

## **A model to optimize the value of harvested species in a reduced impact logging concession system constrained by volume in the Brazilian Amazon**

*Luiz Carlos Estraviz Rodriguez, Gustavo Chaves Machado, José Mauro Magalhães  
Ávila Paz Moreira*

---

*A new Brazilian law and regulation (# 11.284 dated March 02 2006; and # 6.063 dated March, 20 2007) created the Serviço Florestal Brasileiro (SFB) in March 2007. The SFB, or Brazilian Forest Service, manages zones designated for production within federal protected areas, including funding and technical assistance to develop a private concession system. An innovative bidding process, that weights the proposals on both technical quality (60%) and price (40%), guides the selection of future concessioners. The proposals are technically evaluated according to nine quantitative indicators grouped in four criteria: environmental impact; social benefits; efficiency; and locally added value. Concessioners explicitly declare estimates to the nine technical indicators, which are scored and weighted to compute a final single value used to qualify and classify the proposal.*

*Among the nine indicators, there is one that specially deals with the diversity of species harvested to provide the 30 m<sup>3</sup> maximum volume allowed per hectare. The principle follows the hypothesis that, when constrained by volume, the harvesting of a large number of tree species maintains the residual forest diverse and rich, and promotes the introduction of potentially good new tree species in the timber market. Spatial considerations that affect costs and accessibility have also to be considered when choosing the set of trees that will approximately correspond to the desired amount of volume per species to be harvested. This paper describes a two phase solution technique to solve the problem: first, select the number of species and maximum volumes per species by means of a linear programming model; and secondly, locate the best trees in the field using a specially developed GIS routine. The solution technique was applied during feasibility tests implemented by SFB to evaluate the proposals presented to the first forest concession bidding process implemented in Brazil – the 2008 Jamari National Forest Concession Process.*

*Keywords: Linear programming, harvesting model, decision support system, forest management, concession, feasibility, GIS, RIL.*

---

### **Introduction**

Up to the beginning of the 2000s, national forestry regulation and protection in Brazil were concentrated in the Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a broad environmental regulation agency headed by the Ministry of the Environment (Ministério do Meio Ambiente, MMA). Created in 1989 to protect and regulate the environmental, forestry, fisheries, and rubber sectors, IBAMA was also in charge of working with communities, specifically for the production of nontimber forest products in extractive reserves. Its mandate was to protect natural resources through “command and control” regulations. Over the years, experience accumulated until that date proved that approach proved not effective to manage the vast forests of the Amazon, given the relatively modest agency resources available.

In the 2000s, many interests convened processes that have changed substantially the Brazilian Forest Policy (Bauch et al., 2009). First, the National Forestry Program (Programa Nacional de Florestas) in the MMA proposed that the federal government shift its focus from only forest protection to forest development. The premise was that by creating opportunities to earn income from productive forests, they

In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 13., 2009, Buenos Aires. Forests in development: a vital balance: abstracts. Wellinthon: FAO, 2009.

could be protected better than by command and control alone, partly by building alliances with interest groups who want to use and develop forest resources (e.g., Verissimo et al. 2002, 2004). Development would explicitly include timber harvest and concessions on public forest lands. For the first time in Brazilian history, forest concessions on public forests were supported by a comprehensive and detailed legal framework.

Specifically, the new Brazilian law and regulation (# 11.284 dated March 02 2006; and # 6.063 dated March, 20 2007) also paved the way for the creation of the Serviço Florestal Brasileiro (SFB) in March 2007. The SFB – or Brazilian Forest Service – became the manager of zones designated for production within federal protected areas, including funding and technical assistance to develop the private concession system. A complementary measure (law # 11.516/2007) entitled the creation of the new Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (with overall authority for all federal protected areas) based on a division of IBAMA. Basically, these laws maintained forestry responsibilities within the Ministério do Meio Ambiente, divided IBAMA's many authorities and responsibilities among three different branches of the agency, and provided the authority to decentralize many powers of IBAMA to states and municipalities.

Thus while the new laws provided opportunities for forest development, it also preserved the protection and regulatory components and structure of IBAMA. And simultaneously, with the creation of the Forest Service, a new space was created for new ideas about forest development within an existing strong institutional framework.

Among the new ideas, an innovative bidding process has been tested. Basically, the selection of future concessioners is based on a scoring system that weights the proposals on both technical quality (60%) and price (40%). The proposals are technically evaluated according to nine quantitative indicators grouped in four criteria: environmental impact; social benefits; efficiency; and locally added value. Concessioners explicitly declare estimates to the nine technical indicators, which are scored and weighted to compute a final single value used to qualify and classify the proposal.

Among the nine indicators, there is one that specially deals with the diversity of species harvested to provide the 30 m<sup>3</sup> maximum volume allowed per hectare. The principle follows the hypothesis that, when constrained by volume, the harvesting of a large number of tree species maintains the residual forest diverse and rich, and promotes the introduction of potentially good new tree species in the timber market. Spatial considerations that affect costs and accessibility have also to be considered when choosing the set of trees that will approximately correspond to the desired amount of volume per species to be harvested.

This paper describes a two phase solution technique to solve the problem: first, select the number of species and maximum volumes per species by means of a linear programming model; and secondly, locate the best trees in the field using a specially developed GIS routine.

## Materials and methods

A exploração das unidades de manejo florestal outorgadas segue, do ponto de vista madeireiro, o princípio econômico racional da otimização dos resultados desejáveis. São considerados resultados desejáveis aqueles provenientes da exploração das espécies madeireiras de interesse comercial disponíveis na floresta. O critério mais utilizado para otimizar resultados desejáveis se baseia principalmente na maximização da receita, que pode ser bruta (preço vezes quantidade) ou líquida (receita bruta menos custos).

Do ponto de vista matemático, é necessário explicitar as restrições que limitam a escolha das espécies e que, ao serem cortadas e vendidas, maximizam a receita. Isso inclui as restrições que podem parecer óbvias e elementares, como, por exemplo, (i) a área disponível na UPA para manejo; (ii) o volume máximo disponível para corte das espécies comerciais que apresentam árvores com diâmetro acima do DMC; (iii) o volume total máximo por hectare autorizado para corte numa UPA etc. No caso das concessões florestais conduzidas pelo Serviço Florestal Brasileiro, são impostas duas restrições que precisam ser consideradas. Uma envolve a imposição de um número mínimo de espécies exploráveis, proposto pelo próprio concessionário para o indicador A7 durante a fase de licitação. Outra considera a regra de inclusão da espécie explorada na lista de espécies exploráveis.

Para efeito deste artigo, será considerado o caso em que se procura maximizar a receita bruta sujeita às seguintes quatro restrições básicas simultâneas:

- i) O volume total explorado por hectare deve ser igual ou inferior a 30 m<sup>3</sup>
- ii) O número de espécies exploráveis deve ser igual ao ofertado pelo concessionário durante a fase de licitação (valor do indicador A7)

iii) O volume explorado por espécie deve ser igual ou inferior ao volume estimado para todas as árvores dessa espécie com mais de 50 cm de diâmetro

iv) O volume explorado por espécie deve ser superior a um pré-determinado valor mínimo admissível, por exemplo, o volume mínimo necessário para completar a carga de um caminhão.

As considerações apresentadas podem ser expressas matematicamente, com o apoio da programação linear. Para definir o modelo de programação linear que apoiará a decisão do gestor florestal serão considerados apenas dois conjuntos de variáveis incógnitas:  $X_i$ , para expressar o volume explorado da espécie  $i$ , e  $Y_i$  uma variável binária que expressa se a espécie  $i$  será cortada ou não. O problema de gestão florestal pode então ser definido da seguinte forma:

$$\text{Max} Z = \sum_{i=1}^M (p_i X_i)$$

Sujeito a

$$(i) \sum_{i=1}^M (X_i) \leq 30$$

$$(ii) \sum_{i=1}^M (X_i) = k$$

$$(iii) X_i - v_i Y_i \leq 0 \quad i=1, 2, \dots, M$$

$$(iv) w Y_i - a X_i \leq 0 \quad i=1, 2, \dots, M$$

onde:  $p_i$  = valor da espécie  $i$  (R\$/m<sup>3</sup>)  
 $k$  = número mínimo de espécies que deve ser exploradas na UPA  
 $v_i$  = volume disponível da espécie  $i$  na UPA (m<sup>3</sup>/ha)  
 $w$  = volume necessário para completar uma carga de um caminhão  
 $a$  = área da UPA (ha)  
 $M$  = espécies comerciais identificadas no inventário  
 $i = 1, 2, \dots, M$

## Results and discussion

Para ilustrar a aplicação do modelo proposto, foram consideradas as UMF e UPA da FLONA de Saracá-Taquera conforme apresentadas no quadro abaixo:

### Áreas estimadas das UPA para manejo das UMF da FLONA Saracá-Taquera

| UMF | Área Total disponível para manejo <sup>1</sup> | Área estimada da UPA <sup>2</sup> |
|-----|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 1   | 1 71.486,02                                    | 2.382,87                          |
| 2   | 25.546,86                                      | 851,56                            |
| 3   | 15.460,73                                      | 515,36                            |

Conforme Quadro 5 do Anexo 9 do edital

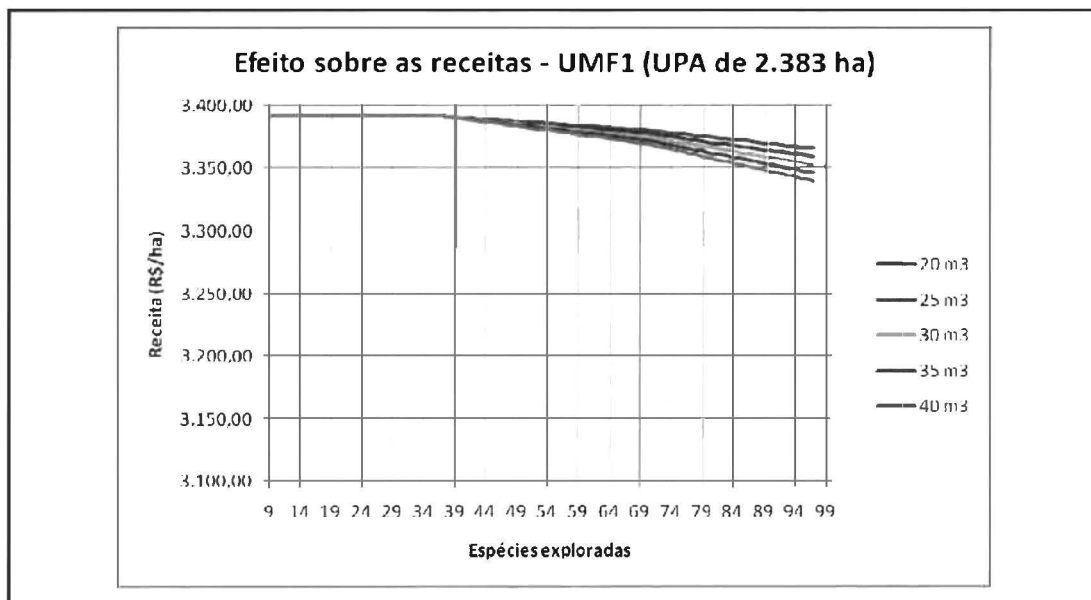
<sup>2</sup> Considerando uma rotação de 30 anos

Para manter o problema dentro dos limites de análise impostos pela ferramenta de cálculo (as planilhas eletrônicas permitem gerar problemas de otimização com no máximo 200 variáveis), este exercício de simulação reduziu ligeiramente o número de variáveis comerciais indicadas pelo inventário da Flona Saracá-Taquera. Ao invés das 104 disponíveis, foram consideradas 97 espécies.

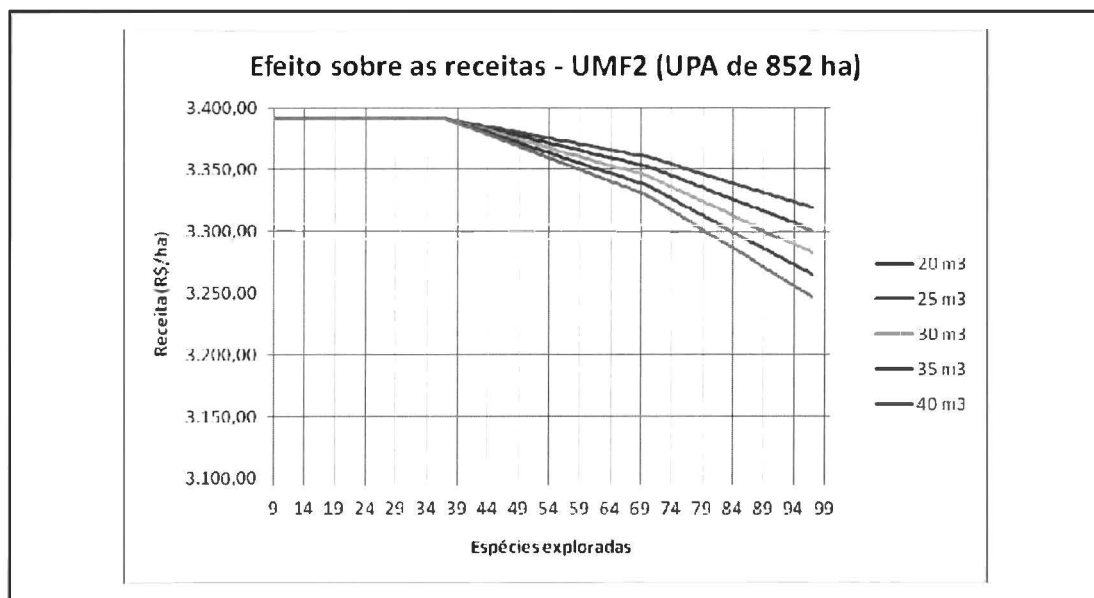
As simulações contemplaram todas as combinações possíveis envolvendo a possibilidade das listas incluírem de 9 a 97 espécies exploráveis, versus cinco regras de ingresso na lista (ou seja, cargas de 20, 25, 30, 35 e 40 m<sup>3</sup>).

Os resultados são apresentados e comentados nas próximas páginas. Nas últimas páginas são listadas duas estratégias de corte na UMF3. Uma considera a estratégia de exploração de apenas 15 espécies. A outra eleva essa lista para 40 espécies. Observa-se nesses casos o forte efeito da ênfase na maximização da receita bruta que guia o comportamento do modelo matemático proposto. A solução apresentada extrai o máximo

possível das espécies mais valiosas, e completa-se a lista com o mínimo possível das outras espécies menos valiosas (o suficiente apenas para completar uma carga com cada uma dessas espécies), lançando mão de espécies dos grupos menos valiosos apenas quando absolutamente necessário para completar a lista.

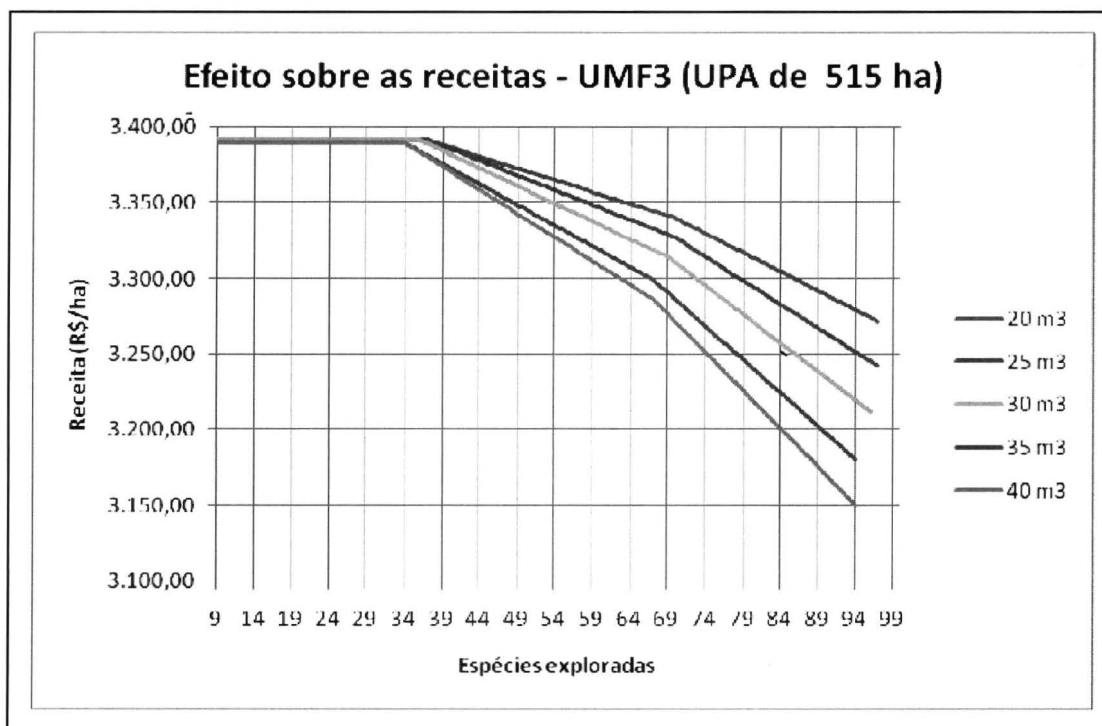


A exploração de até 37 espécies não altera o valor da receita máxima possível por hectare. A partir desse ponto, cada espécie a mais incluída na lista de exploráveis reduz o valor ótimo da receita em apenas R\$ 0,50/ha. É possível gerar estratégias de exploração, combinando todas as espécies de interesse comercial consideradas (97 espécies) para qualquer das cargas mínimas consideradas nas simulações. A redução no valor máximo possível da receita por hectare é praticamente insignificante (aproximadamente 1,5% apenas a menos no pior cenário: 97 espécies exploradas para uma carga mínima de 40 m³).



A exploração de até 37 espécies não altera o valor da receita máxima possível por hectare. A partir desse ponto, cada espécie a mais incluída na lista de exploráveis reduz o valor ótimo da receita em R\$ 1,41/ha. É possível gerar estratégias de exploração, combinando todas as espécies de interesse comercial consideradas (97 espécies) para qualquer das cargas mínimas consideradas nas simulações. A redução no valor máximo

possível da receita por hectare continua baixo (aproximadamente 4,2% apenas a menos no pior cenário: 97 espécies exploradas para uma carga mínima de 40 m<sup>3</sup>).



O limite no número de espécies para o qual o valor da receita máxima possível por hectare se mantém estável varia conforme o valor mínimo exigido para compor uma carga. No caso da de cargas mínimas de 30 m<sup>3</sup>, é possível gerar lista de exploráveis com até 36 espécies. A partir desse ponto, cada espécie a mais incluída na lista de exploráveis reduz o valor ótimo da receita em R\$ 2,33/ha. Esta UMF sente o efeito do aumento no volume exigido como carga mínima. Entretanto, esse efeito é sentido apenas quando a carga mínima é estabelecida em 35 ou 40 m<sup>3</sup>. Nesses casos não seria possível criar listas com mais de 94 espécies. Para o caso da carga limitada em 30 m<sup>3</sup>, listas com mais de 96 espécies são inexequíveis. Nos demais casos, é possível gerar estratégias de exploração, combinando todas as espécies de interesse comercial consideradas (97 espécies). A redução no valor máximo possível da receita por hectare continua pequena (aproximadamente 7,0% a menos no pior cenário: 94 espécies exploradas para uma carga mínima de 40 m<sup>3</sup>).

| Simulação envolvendo a UMF3                                                      |                   |                                 |                          |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 15 espécies exigidas na lista e regra de 30m <sup>3</sup> para compor uma carga. |                   |                                 |                          |                   |
| Volume de corte máximo (m <sup>3</sup> /ha), V*:                                 | 30,00             | Área da UPA (ha):               |                          | 515,36            |
| Indicador A7 (Spp exploradas), S*:                                               | 15                | Carga mínima (m <sup>3</sup> ): |                          | 30                |
| Receita (R\$/ha):                                                                | 3.391,26          | Espécies e volume explorados:   | 15 spp                   | 30 m <sup>3</sup> |
| Espécie                                                                          | % Explorado da Sp | % do Total                      | Volume (m <sup>3</sup> ) | Valor             |
| Cumaru                                                                           | 100,0%            | 27,36%                          | 8,21                     | 120,00            |
| Massaranduba                                                                     | 100,0%            | 25,96%                          | 7,79                     | 120,00            |
| Maparajuba                                                                       | 100,0%            | 10,36%                          | 3,11                     | 120,00            |
| Jatobá                                                                           | 100,0%            | 7,02%                           | 2,11                     | 120,00            |
| Pequiá                                                                           | 63,0%             | 6,43%                           | 1,93                     | 90,00             |
| Pequiarana                                                                       | 100,0%            | 3,84%                           | 1,15                     | 90,00             |
| Sucupira-amarela                                                                 | 100,0%            | 3,51%                           | 1,05                     | 90,00             |
| Muiracatiara                                                                     | 100,0%            | 3,09%                           | 0,93                     | 120,00            |
| Tuari-vermelho                                                                   | 100,0%            | 3,07%                           | 0,92                     | 90,00             |
| Angelim-Vermelho                                                                 | 100,0%            | 2,80%                           | 0,84                     | 120,00            |
| Ripeiro                                                                          | 100,0%            | 2,73%                           | 0,82                     | 90,00             |
| Louro-aritú                                                                      | 100,0%            | 2,25%                           | 0,68                     | 90,00             |
| Cumaru-do-brejo                                                                  | 100,0%            | 0,98%                           | 0,29                     | 90,00             |
| Angelim                                                                          | 100,0%            | 0,39%                           | 0,12                     | 90,00             |
| Andiroba                                                                         | 100,0%            | 0,21%                           | 0,06                     | 120,00            |

| Simulação envolvendo a UMF3                                                     |                   |                                 |                          |                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 40 espécies exigidas na lista e regra de 30m <sup>3</sup> para compor uma carga |                   |                                 |                          |                   |
| Volume de corte máximo (m <sup>3</sup> /ha), V*:                                | 30,00             | Área da UPA (ha):               | 515,36                   |                   |
| Indicador A7 (Spp exploradas), S*:                                              | 40                | Carga mínima (m <sup>3</sup> ): | 30                       |                   |
| Receita (R\$/ha):                                                               | 3.381,94          | Espécies e volume explorados:   | 40 spp                   | 30 m <sup>3</sup> |
| Espécie                                                                         | % Explorado da Sp | % do Total                      | Volume (m <sup>3</sup> ) | Valor             |
| Cumaru                                                                          | 100,0%            | 27,36%                          | 8,21                     | 120,00            |
| Massaranduba                                                                    | 100,0%            | 25,96%                          | 7,79                     | 120,00            |
| Maparajuba                                                                      | 100,0%            | 10,36%                          | 3,11                     | 120,00            |
| Louro-preto                                                                     | 100,0%            | 7,06%                           | 2,12                     | 90,00             |
| Jatobá                                                                          | 100,0%            | 7,02%                           | 2,11                     | 120,00            |
| Pequiarana                                                                      | 100,0%            | 3,84%                           | 1,15                     | 90,00             |
| Jutaí-pororoca                                                                  | 100,0%            | 3,63%                           | 1,09                     | 90,00             |
| Muiracatiara                                                                    | 100,0%            | 3,09%                           | 0,93                     | 120,00            |
| Angelim-Vermelho                                                                | 100,0%            | 2,80%                           | 0,84                     | 120,00            |
| Louro-aritú                                                                     | 100,0%            | 2,25%                           | 0,68                     | 90,00             |
| Cumaru-do-brejo                                                                 | 100,0%            | 0,98%                           | 0,29                     | 90,00             |
| Andiroba                                                                        | 100,0%            | 0,21%                           | 0,06                     | 120,00            |
| Angelim-pedra                                                                   | 1,4%              | 0,20%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Abiurana-ferro                                                                  | 14,4%             | 0,19%                           | 0,06                     | 50,00             |
| Marupá                                                                          | 7,8%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Cupiúba                                                                         | 1,1%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Jarana                                                                          | 26,0%             | 0,19%                           | 0,06                     | 50,00             |
| Angelim                                                                         | 49,7%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Sucupira-amarela                                                                | 5,5%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Sucupira-preta                                                                  | 49,4%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Tauari-branco                                                                   | 18,7%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Tauari-vermelho                                                                 | 6,3%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Ucuúba                                                                          | 22,1%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Ucuúba-branca                                                                   | 39,8%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Violeta                                                                         | 64,6%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Virola                                                                          | 46,0%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Jutaí                                                                           | 22,9%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Louro-amarelo                                                                   | 30,4%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Louro                                                                           | 69,2%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Louro-porco                                                                     | 90,9%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Louro-fofo                                                                      | 64,6%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Ripeiro                                                                         | 7,1%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Itaúba                                                                          | 1,0%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Pequiá                                                                          | 1,9%              | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Louro-gamela                                                                    | 25,2%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Cumarurana                                                                      | 15,0%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Cubarana                                                                        | 32,7%             | 0,19%                           | 0,06                     | 50,00             |
| Louro-canela                                                                    | 16,3%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Preciosa                                                                        | 37,1%             | 0,19%                           | 0,06                     | 90,00             |
| Seringa                                                                         | 13,5%             | 0,19%                           | 0,06                     | 50,00             |

## Conclusions

Work in progress

## Acknowledgements

Work in progress

---

### References

- Bauch, S.; Sills, E.; Rodriguez, L.C.E; McGinley, K. & Cubbage, F. 2009 Forest Policy Reform in Brazil. *Journal of Forestry*, April/May, v. 107, n. 3: 132-138.
- Veríssimo, A.; Cochrane, M.A.; Souza Jr., C. & Salomão, R. 2002. Priority areas for establishing national forests in the Brazilian Amazon. *Conserv. Ecol.* 6(1):4. Available online at [www.consecol.org/vol6/iss1/art4/](http://www.consecol.org/vol6/iss1/art4/); last accessed Mar. 2009.