálculo do VPL utilizamos o fluxo, descontado pela taxa livre de risco, de receita menos o respectivo custo de produção no decorrer da vida útil da concessão (entre $t = 0$ e $t = T$). Portanto, admite-se que o nível de preço atual das toras (P_0) cresce a uma taxa igual à taxa livre de risco (r) menos o *convenience yield* (k) e que, devido aos custos lineares de produção [$a_1 \cdot q(P, I, t) + a_0$] o corte é sempre realizado na sua capacidade anual máxima ($q(P, I, t) = q_{\max}$) desde que a receita seja maior que o custo (caso contrário, o corte seria zero bem como o VPL, pois, obviamente, o concessionário não iria produzir obtendo lucro negativo), e onde q_{\max} atende à condição (13.1). A expressão abaixo explicita a fórmula tradicional da técnica do VPL:

$$VPL = \int_{t=0}^{t=T} [P_0 \cdot e^{(r-k)t} \cdot q_{\max} - a_1 \cdot q_{\max} - a_0] \cdot e^{-r \cdot t} dt \quad (13)$$

$$I(t) = \left[I_0 - \frac{q_{\max}}{\mu} \right] e^{\mu t} + \frac{q_{\max}}{\mu} \geq I_{\min} \quad \forall t \quad (13.1)$$

3.3 - Parâmetros de Custos de Produção

É difícil explicitar o efeito sobre o custo das técnicas de manejo e exploração sustentável da madeira que venham a minimizar os impactos ambientais

¹¹ Mais detalhes do MDF podem ser encontrados em Ames (1977) e Smith (1971).

provenientes da atividade comercial. Nos aspectos econômicos, Ferraz e Seroa da Motta (1998) destacam algumas visões convergentes. Em primeiro lugar, a extração da madeira deve ser implementada de maneira seletiva e rotativa, permitindo assim o crescimento das árvores a uma taxa natural. Um segundo ponto diz respeito às características técnicas da produção. Segundo os autores, a exploração sustentável deverá ser mais intensiva em capital, dado que tanto as máquinas quanto o sistema de transporte na área de exploração deverão ser tecnologicamente mais evoluídos. Vale notar que essa necessidade pode vir a gerar ganhos de produtividade consideráveis. Por fim, um outro aspecto diz respeito aos custos adicionais decorrentes da necessidade de cuidados no trato da árvore e em outras atividades pós-corte, infra-estrutura de escoamento da produção, acomodação da mão-de-obra, bem como os custos administrativos a fim de atender às regras e normas de concessão, auditoria e certificação.

Neste trabalho, vamos considerar como caso-base o de uma madeireira típica como a referenciada no texto de Stone (1997) e Veríssimo *et alii* (1992), que produz em média 8 mil m³ de madeira serrada por ano, dada uma produção de 16 mil m³ de tora. Consideraremos também um período de concessão das Flonas adequado à obtenção de rendimentos anuais contínuos. A área total concedida deve ser baseada na capacidade de produção sustentável da Flona. Com relação a esses dois aspectos — área e tempo de concessão —, vale destacar alguns pontos. Em primeiro lugar, levando-se em conta o tempo mínimo para que uma floresta se regenere, o concessionário, diante de um período excessivamente curto para exploração e agindo de maneira a maximizar os seus lucros, será incentivado a cortar o máximo possível de madeira dentro do período da concessão, visto que não se beneficiaria de um processo de regeneração da floresta. Com relação ao tamanho da área destinada ao concessionário, vale notar que, enquanto áreas relativamente pequenas não permitiriam a obtenção de economias de escala, áreas maiores diminuem a percepção de escassez por parte do concessionário, criando assim um incentivo para a sobreexploração da floresta, como atestam Ferraz e Seroa da Motta (1998).

Com o ciclo de corte de 30 anos (média de tempo utilizada dentre vários textos sobre o assunto, condicionada à aplicação de técnicas de manejo), supondo o tamanho da área total disponível para concessão de uma dada Flona de 120 mil hectares, uma densidade efetiva de 25 m³/ha,¹² o que corresponde a um volume inicial da área total de concessão de 3 milhões de metros cúbicos (120 mil ha x 25 m³/ha), então a área a ser explorada anualmente não deve exceder a, aproximadamente, 640 hectares (16 mil m³/25 m³/ha).

¹² Neste trabalho, utilizamos a intensidade de extração média de tora efetiva por hectare, que na realidade corresponde a apenas uma fração da densidade de tora por hectare. O restante do estoque de toras no hectare abrange perdas com a própria extração e área destinadas, por exemplo, à conservação e à preservação das Flonas. O valor estimado com média de 100 m³/ha foi dividido por quatro, para contemplar esses aspectos mencionados. Detalhes sobre a estimação do estoque encontram-se na Seção 4.

O custo fixo de extração de madeira é de \$ 140 mil/ano e o custo de produção sem (com) manejo é de \$ 3,55/m³ (\$ 8,45/m³) [ver Veríssimo *et alii* (1992), Barreto (1999) e Stone (1997)]. Os custos de produção abrangem somente o corte, sem englobar os custos de transporte até a serraria. Os custos de manejo incluem desbaste, enriquecimento, limpeza, corte de cipós, monitoramento, proteção do povoamento e administração.

Optou-se por trabalhar com uma cesta de preços que podem caracterizar a diversidade de preços correspondentes às diversidades de espécies encontradas na Amazônia Legal. Análises com diferentes níveis de preços foram implementadas para contemplar as regiões mais ricas. O nível atual de preço de tora para o caso-base foi estipulado em \$ 30/m³.

O caso-base pode ser resumido da seguinte forma:

- Área total e tempo de concessão: 120 mil hectares por 30 anos.
- Estoque inicial de tora disponível para o corte na região: o estoque inicial pode ser modelado como uma lognormal com média de 25 m³/ha e desvio-padrão da normal associada de 0,41, correspondendo a um intervalo de confiança de 95% para o estoque inicial, aproximadamente entre 10 m³/ha e 50 m³/ha.
- Desvio-padrão para taxa de crescimento do estoque:¹³ 8% a.a., ou seja, caso o estoque inicial seja de 25 m³/ha, em 30 anos ele pode variar em um intervalo de confiança de 68% entre 16 m³/ha e 52 m³/ha.
- Taxa de juros livre de risco: 5% a.a.
- *Convenience yield* da madeira:¹⁴ 4,6% a.a.
- Preço atual médio da tora cortada: \$ 30/m³.
- Desvio-padrão do preço das toras:¹⁵ 30% a.a., ou seja, caso o nível de preço inicial seja de \$ 30/m³, ele pode variar em 30 anos dentro de um intervalo de confiança de 68% entre \$ 7/m³ e \$ 160/m³.
- Custo fixo de extração das toras: \$ 140 mil/m³.
- Custo de produção sem (com) manejo: \$ 3,55/m³ (\$ 8,45/m³).

¹³ Parâmetro baseado em Morck, Schwartz e Stangeland (1989).

¹⁴ Idem nota anterior.

¹⁵ A estimativa deste parâmetro é discutida na Subseção 4.3.

- Taxa de crescimento do estoque em percentagem do estoque residual sem (com) manejo: 0% a.a. (1% a.a.).¹⁶
- Política de corte em um ano: entre zero e 0,133 m³/ha ou (16 mil m³ de toras na área total de concessão).
- Estoque mínimo regulatório: 12,50 m³/ha (ou 1.500 m³ na área total).

4 - ESTIMATIVAS DA BIOMASSA E OUTRAS MEDIDAS

Um dos determinantes do potencial comercial de uma determinada Flona é a quantidade de biomassa existente nela, característica inerente a cada região. Essa característica pode ser vista como sendo o principal gerador da chamada renda diferencial, ou ricardiana, proveniente de recursos naturais que advêm da heterogeneidade da qualidade da terra e que são um dos determinantes do valor de uma dada concessão.

Este trabalho se propõe a fazer um mapeamento por município da densidade de biomassa existente na região da chamada Amazônia Legal, a fim de verificar, numa primeira aproximação, quais seriam as áreas com maior potencial para a exploração comercial da madeira. A qualidade do dado utilizado e limitações metodológicas recomendam que os resultados devem ser vistos apenas como uma primeira aproximação. Os dados de densidade de biomassa são os do projeto Radam que mediu, em 1991, para cerca de 2.400 locais, a densidade de madeira. O tempo decorrido desde a apuração e a dispersão espacial com que a amostra foi coletada, inadequada para se medir a biomassa, apontam para a fragilidade dos resultados. No aspecto metodológico, somente foi possível construir estimativas municipais para a biomassa, o que é uma agregação excessiva na maioria dos casos.

As medidas obtidas pelo Projeto Radam¹⁷ são pontuais e não cobrem a totalidade das áreas de concessão potencial, tornando necessário extrapolar ou prever essas medidas para a totalidade da área. A Tabela 1 mostra que 300 municípios não foram considerados, e que 31 tiveram menos de três medidas.

A previsão será feita com um modelo que relaciona a densidade de biomassa (*b*) com a densidade de regiões vizinhas espacialmente e com variáveis explicativas desta densidade (*x*) que são medidas para a totalidade da área.

¹⁶ Parâmetro baseado em Morck, Schwartz e Stangeland (1989).

¹⁷ O Projeto Radam obteve, para cerca de 2.500 locais da região, medidas da densidade de biomassa, e de alguns atributos locais como o tipo de solo e de vegetação. Uma visualização da distribuição desses pontos encontra-se no Apêndice D.

Tabela 1

Distribuição dos Municípios segundo Classe de Número de Amostra do Radam

Classe	0	1-3	4-5	6-10	11-15	16-20	21-40	40-60	>60	Total
Municípios	300	31	18	17	25	12	12	10	7	442

As variáveis explicativas consideradas são fatores geocológicos, como tipo de solo, cobertura vegetal, altitude, distância do mar e fatores climáticos, incluindo nessa última categoria volume de chuvas e temperatura média por trimestre do ano. Além desses fatores relacionados às características mensuradas de cada região, também será considerada a influência de regiões vizinhas sobre uma determinada região. Ou seja, admite-se que a densidade de biomassa varie suavemente no espaço, o que implica ser a densidade de biomassa de uma região um estimador da densidade de biomassa das regiões vizinhas.

A pesquisa do IBGE identificou para a Amazônia Legal regiões homogêneas segundo o tipo de solo (*S*) e o tipo de cobertura vegetal (*V*), utilizando a mesma classificação adotada pelo Radam. Além dessas características, a pesquisa também mediu a temperatura média (*T*) e a quantidade média de chuvas por trimestre para cada município. A altitude média do município e a sua distância do mar podem ser obtidas de outras fontes. Essas últimas variáveis serão denotadas por (*C*). As variáveis (*S*, *V*) são conhecidas para cada ponto da amostra do Radam e também mensuradas como médias municipais. As variáveis (*T*, *C*) são conhecidas apenas como médias municipais.

A amostra do Radam refere-se a locais — identificados por pontos porque são áreas pequenas (1 ha) — e os resultados pretendidos referem-se a uma área. Para compatibilizar os dados com o nível de agregação dos resultados pretendidos, vamos considerar três alternativas, das quais a última não foi implementada. São elas: estimar/agregar, agregar/estimar e agregar num reticulado/estimar. Na segunda alternativa, os dados são agregados por município,¹⁸ e com eles é estimado o modelo que explica a densidade. Na primeira alternativa, o modelo é estimado com os dados da amostra Radam, previstos em termos agregados. Finalmente, na última alternativa propõe-se a definição de um reticulado sobre a Amazônia Legal suficientemente pequeno para que a hipótese de homogeneidade de densidade de madeira seja aceitável, e estimação do modelo considerando a amostra agregada para este reticulado. O modelo poderia prever a densidade para todos os reticulados, e então obter a agregação para qualquer área, município ou regiões menores, como as áreas de concessão definidas.

Embora tenhamos considerado esta última abordagem a mais adequada, pois prescinde da hipótese de homogeneidade dos municípios, ela não foi

¹⁸Como os municípios se modificam ao longo do tempo, utilizou-se o conceito de área mínima de comparação construída para o ano de 1991.

implementada, porque requer um esforço preliminar de preparação dos dados que está fora do escopo deste artigo.¹⁹

As duas primeiras abordagens obtêm as estimativas da densidade, com limitações. A agregação da densidade de biomassa por município supõe a homogeneidade dessa variável no município e, portanto, a média das densidades apuradas é representativa. Os resultados como dados agregados dependem do quanto a hipótese de homogeneidade seja boa. Já a primeira alternativa depende da capacidade de os regressores explicarem adequadamente a distribuição da densidade.

Nas duas alternativas, os modelos serão estimados em duas versões: uma, que inclui o efeito da densidade das regiões vizinhas; e outra, que não inclui este efeito. Naturalmente, a primeira é uma forma irrestrita da segunda versão, e por isso os modelos serão apresentados nesta primeira forma.

Alternativa 1:

$$b_i = \rho W_i b + \sum a^j s_i^j + \sum c^j g_i^j + \sum d^j v_i^j + e_i \quad e_i \sim (0, \sigma^2) \quad (14)$$

onde:

b_i = densidade de biomassa do ponto $i \in R$;

$M(m)$ = conjunto de pontos que pertencem ao município m ;

W = matriz de vizinhança entre os pontos do Radam;

s_i^j = variável indicadora do tipo de solo (j) no ponto i ;

g_i^j = variável indicadora do tipo de cobertura vegetal (j) no ponto i ; e

v_i^j = logaritmo da variável (j)²⁰ no ponto (i), e $v_i^j = v_m^j \quad i \in M(m)$.

Estimado o modelo, é indispensável obter o resultado agregado por município, $E(\hat{b}_m) = \int_{x \in M(m)} b_x$. Para isso, é necessário integrar cada parcela da equação (14), onde $(p(x)=k)$ é a probabilidade do ponto (x). Excetuando-se a parcela do efeito dos vizinhos, as integrais são exatas:

$$\int_{x \in M(m)} a^j s_x^j p(x) \partial x = a^j \int_{x \in M(m)} s_x^j p(x) \partial x = a^j x_m^j$$

¹⁹ Requer a superposição do reticulado construído com as malhas das regiões homogêneas de tipo de solo e vegetação, e dos municípios. E também a identificação das celas vizinhas para todas as celas do reticulado.

²⁰ Temperatura média e volume de chuva em cada trimestre, altitude e distância do mar.

$$\int_{x \in M(m)} c^j g_x^j p(x) \partial x = c^j \int_{x \in M(m)} g_x^j p(x) \partial x = c^j y_m^j$$

$$\int_{x \in M(m)} d^j v_x^j p(x) \partial x = d^j v_m^j \int_{x \in M(m)} p(x) \partial x = d^j v_m^j$$

onde:

x_m^j = proporção do município (m) que tem tipo de solo (j); e

y_m^j = proporção do município (m) que tem tipo de cobertura vegetal (j).

A componente do efeito dos vizinhos, quando presente, requer o conhecimento de (W_x), que é definida no conjunto de todos os pontos de (m) e não apenas nos pontos do Radam. A operação ($W_i b$) calcula a média local das densidades (\tilde{b}_i) — densidade média dos vizinhos. Como (W_x) não é conhecida, admitiu-se que a média dos vizinhos é representativa, ou seja:

$$\int_{x \in M(m)} W_x b p(x) \partial x \cong \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} W_i b = \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} \tilde{b}_i$$

O valor esperado da densidade no município é então dado por:

$$E(\hat{b}_m) = \rho \left\{ \frac{1}{N_m} \sum_{i \in M(m)} \tilde{b}_i \right\} + a^j x_m^j + a^j y_m^j + d^j v_m^j \quad (15)$$

Alternativa 2

$$b_m = \rho W_m^* b + \sum A^j x_m^j + \sum C^j y_m^j + \sum D^j v_m^j + e_m \quad e_m \sim (0, \sigma^2) \quad (16)$$

onde:

$$b_m = \frac{1}{N_m} \sum_{i \in I(m)} b_i \quad N_m = \#I(m)$$

W^* = matriz de vizinhança entre os municípios.

O número de pontos (N_m), a distribuição adequada desses pontos no município e o grau de variabilidade dessa estimativa²¹ determinam em que medida (b_m) representa a densidade de biomassa no município.

²¹ $\sigma_m = (1/N) \sum_{i \in M(m)} (b_i - b_m)^2$.

4.1 - Resultados Empíricos: Densidade de Biomassa

Os regressores do modelo foram agrupados nos vetores (S) que indicam o tipo de solo,²² (V) tipo de vegetação, (T) temperatura nos trimestres e (C) volume de chuvas, altitude e distância do mar. Os modelos (14) e (16) estão especificados de forma genérica, e cabe escolher a transformação mais adequada para (b). Para manter os resultados interpretáveis, vamos escolher apenas entre as transformações identidade que corresponde a ($e \sim N(0, \sigma^2)$) ou ($e \sim LN(0, \sigma^2)$). Para isso, foi estimado o modelo com os dados desagregados, considerando todos os regressores com essas duas transformações, e escolhido o que maximiza a verossimilhança. Os resultados indicaram a transformação logarítmica, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2

Escolha da Transformação

Modelo	LVM Transformação	Soma log	LVM
(SVCT Nível)	-7.514,34	-	-7.514,34
(SVCT Logaritmo)	1.969,51	9.109,87	-7.140,36

No caso da alternativa 1, o número total de regressores é 22, e a amostra tem 1.968 pontos.²³ Apesar de o número de graus de liberdade ser mais do que suficiente, o objetivo de extrapolar os resultados para fora da amostra recomenda evitar variáveis redundantes buscando se aproximar de um modelo “estrutural”. Para isso foram testadas diferentes seleções dentro do conjunto $\{S, V, C, T\}$ e escolhida aquela que minimizou o critério de informação de Akaike (CIA).²⁴ Os testes foram realizados considerando o efeito da densidade dos pontos vizinhos, indicado pelo símbolo (W). O cálculo da verossimilhança do modelo que contém (W) — efeito dos pontos vizinhos — exige a inversão da matriz ($I - W$), cuja dimensão é o tamanho da amostra. No nosso caso, essa dimensão é 1.968, o que impediu o cálculo dessa inversão, e portanto o logaritmo da verossimilhança (LVM), neste caso, está incompleto.²⁵ Como o elemento omitido é igual para todos os modelos que contêm (W), o critério de seleção não é afetado.

Os resultados estão na Tabela 3, que mostra que: *a*) os regressores explicam em geral uma fração pequena da variação da densidade; *b*) a densidade dos pontos vizinhos aumenta substancialmente a capacidade explicativa do modelo;²⁶ e *c*) nos

²² Variável indicadora para os dados desagregados e proporção da área no caso de município.

²³ Tamanho do conjunto de pontos para os quais se dispõe simultaneamente de informações para todos os regressores.

²⁴ $A = \ln(\sigma^2) + 2 * p / N$.

²⁵ Devido a essa limitação, o algoritmo de estimação de (p) buscou minimizar o erro-padrão do modelo, e não (LVM) como seria o correto.

²⁶ O que implica que a hipótese de mudança suave da densidade não é rejeitada. Como o LVM está calculado errado, não cabe a comparação dos modelos utilizando essa medida.

dois casos — considerando ou não o efeito dos pontos vizinhos — o melhor é o modelo (C, V).

Tabela 3

Modelo com os 1.968 Pontos do Radam

Modelo	Erro-Padrão	P	ρ	R^2	LVM	CIA
C,T	.4253	10	-	0,08	1682,56	-1.700
S,V	.4313	12	-	0,05	1654,99	-1.670
S,C,T	.4247	17	-	0,08	1685,34	-1.695
V,C,T	.4224	15	-	0,09	1696,03	-1.708
S,V,C,T	.4217	22	-	0,09	1699,29	-1.705
C	.4254	6	-	0,08	1682,10	-1.703
C,V (*)	.4223	11	-	0,09	1696,49	-1.713
C,T,W	.4024	11	.45	0,17	1791,49	-1.809
S,V,W	.4138	13	.43	0,13	1736,51	-1.752
S,V,C,T,W	.4008	23	.45	0,18	1799,33	-1.805
C,W (*)	.4021	7	.47	0,18	1792,96	-1.815
C,V,W	.4021	12	.43	0,18	1792,96	-1.810

O modelo (C,V), que não inclui o efeito dos vizinhos, apesar da baixa capacidade explicativa (<10%), não depende da hipótese da homogeneidade da densidade — adotada para estimar o efeito dos vizinhos — e permite a previsão para um maior número de municípios. Por isso, será um dos modelos selecionados. Os outros modelos contêm todos os regressores, exceto o efeito dos vizinhos (S, C, V, T), e o melhor modelo (C, V, W), que inclui o efeito dos vizinhos. Este último, embora seja o melhor, tem a desvantagem de depender da hipótese da homogeneidade e pode ser utilizado para previsão de um menor número de municípios, pois não dispomos de informação de vizinhança para muitos deles.

A segunda alternativa depende da hipótese de homogeneidade da densidade, que não pode ser avaliada com as informações disponíveis. No entanto, o confronto dos resultados dos modelos estimados com dados agregados e desagregados pode indicar a coerência dos resultados. Para evitar dados com pouca informação, foram descartados os municípios que tinham menos de três pontos do Radam.²⁷

O mesmo procedimento de seleção de grupos de variáveis foi repetido, o qual é muito mais importante devido ao tamanho bem mais reduzido da amostra.²⁸ Assim, (LVM) é calculada de forma exata em todos os casos e a comparação entre os modelos utilizando esta medida é sempre adequada. Os resultados, apresentados na Tabela 4, mostram que: a) a capacidade explicativa é substancialmente maior do que no caso anterior; b) o efeito da vizinhança não pode ser rejeitado; e c) o melhor modelo é o (C), que inclui o efeito dos vizinhos. Os modelos escolhidos foram os que contêm todos os regressores (S, V, C, T), o (C) e o (C, W).

²⁷ Este critério não pode ser mais rigoroso para manter o número mínimo de graus de liberdade na estimação dos modelos agregados.

²⁸ Apenas 90 municípios dispõem de mais de três observações do Radam e também das informações dos demais regressores simultaneamente.

Tabela 4
Modelo com os 90 Municípios

Modelo	Erro-Padrão	P^a	Rho	R^2	LVM	Akaike
C,T	.2023	10	-	0,27	143.820	-2.974
S,V	.1968	14	-	0,34	146.301	-2.940
S,C	.1914	12	-	0,36	148.805	-3.040
V,C	.2023	14	-	0,31	143.820	-2.885
S,V,C,T	.1955	24	-	0,44	146.898	-2.731
C (*)	.2021	6	-	0,23	143.909	-3.065
C,W (*)	.1801	7	.52	0,40	154.282	-3.273
S,V,C,W,T	.1871	25	.35	0,49	150.850	-2.797
S,C,W	.1793	13	.41	0,45	154.683	-3.149
V,C,W	.1837	15	.50	0,43	152.501	-3.056

^a O número de regressores não é o mesmo porque a amostra dos pontos do Radam não continha um dos tipos de solo e um dos tipos de vegetação.

Com os modelos selecionados foram calculados o $E(\hat{b}_m)$ para os dois modelos e o EPM como teste final — raiz quadrada do desvio médio quadrático —, a correlação com a estimativa da densidade média do município (b_m) e o número de municípios previsto com cada versão do modelo. De fato, não conhecemos a densidade de biomassa média, e portanto os “erros” devem ser considerados com cautela.

Os resultados apresentados na Tabela 5 mostram que: *a*) os modelos que não contêm o efeito dos vizinhos acompanham menos a trajetória do dado “observado”; *b*) os resultados dos modelos agregados e desagregados são semelhantes entre si, o que sugere a hipótese de homogeneidade; e *c*) os resultados são de alguma forma coerentes. Os cartogramas apresentados no Apêndice C mostram a distribuição espacial das densidades de biomassa estimadas para os municípios da Amazônia Legal.

Tabela 5
Resultados

Modelo	Tipo	EPM	Correlação	Municípios
VC	D	25,1	.44	338
VCW	D	16,1	.43	113
SVC	D	24,3	.46	338
C	A	23,1	.49	343
CW	A	20,8	.63	137
SVC	A	19,2	.66	137

4.2 - Estimativa do Preço e da sua Incerteza

O IBGE apurou desde 1977 o valor das madeiras vendidas e o volume das toras vendidas em cada município da Amazônia Legal. Com esses dados calculamos o preço médio da madeira em cada município corrigido monetariamente. O tipo da informação sugeria uma baixa qualidade do dado; no entanto, para nossa surpresa,

os percentis da Tabela 6 sugerem a estabilidade da distribuição desses preços ao longo dos anos, pelo menos para 90% da amostra dos municípios. Consideramos que, como medida do nível de preços da madeira recebida no município, este dado é aceitável. A apresentação dos preços para todos os anos está no Apêndice B.

Tabela 6

Distribuição do Preço Médio Municipal Deflacionado para 1995

Ano	Número	%					Média	Desvio-Padrão
		5	25	50	75	95		
1980	221	0,009	0,020	0,033	0,048	0,087	0,042	0,043
1990	215	0,006	0,013	0,023	0,040	0,057	0,025	0,016
1995	206	0,008	0,013	0,021	0,032	0,048	0,027	0,044
Média	176	0,019	0,027	0,034	0,045	0,068	0,038	0,020

A qualidade desses dados não permite sua utilização como medida da volatilidade da taxa de variação do preço da madeira, medida de incerteza requerida pelo modelo de valoração das Flonas. Esses dados, ainda que aceitáveis, são anuais, implicando uma amostra insuficiente e de baixa qualidade para a estimativa confiável de volatilidades. Admitindo que a relação entre o preço da madeira no município (p) e o preço da madeira no porto (p^*) seja do tipo log linear ($\ln(p) = \alpha + \beta \ln(p^*)$), pode-se mostrar que a volatilidade da taxa de retorno de (p^*) é a mesma volatilidade de (p).

O preço de exportação da madeira é uma medida de melhor qualidade e disponível em duas fontes: o registro das exportações brasileiras e o banco de dados do International Finance Statistics (IFS). Com o registro, por produto, das exportações brasileiras mensais foi identificado o produto madeira em tora exportada por portos na região Norte. Dos diversos tipos de madeira encontrados, apenas o mogno apresentou exportação para a maioria dos meses da amostra (1978/95). Com o valor e a quantidade exportada foi construído um dos índices de preços utilizados.²⁹

O banco de dados do IFS contém as séries temporais mensais do preço de madeira exportada pela Malásia, dos quais foram selecionados o *hardwood sawnwood* e *hardwood logs sawnwood*. Com as correspondentes séries temporais das taxas de retorno (r), medidas em percentagem, foram estimados dois modelos de variância condicional — GARCH(1,1) e ARCH(1) — descritos a seguir. Os resultados estão na Tabela 7, que apresenta também os resultados para a variância não-condicional decorrente:

$$r_t - a = e_t \quad e_t \sim N(0, h_t) \quad h_t = \alpha_0 + \alpha_1 r_{t-1}^2 + \alpha_2 h_{t-1}$$

²⁹ Apesar de estar proibida, a exportação de mogno em toras ocorreu de forma sistemática nos últimos 20 anos, até 1995. Apesar dessa inconsistência, esse dado foi utilizado por ser o único disponível sobre exportação de madeira de qualidade pelo Brasil.

$$\sigma_I = \sqrt{\alpha_0 / (1 - \alpha_1 - \alpha_2)} / 100$$

Tabela 7

Estimativa da Volatilidade do Preço da Madeira

	Modelos	<i>a</i>	<i>T(a)</i>	α_0	<i>T</i> (α_0)	α_1	<i>T</i> (α_1)	α_2	<i>T</i> (α_2)	σ_I /Mês	σ_I /Ano
Mogno	GARCH	0,83	1,8	62,30	6,4	.498	4,2	-.075	1,0	.104	
<i>Sawnwood</i>	GARCH	-.18	-.4	38,50	8,4	.369	5,1	.057	0,4	.082	
<i>Sawnwood logs</i>	GARCH	0,23	0,7	18,60	8,6	.832	5,5	.025	0,5	.114	
Mogno	ARCH	0,91		55,60	8,4	.490	4,3			.104	
<i>Sawnwood</i>	ARCH			20,20	13,7	.793	5,4			.099	
<i>Sawnwood logs</i>	ARCH			42,30	11,9	.366	5,2			.082	

5 - VALORAÇÃO DAS FLONAS

O valor da concessão depende de diversos parâmetros para os quais não dispomos, como seria desejável, de dados sobre uma área de concessão específica. Assim, o valor da concessão será calculado a partir de valores típicos, apresentados na Tabela 8 e encontrados na literatura e, em alguns, a partir das estimativas apresentadas na Seção 4.

Tabela 8

Valores Típicos dos Parâmetros Determinantes

Variáveis		Valores
Estoque Inicial de Madeira I_0 (m ³ /ha)	I_0	25
Variabilidade de I_0 (Desvio-Padrão)	S	0,41
Preço da Madeira em Tora (\$/m ³)	P	30
Volatilidade do Preço (a.a.)	σ_P	0,3
Volatilidade do Estoque (a.a.)	σ_I	0,1
Custo Fixo (a.a.)	a_0	140 Mil
Custo de Produção sem Manejo (\$/m ³)	a_1	3,55
Custo de Produção com Manejo (\$/m ³)	a_1	8,45
Taxa de Crescimento do Estoque em % do Estoque Residual com/sem Manejo (a.a.)	μ	0,01/0
<i>Convenience Yield</i> (a.a.)	k	0,046
Taxa de Juros (a.a.)	r	0,05
Corte Máximo (m ³ /ha/Ano)	$q_{\text{máx}}$	0,133
Estoque Mínimo Regulatório (m ³ /ha)	$I_{\text{mín}}$	12,50

O valor da concessão foi calculado utilizando: a abordagem tradicional (VPL); a teoria da opções condicionada a um estoque inicial $F(\varphi, I_0)$; e a teoria das opções considerando a incerteza sobre o estoque inicial de biomassa $V(\varphi)$. Os resultados são apresentados admitindo que os agentes possam utilizar ou não a técnica de manejo. Essa técnica foi representada por custos de operação maiores — descritos

na Tabela 8 — e por uma tendência positiva de crescimento do estoque ($\mu = 1\%$ a.a.).

A Tabela 9 apresenta o resultado calculado com os valores típicos da Tabela 8, e considerando dois níveis de estoque e do preço inicial. A Tabela 10 é equivalente à Tabela 9 e avalia a sensibilidade dos resultados em níveis de incerteza da evolução do preço e do estoque.

Tabela 9

Sensibilidade do Valor da Concessão às Condições Iniciais

Alternativas		Sem Manejo			Com Manejo		
		VPL	$F(\varphi, I_0)$	$V(\varphi)$	VPL	$F(\varphi, I_0)$	$V(\varphi)$
Típica	-	39,6	68,2	59,7	29,4	74,2	64,8
(-10) Estoque	$I_0 = 15$	39,6	31,8	29,0	29,4	37,7	34,1
(+10) Estoque	$I_0 = 35$	39,6	100,2	95,0	29,4	113,2	105,9
(+30) Preço	$P_0 = 60$	104,7	204,3	179,9	94,5	235,1	205,3
(-20) Preço	$P_0 = 10$	0	8,8	7,6	0	8,8	7,7

Tabela 10

Sensibilidade do Valor da Concessão às Incertezas

Alternativas		Sem Manejo		Com Manejo	
		$F(\varphi, I_0)$	$V(\varphi)$	$F(\varphi, I_0)$	$V(\varphi)$
Típica	-	68,2	59,7	74,2	64,8
(-) Incerteza do Preço	$\sigma_p = 0,20$	43,0	37,4	37,9	33,8
(+) Incerteza do Preço	$\sigma_p = 0,40$	108,9	96,0	127,8	111,0
(-) Incerteza do Estoque	$\sigma_I = 0,01$	70,4	64,8	78,6	72,7
(+) Incerteza do Estoque	$\sigma_I = 0,15$	57,4	50,3	59,7	52,7

Estes resultados mostram que:

- a estimativa obtida segundo o VPL subestima o valor da concessão;
- a não-proporcionalidade da relação entre os preços e estoques iniciais e o valor;
- o efeito da incerteza na evolução do estoque de madeira é menor do que o efeito da incerteza na evolução do preço e, portanto, o segundo deve ser medido com mais cuidado;
- o valor do ativo condicional ao estoque inicial mais provável é maior do que este valor esperado do ativo, considerando a incerteza do estoque inicial $F(\varphi, I_0) > V(\varphi)$; e

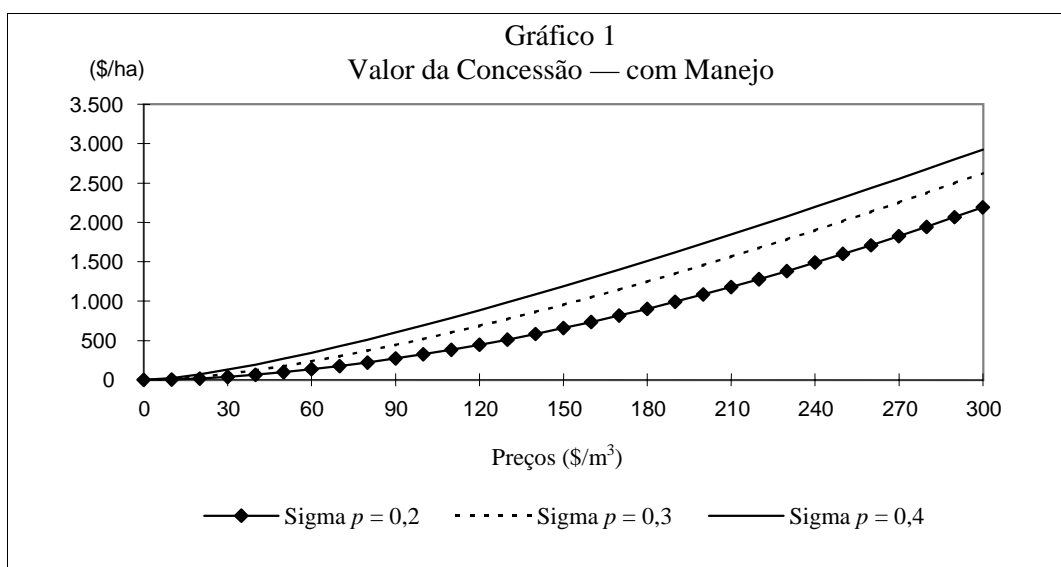
- a utilização do manejo, com os parâmetros adotados, é vantajosa.

A seguir são apresentados gráficos que permitem visualizar a relação entre o valor da concessão e alguns dos parâmetros do modelo. Os gráficos estão organizados num conjunto que avalia o efeito dos parâmetros do modelo, e num segundo que avalia o efeito das políticas de regulação.

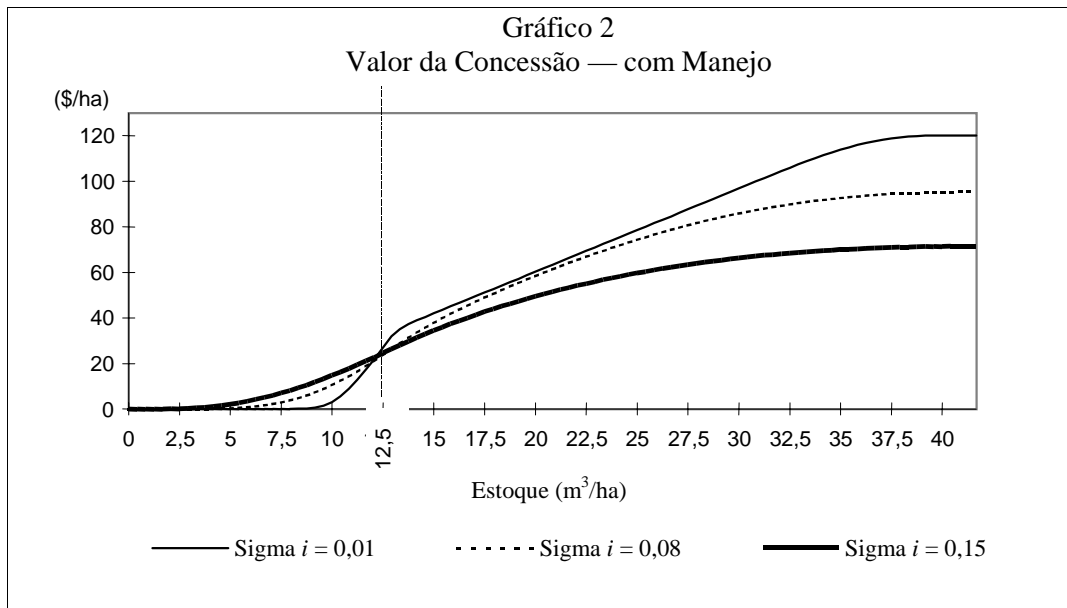
5.1 - Análise de Sensibilidade dos Parâmetros Seleccionados

Este conjunto apresenta os seguintes efeitos: do preço inicial e da sua incerteza de evolução (Gráfico 1); do estoque inicial e sua incerteza de evolução (Gráfico 2); e do uso da abordagem da teoria das opções (Gráficos 3 e 4).

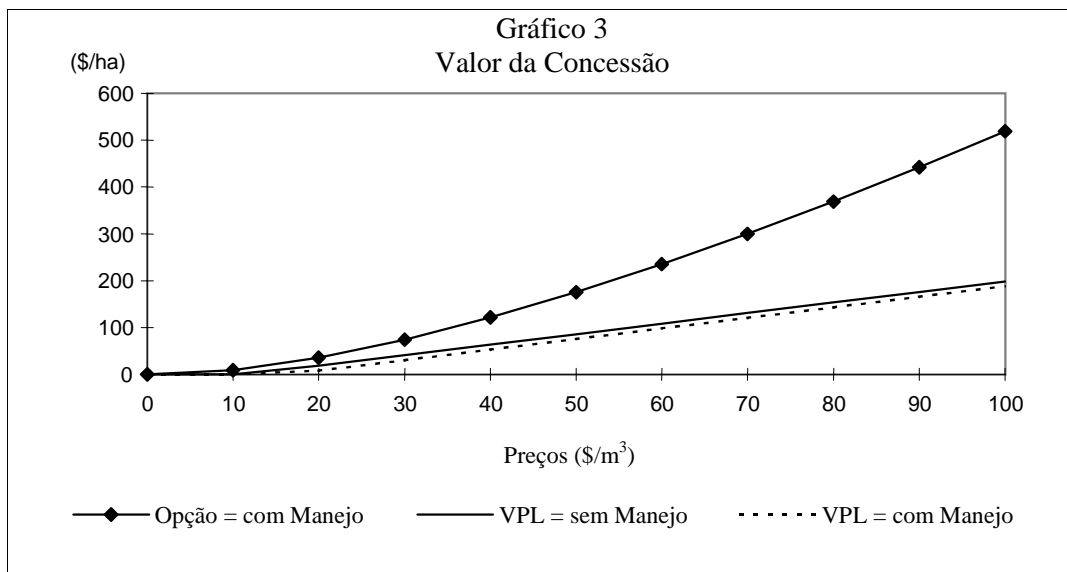
O Gráfico 1 mostra a sensibilidade do valor da concessão, em \$/ha, com manejo, em relação à incerteza dos preços. Repare que quanto maior é esta incerteza (expressa em desvio-padrão a.a. — sigma p), maior é o valor da concessão (opção).

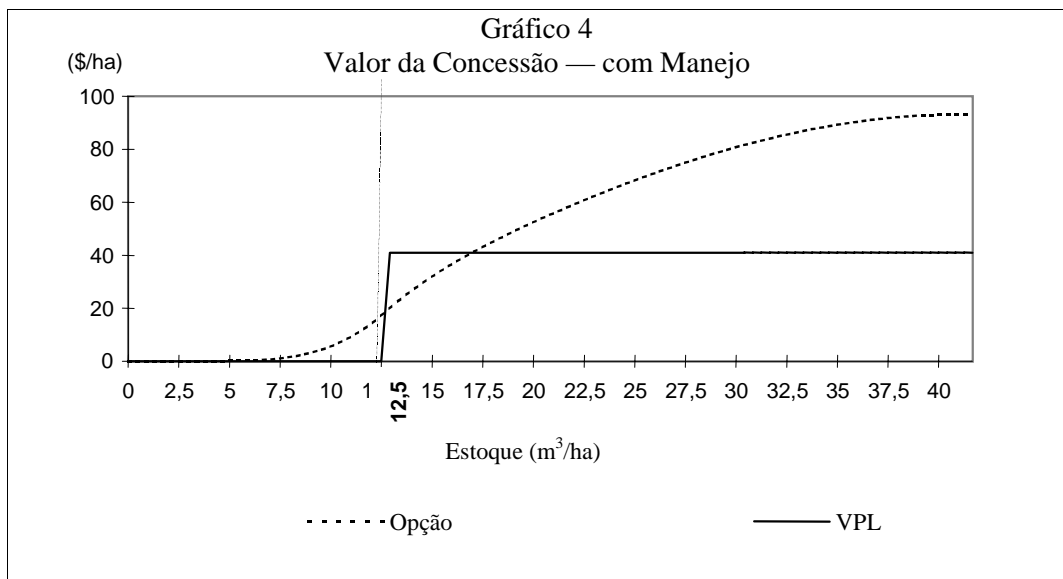


O Gráfico 2 mostra a sensibilidade do valor da concessão em relação ao estoque inicial dado em m^3/ha , e em relação à incerteza quanto ao retorno da taxa de crescimento do estoque (expressa em desvio-padrão a.a. — sigma i).



Repare que para estoques abaixo do limite regulatório de 12,5 m³/ha, a incerteza agrega valor à opção, pois existe a possibilidade de o limite regulatório ser ultrapassado e de o concessionário poder realizar sua política de corte, até então parada. Repare que, mesmo sem poder cortar, a opção apresenta valor, justamente de boas novas no futuro. Em comparação, o VPL para valores abaixo desse limite seria zero. Ao passar da barreira regulatória, a incerteza, entretanto, deprecia o valor da opção, pois neste caso aumentam as chances de o concessionário vir a ter uma perda de estoque advinda de más notícias futuras (queimadas, diminuição de mercado etc), além de que um aumento no estoque não agrega nenhum valor porque seu corte máximo já está estipulado. Ainda, o fato de existir um limite para o estoque máximo (barreira refletora superior) impõe limites ao crescimento infinito do estoque (limitação geográfica) e por conseguinte à opção.





O Gráfico 3 mostra a diferença do valor da concessão calculado pela teoria das opções e pelo VPL. Mostra que, para o caso-base, o valor da concessão com manejo pela teoria da opção supera o valor calculado pelo VPL com ou sem manejo.

O Gráfico 4 compara o valor da concessão em relação ao estoque inicial, dado em m³/ha, calculada pela teoria da opção (F) justaposto com o VPL.

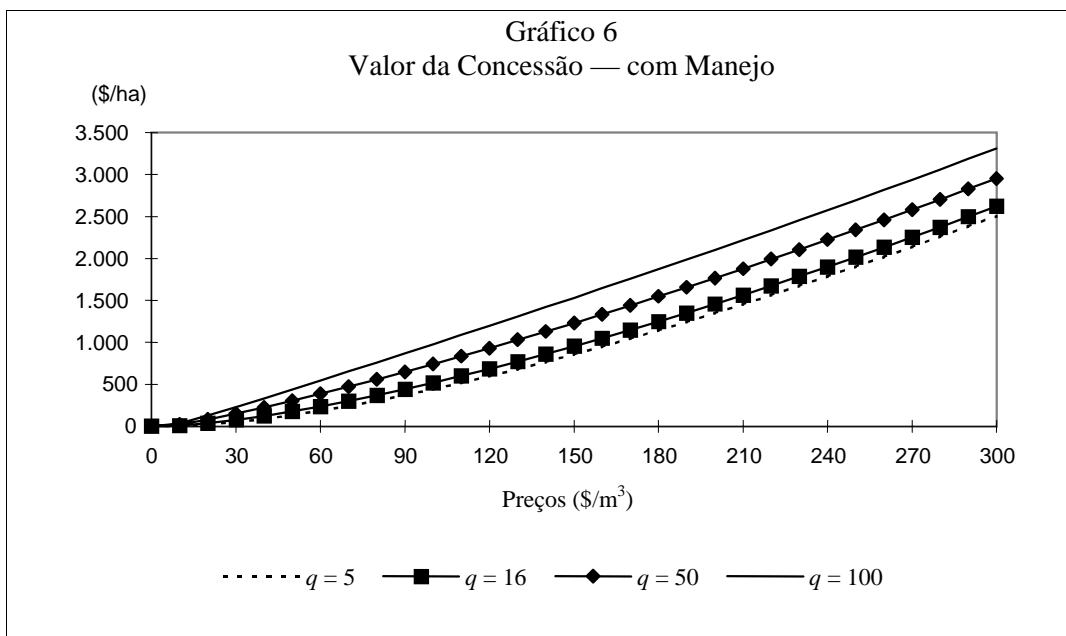
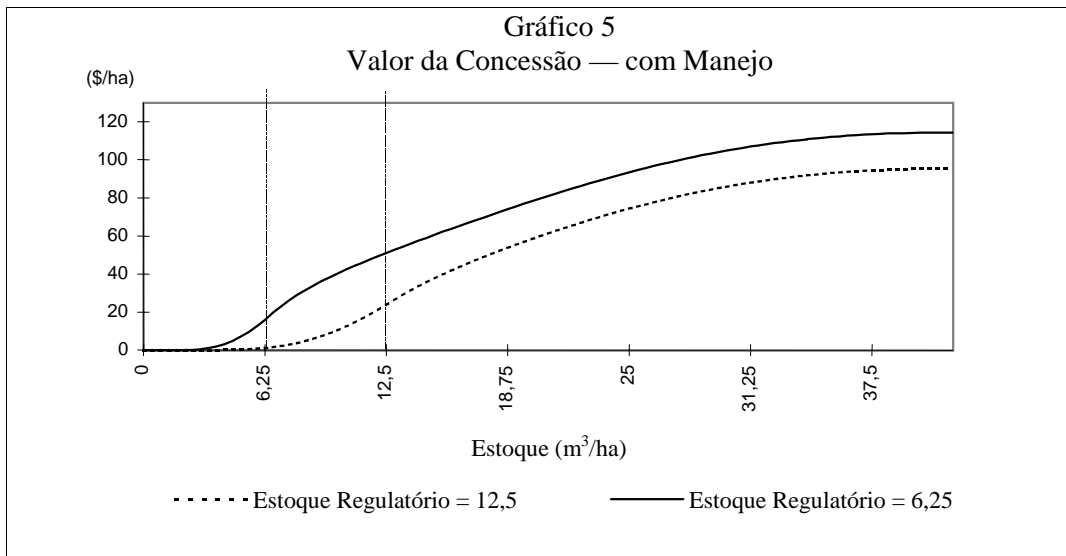
Observe que o valor da opção supera o do VPL antes da barreira, porém, logo após, o VPL é um pouco maior, sendo superado mais adiante. Esse efeito corresponde às diversas não-linearidades advindas do cálculo da teoria das opções, sendo que o VPL pode em alguns momentos sobrevalorizar o valor da concessão, porém na maioria dos casos existe uma subvalorização.

5.2 - Análise de Sensibilidade da Política Regulatória

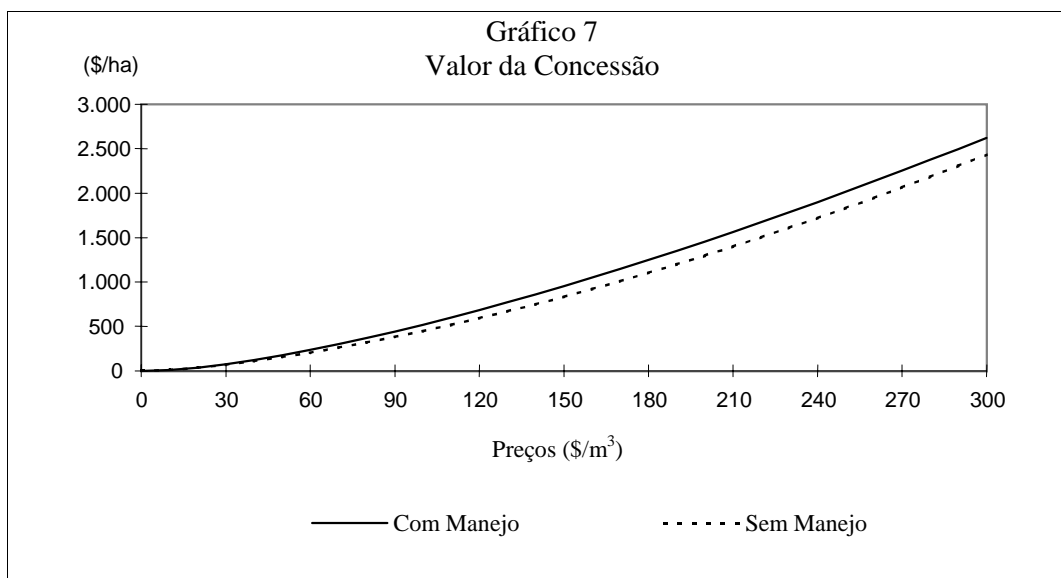
Os gráficos deste conjunto apresentam o efeito das restrições de regulamentação. O efeito da exigência do estoque mínimo (Gráfico 5); da restrição de corte máximo por período (Gráfico 6); e, finalmente, da utilização da técnica de manejo na extração florestal (Gráfico 7).

O Gráfico 5 mostra em que medida a redução de 50% do limite regulatório mínimo (I_{\min}) — de 12,5 para 6,25 — aumenta o valor da opção.

O Gráfico 6 mostra o valor da concessão em relação aos preços relativos a um aumento na taxa de corte anual. Evidentemente, a concessão aumenta com a taxa de corte.



O Gráfico 7 compara as duas alternativas de extração: com e sem manejo. O valor da concessão é maior no caso com manejo, pois embora essa modalidade apresente um custo de produção maior, existe uma taxa de crescimento do retorno do estoque de 1% a.a., diferente de zero (caso sem manejo), o que compensa bem mais o aumento dos custos.



6 - CONCLUSÃO

Este estudo propõe uma metodologia, baseada na TOR, para estimar o valor da concessão de Flonas para exploração de madeiras comerciais. A metodologia proposta é superior à abordagem tradicional do VPL, que tende a subestimar o valor potencial da concessão. Isso porque a TOR permite avaliar os ganhos advindos da flexibilidade das decisões para cenários incertos e estocásticos, além das restrições impostas pelas regras do contrato de concessão.

No caso considerado típico, por exemplo, o valor estimado pela TOR é 140% maior do que o calculado pelo VPL. O uso da TOR permite avaliar que o efeito de políticas de regulamentação, tal como a diminuição da restrição do estoque mínimo em 50% (de 12,5 para 6,25 m³/ha), aumenta o valor da concessão em 26%. A abordagem do VPL, entretanto, não tem como avaliar o efeito dessa redução.

Outros resultados relevantes do estudo são a não-proporcionalidade entre o valor da concessão e o estoque inicial de madeira na área concedida; a importância de medidas mais realistas sobre a distribuição do estoque inicial de madeira na área; a incerteza da evolução — volatilidade — do preço da madeira; e de medidas mais precisas quanto ao custo de técnicas de manejo e suas repercussões no crescimento do estoque. Este estudo inclui, ainda, uma proposta de modelo para estimar a densidade de biomassa em áreas a partir de dados pontuais.

A precariedade dos dados disponíveis e a falta de dados específicos sobre Flonas reais fazem com que os resultados obtidos sejam apenas indicativos do valor da concessão. Acreditamos, entretanto, que os resultados numéricos obtidos sejam suficientemente reveladores.

Note-se, por fim, que a teoria das opções considera como valor da concessão o resultado líquido esperado, supondo que o concessionário execute uma política ótima de corte. Esse valor não será obtido, caso o concessionário seja ineficiente. Evidentemente, o valor alcançado pela concessão no leilão não coincidirá necessariamente com o valor estimado previamente, seja porque o conjunto de informação do concessionário é diferente, ou porque os agentes pressupõem o efeito de algum grau de ineficiência em seu comportamento ou ainda porque exigem uma rentabilidade adicional correspondente ao risco desta concessão.

APÊNDICE A

A equação diferencial parcial parabólica em duas dimensões EDP (5) pode ser resolvida numericamente segundo o MDF, em sua forma explícita. Esse método consiste na transformação do domínio contínuo das variáveis de estado P , I e t em uma rede de pontos discretos. A EDP é convertida em um grupo de equações de diferenças, cada qual resolvida recursivamente na forma da programação dinâmica estocástica por meio de suas condições de contorno “discretizadas” da mesma forma. O procedimento é realizado de trás para a frente, com pequenos intervalos ΔP 's, ΔI 's e Δt 's até a obtenção do ótimo $q^*(P, I, t)$, variável de controle que maximiza o valor da opção $F(P, I, t)$ para todo o domínio da solução.

Suponha a seguinte “discretização” para as três variáveis de estado:

$$F(P, I, t) \equiv F(i\Delta P, j\Delta I, t\Delta t) \equiv F_{i,j,t}$$

onde $0 \leq i \leq m$, $n_1 \leq j \leq n_2$ e $0 \leq t \leq 1$.

Construímos um *grid* tridimensional: $P \in [0, P_{\text{máx}}]$, $I \in [I_{\text{mín}}, I_{\text{máx}}]$ e $t \in [0, T]$, onde $P_{\text{máx}} = m \cdot \Delta P$, $I_{\text{mín}} = n_1 \cdot \Delta I$, $I_{\text{máx}} = n_2 \cdot \Delta I$ e $1 = T/\Delta t$.

A condição de contorno (8) implica um valor infinito para P , capturado no modelo, fazendo (m) assumir o maior valor possível. Os valores de $I_{\text{mín}}$ e $I_{\text{máx}}$, se conhecidos, fornecem os de n_1 e n_2 . No caso-base, trabalhamos com $I_{\text{mín}} = 0$, $I_{\text{máx}} = 5 \text{ mil m}^3$, $I_{\text{regulatório}} = 1.500 \text{ m}^3$, $P_{\text{mín}} = 0$, $P_{\text{máx}} = 190$, valores dentro do intervalo de confiança que as variáveis podem assumir em 30 anos (ver Subseção 3.3).

A escolha do tamanho da discretização deve ser feita de forma que todos os coeficientes da equação de diferenças sejam positivos para todo o *grid* analisado ou, em casos extremos, aproximadamente zero. Esse fato assegura a convergência do MDF explícito.

As derivadas parciais são aproximadas pelas seguintes equações de diferenças:

$$F_{PP} \approx [F_{i+1,j,t+1} - 2F_{i,j,t+1} + F_{i-1,j,t+1}] / (\Delta P)^2 ; F_P \approx [F_{i+1,j,t+1} - F_{i-1,j,t+1}] / 2\Delta P ;$$

$$F_{II} \approx [F_{i,j+1,t+1} - 2F_{i,j,t+1} + F_{i,j-1,t+1}] / (\Delta I)^2 ; F_I \approx [F_{i,j+1,t+1} - F_{i,j-1,t+1}] / 2\Delta I ;$$

$$F_t \approx [F_{i,j,t+1} - F_{i,j,t}] / \Delta t$$

Utilizamos a aproximação *central-difference* para a variável P e I , e a aproximação *forward-difference* para a variável t . Aplicando essas aproximações a EDP(5) e às suas respectivas condições de contorno, temos a seguinte equação de diferenças:

$$F_{i,j,t} = p_i^+ F_{i+1,j,t+1} + p_i^- F_{i-1,j,t+1} + p_j^+ F_{i,j+1,t+1} + p_j^- F_{i,j-1,t+1} + p^0 F_{i,j,t+1} + \frac{i\Delta P \cdot q - a_1 \cdot q}{r + \frac{1}{\Delta t}}$$

onde:

$$p_i^+ = \frac{\frac{1}{2}\sigma_p^2 i^2 + \frac{(r-k)i}{2}}{r + \frac{1}{\Delta t}} ; \quad p_i^- = \frac{\frac{1}{2}\sigma_p^2 i^2 - \frac{(r-k)i}{2}}{r + \frac{1}{\Delta t}} ;$$

$$p_j^+ = \frac{\frac{1}{2}\sigma_i^2 j^2 - \frac{\mu j \Delta I - q}{2\Delta I}}{r + \frac{1}{\Delta t}} ; \quad p_j^- = \frac{\frac{1}{2}\sigma_i^2 j^2 + \frac{\mu j \Delta I - q}{2\Delta I}}{r + \frac{1}{\Delta t}} ; \quad p^0 = \frac{-\sigma_p^2 i^2 - \sigma_i^2 j^2 + \frac{1}{\Delta t}}{r + \frac{1}{\Delta t}}$$

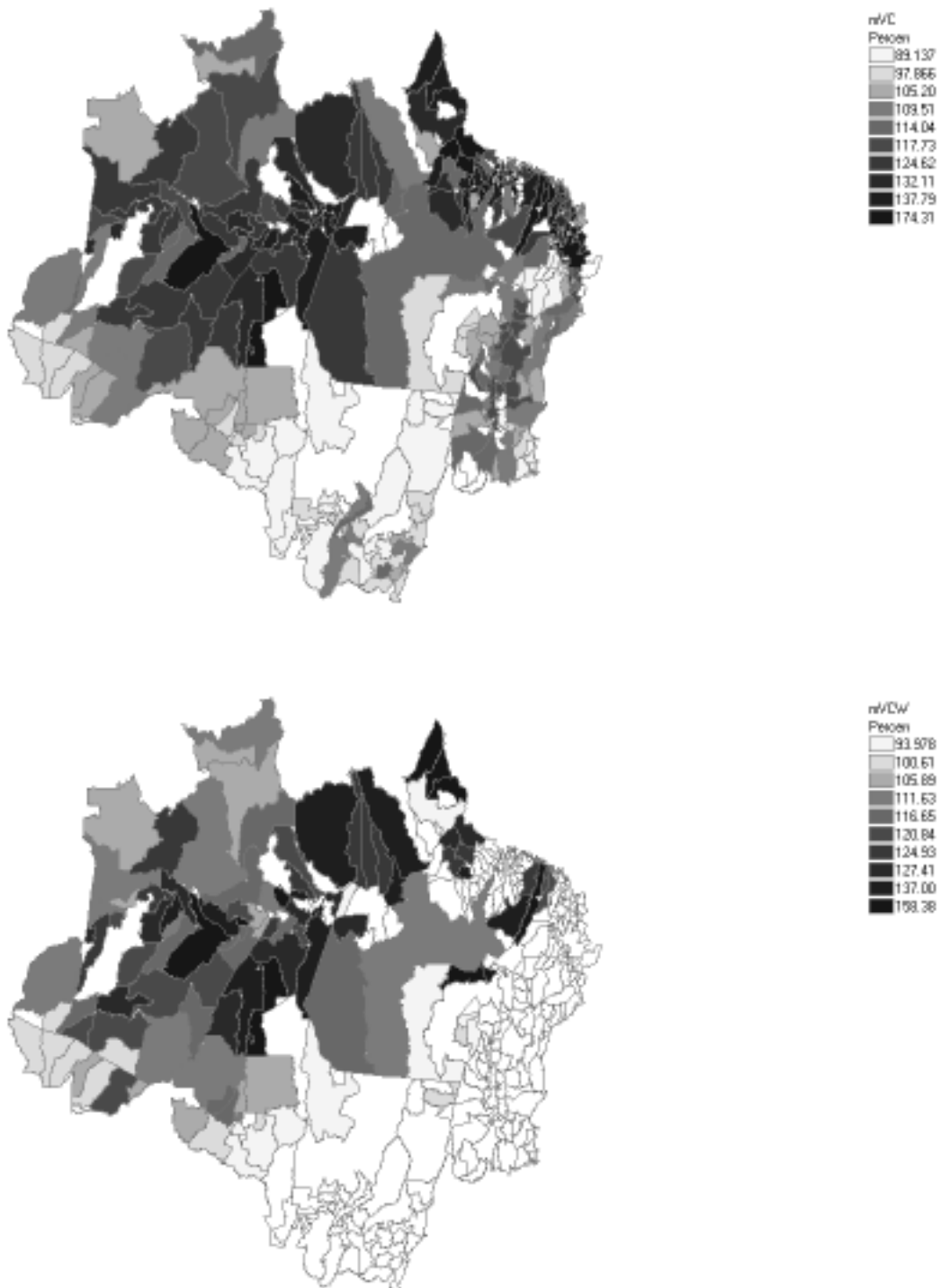
APÊNDICE B

Distribuição do Preço Médio Municipal Deflacionado para 1995, Medido em R\$/m³ de tora — 1977/95

Ano	Número	%					Média	Desvio-Padrão
		5	25	50	75	95		
1977	210	0,016	0,026	0,037	0,064	0,093	0,046	0,026
1978	214	0,012	0,025	0,037	0,060	0,087	0,068	0,299
1979	219	0,009	0,022	0,036	0,053	0,087	0,042	0,024
1980	221	0,009	0,020	0,033	0,048	0,087	0,042	0,043
1981	223	0,010	0,017	0,029	0,043	0,099	0,037	0,026
1982	221	0,010	0,016	0,026	0,042	0,074	0,033	0,023
1983	222	0,007	0,014	0,021	0,031	0,054	0,026	0,019
1984	223	0,006	0,011	0,019	0,031	0,065	0,025	0,022
1985	222	0,004	0,011	0,018	0,032	0,078	0,028	0,026
1986	219	0,008	0,019	0,041	0,066	0,103	0,049	0,032
1987	217	0,007	0,020	0,030	0,051	0,081	0,041	0,041
1988	222	0,007	0,014	0,023	0,035	0,080	0,032	0,029
1989	217	0,011	0,027	0,045	0,091	0,348	0,088	0,101
1990	215	0,006	0,013	0,023	0,040	0,057	0,025	0,016
1991	207	0,006	0,012	0,019	0,032	0,058	0,023	0,016
1992	208	0,004	0,011	0,017	0,045	0,083	0,028	0,023
1993	210	0,007	0,013	0,021	0,051	0,079	0,031	0,024
1994	205	0,011	0,016	0,028	0,041	0,076	0,032	0,020
1995	206	0,008	0,013	0,021	0,032	0,048	0,027	0,044
Média	176	0,019	0,027	0,034	0,045	0,068	0,038	0,020

APÊNDICE C

Cartogramas com a distribuição do valor esperado da densidade da biomassa estimada, segundo o modelo que não considera a tendência espacial (MVC) e o que considera (MWVC).



APÊNDICE D

Distribuição espacial dos pontos do Radam.



BIBLIOGRAFIA

AMES, W. F. *Numerical methods for partial differential equations*. Academic Press, 1977.

ANSELIN, L. *Spatial econometrics: methods and models*. 1987.

BARRETO, P. *Rentabilidade da produção de madeira em terras públicas e privadas na região de cinco florestas nacionais da Amazônia*. 1999 (Relatório Técnico).

BARRETO, P., VERÍSSIMO, A. *Informações e sugestões para a criação e gestão de florestas públicas na Amazônia*. 1999 (Relatório Técnico).

BRENNAN, M. J., SCHWARTZ, E. Evaluating natural resource investments. *Journal of Business*, v. 58, Apr. 1985.

DIXIT, A., PINDYCK, R. *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, 1994.

FERRAZ, C., SEROA DA MOTTA, R. *Concessões florestais e exploração madeireira no Brasil: condicionantes para a sustentabilidade*. Rio de Janeiro, IPEA, dez. 1998.

- MORK, R., SCHWARTZ, E., STANGELAND, D. The valuation of forestry resources under stochastic prices and inventories. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, v. 24, n. 4, Dec. 1989.
- SMITH, G. D. *Numerical solution of partial differential equations*. Oxford Mathematical Handbooks. Oxford University Press, 1971.
- STONE, S. W. *Evolution of the timber industry along an aging frontier: evidence from the Eastern Amazon*. Forthcoming in *World Development*, 1997.
- VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R., UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. *Forestry Ecology and Management*, v. 55, 1992.
- VERÍSSIMO, A., BARROS, A. C. *A expansão da atividade madeireira na Amazônia — impactos e perspectivas para o desenvolvimento do setor florestal do Pará*. Imazon, 1996.
- VERÍSSIMO, A., JÚNIOR, S. *Política florestal coerente para Amazônia: zoneamento florestal, Flonas e monitoramento florestal*. Imazon, jul. 1997.
- YOUNG, C. E. F., FAUSTO, J. R. B. *Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia*. Brasília, IPEA, jun. 1997 (Texto para Discussão, 490).