



## QUANTIFICAÇÃO DE UM SERVIÇO ECOSISTÊMICO: MODELAGEM ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE BORRACHA NATURAL EXTRAÍDA DA RESERVA CHICO MENDES

Carolina Jaramillo-Giraldo<sup>1</sup>, Britaldo Silveira Soares-Filho<sup>2</sup>

1 Eng. Agrônoma, Est. de doutorado em Meteorologia agrícola, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa-MG, Fone: (0 xx 3191696792), [carolina.giraldo@ufv.br](mailto:carolina.giraldo@ufv.br).

2 Geólogo, Prof. Titular, Depto. De Cartografia, UFMG, Belo Horizonte-MG

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia -02 a06 de setembro de 2013 – Centro de convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** O desenvolvimento de políticas públicas com estimativas explícitas e precisas de valorização dos serviços ecossistêmicos (VSE) em termos ecológicos e econômicos são fundamentais para a preservação da biodiversidade. Este trabalho desenvolveu um modelo ecológico para quantificar o capital natural estoque de Borracha (*Hevea spp*) na reserva extrativista Chico Mendes (RCM). Usando uma base de dados que caracteriza espacialmente a região do alto e baixo rio Acre, além de inovadoras ferramentas estatísticas, simulamos a densidade (árvores/ha) e produtividade (litros/árvore) de borracha natural extraída da floresta nativa. Nosso modelo arrojou uma produtividade potencial total de 300 toneladas de borracha seca para RCM concentrada nas áreas próximas ao município de Xapuri. Considerando que o ato de desmatar é um reflexo da situação econômica do extrator o governo de Acre terá que desenvolver alternativas produtivas sustentáveis nas áreas limítrofes da reserva, especialmente as localizadas entre os municípios de Brasileia e Assis Brasil onde apresenta uma baixa produtividade borracha, produto fundamental para os moradores da RCM por ser uma das principais atividades econômicas.

**PALAVRAS CHAVES:** Capital natural, modelagem espacial, *Hevea spp*.

## MEASUREMENT OF AN ECOSYSTEM SERVICE: SPATIAL MODELLING OF NATURAL RUBBER PRODUCTIVITY EXTRACTED FROM CHICO MENDES RESERVE

**ABSTRACT** The developments of public policies with explicit and accurate estimates of valuation of ecosystem services (VSE) in ecological and economic terms are fundamental to the preservation of biodiversity. This work developed an ecological model to quantify the natural capital stock of Rubber (*Hevea spp*) in the Chico Mendes Extractive Reserve (RCM). Using a database that characterizes the spatial region of the upper and lower river Acre and innovative statistical tools simulate the density (trees / ha) and productivity (liters / tree) natural rubber extracted from native forest regions. Our model threw a yield potential total of 300 tons of dry rubber for RCM concentrated in areas near the city of Xapuri. From the perspective of the act of deforestation is a reflection of the economic situation of forest dwellers, the Acre government will have to develop sustainable productive alternatives in areas bordering the reserve, especially those located between the cities of Brasileia and Assis





Brazil, where rubber has low productivity, this product is key for forest dwellers in the RCM for be one of major economic activities.

**KEYWORDS:** Natural capital, spatial modeling, *Hevea spp.*

## INTRODUÇÃO

A pesquisa nos serviços ecossistêmicos é uma área crescente na investigação nas últimas décadas e se tornou importante, no momento que foi introduzido na economia dos bens e dos serviços. Possivelmente, sua influência esteja relacionada com o paradigma de como a natureza é realmente importante para a sociedade, uma vez que a preservação é observada como algo para o qual, tem-se que sacrificar o bem-estar (Liu et al., 2010)

A floresta úmida amazônica e os serviços ecossistêmicos que oferece à sociedade sofrem ameaça antrópica constante. Alta taxa de desflorestamento tem sido observada afetando sua integridade e sua sustentabilidade ecológica (Killeen, 2007 e Foley et al., 2007).

O desenvolvimento de políticas públicas sustentáveis com estimativas claras de valorização dos serviços ecossistêmicos (VSE) são fundamentais para a preservação da biodiversidade. Os praticantes da VSE argumentam que na medida em que as valorações dos ecossistemas sejam explícitas e precisas, em termos ecológicos e econômicos serão melhores as escolhas ou tomada de decisões políticas e/ou de escolhas de mercado (Liu et al, 2010); em especial, as decisões relacionadas com os ecossistemas que tem conflitos entre a conservação e o desenvolvimento econômico.

O Acre, terra de Chico Mendes, é um dos estados que tem formulado e executado políticas públicas ambientais para conservação da floresta amazônica; com a finalidade de auxiliar essas decisões este trabalho desenvolveu um modelo ecológico para quantificar o capital natural que é estoque de Borracha mediante a simulação da densidade e a produtividade de seringueira (*Hevea spp.*).

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizamos nas regiões do alto e baixo rio Acre que possuem uma área de 3.815.068 ha e localiza-se a maior parte da reserva extrativista Chico Mendes e as principais estradas e rodoviárias do estado.

**Base de dados.** A base de dados utilizada na pesquisa foi proveniente de diferentes fontes. A empresa de consultoria ambiental TECMAN - Tecnologia e Manejo Florestal - forneceu para esta pesquisa, 152 Planos Operativos Anuais (POAs), realizados entre os anos de 2009 até 2012, tendo sido selecionadas 329 unidades de trabalhos (UTs) de diferentes dimensões, representando uma área total de 4148 ha distribuída pelas regiões de estudo. Os dados obtidos foram as coordenadas  $x$  e  $y$  de cada árvore, seu diâmetro a 1,3 m de altura ( $DAP$ ), a altura comercial ( $H$ ), a qualidade do fuste e atributos como o nome do proprietário e tipo de floresta. As variáveis espaciais biofísicas foram obtidas do Zoneamento ecológico - econômico do Acre (2006), da Agencia Nacional das Aguas do Brasil (atualização mais recente 2010) e da Nasa -Shuttle Radar Topograhly Mission (2000).

As informações climáticas foram extraídas dos layers de superfície interpolada disponíveis em Worldclim ( <http://www.worldclim.org> ).





Para estimar a produtividade usamos dados observados de coletas de látex em litros\*(árvore\*semana)<sup>-1</sup> realizado em nove unidades produtivas (estrada de seringueira). A colheita dos dados foi realizada no ano de 2009. Complementamos a informação com a coleta do diâmetro de cada árvore a uma altura de 1,3 m.

Projetamos os componentes do modelo numa resolução espacial de 6,25 hectares (A dimensão de cada célula 250 x 250 m) e o construímos usando Freeware Dinamica EGO (Environment For Geoprocessing Objects). O software é uma plataforma que contém uma série de algoritmos espaciais complexos para a análise e simulação dos fenômenos espaço-temporais (olhar no <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>).

**Calibração e simulação.** *Passo 1:* Definido o padrão aleatório da ocorrência de *Hevea spp* utilizando a função K Ripley's (Baddeley, 2008). Neste modelo adotamos o método de pesos de evidência baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes (Bonham-Carter, 1994); adaptamos o método para calcular a relação das variáveis espaciais biofísicas e climatológicas ( $B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$ ) com a probabilidade de ocorrência de um evento, neste caso a densidade de seringueira. Produzimos o mapa de probabilidade de acordo com a equação 3 onde seleciona os pixels mais favoráveis de ocorrência de seringueira.

$$P\{\text{pixel} - \text{com} - \text{seringueira}(x,y) | B_1 \cap B_2 \cap B_3 \dots \cap B_i\} = \frac{e^{\sum W^+_{B_i}}}{1 + e^{\sum W^+_{B_i}}} \quad (3)$$

Onde  $P\{\text{pixel com seringueira}(x,y) | B_1 \cap B_2 \cap B_3 \dots \cap B_i\}$  é a probabilidade de ocorrência de um pixel com uma densidade de seringueira, dada a existência das variáveis explicativas  $B_1, B_2, B_3, \dots, B_i$  em uma localidade representada pelo pixel  $(x,y)$  e  $W^+_{B_i}$  é o coeficiente de peso de evidência de um intervalo  $n$ . Quanto maior o valor do coeficiente, mais forte a associação da variável explicativa com a ocorrência de pixel com seringueira. Coeficientes negativos indicam um efeito inibitório, enquanto que os valores próximos de zero apresentam associação igualmente influenciada para as variáveis explicativas.

Simulamos a densidade da seringueira utilizando o mapa de probabilidade e duas funções de probabilidade de densidade (fdp). Para as áreas que tiveram uma probabilidade menor de 0.8 assinamos a função de função Weibull e para as maiores de 0.8 LogNormal.

*Passo 2:* Foi estimado um modelo alométrico (equação 4) para relacionar a produtividade em litros por árvore (litros/árvore) com o diâmetro a uma altura de 1,3 metros (DAP) dos 738 indivíduos de *Hevea spp* que conformam as nove unidades produtivas

$$P = dB_0 + \xi_i \quad (4)$$

Em que o  $P$  é a produção de látex por litros/árvore,  $d, \xi_i$  são os parâmetros do modelo,  $B_0$  é o diâmetro a 1,3 m de altura. Posteriormente atribuímos a produtividade em litros/árvore aos 8707 árvores das 244 unidades do manejo florestal usando o DAP.

Elaboramos o mapa de probabilidade da produtividade usando o mesmo procedimento descrito no passo 1. Com o mapa de probabilidade e duas funções de probabilidade de densidade (fdp) simulamos a distribuição da produtividade. Os dois PDF usados foram o logNormal para os pixels que possuíam uma probabilidade menor de 0.6 e para as maiores foi assinado uma distribuição de Weibull.

*Passo 3:* Multiplicamos os mapas de densidade (árvores/ha) e produtividade (litros/árvore) simulados para nossa regiões de estudo para obter o mapa de produtividade espacial em litros\*ha<sup>-1</sup> e logo transformamos, em quilos/ha, utilizando um coeficiente de conteúdo de borracha seca DRC (Dry Rubber content) do 53%.





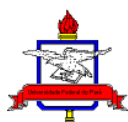
**Verificação.** Aos dados médios da densidade (árvores/ha) e produtividade (litros/árvore) simulada foram comparados com os dados observados nas unidades de trabalho do inventário florestal usadas neste modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

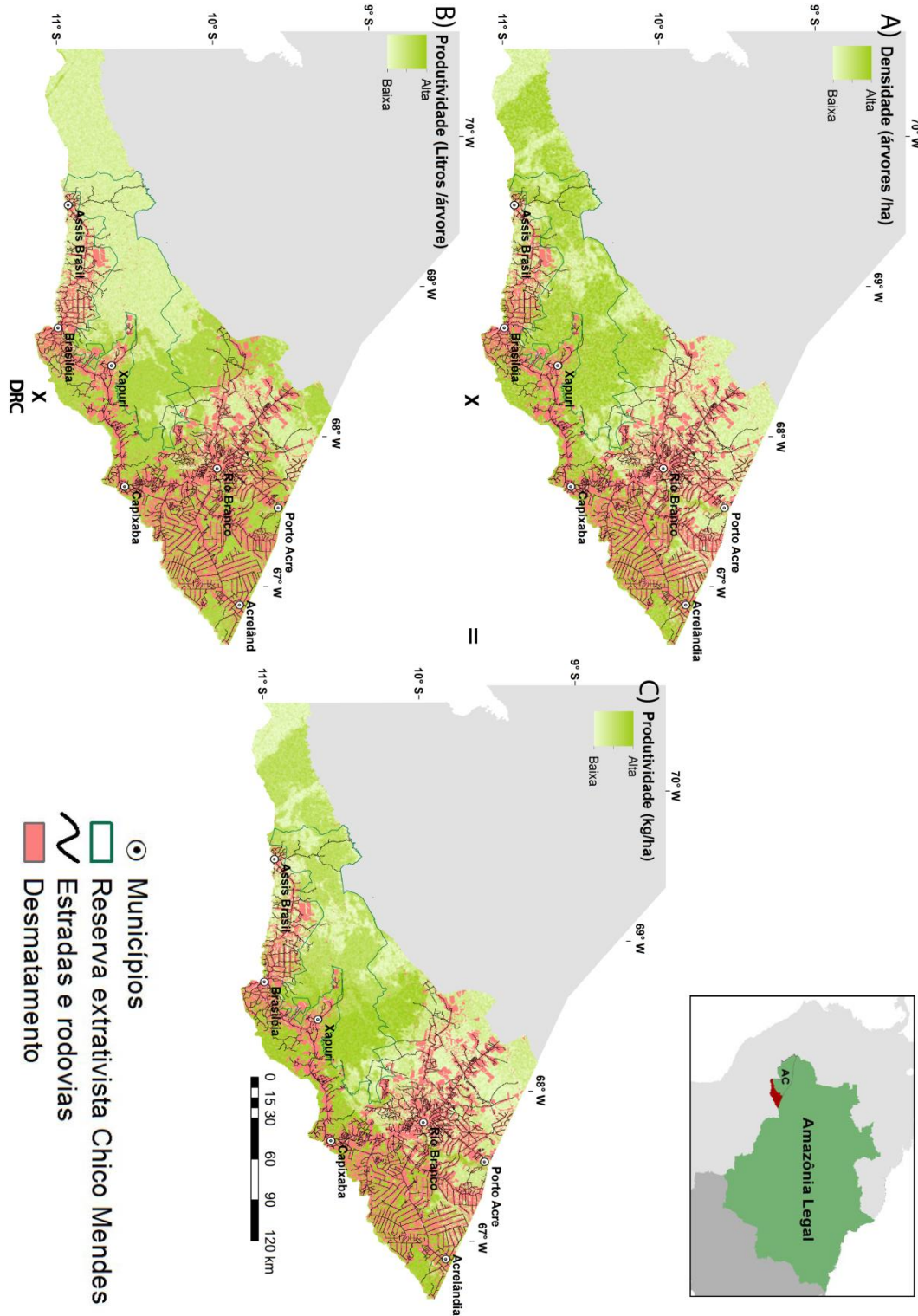
A densidade e a produtividade (litros/árvore) simuladas apresentam diferenças na sua distribuição espacial tendo áreas com altas densidades e baixa produtividade e vice versa (Figura 1A). Na região do baixo rio Acre ( $1,44 \pm 1,13$ ) tem uma densidade menor em relação à alto rio Acre ( $1,77 \pm 0,75$ ) e na Reserva Chico Mendes (RCM) tem zonas que apresentarem uma densidade representativa em torno de  $2,38 \pm 1,33$  árvores/ha.

Por outro lado, a simulação da produtividade (litros/árvore) favoreceu as áreas contíguas das principais rodovias que na sua maioria estão localizadas na região do baixo rio Acre ( $2,43 \pm 0,73$  litros/árvore) e dentro da RCM, nesta mesma região, foram observados valores similares nas zonas limítrofes (Figura 1B).

Essas áreas se caracterizam por ter um alto grau de antropização ou presença de clareiras representativas no meio da floresta, que permitem maior incidência da radiação solar sobre a superfície. A produtividade da seringueira é governada pela fotossíntese (Rodrigo, 2007).







**Figura 1.** Simulação da distribuição espacial: (Mapa A) Densidade (árvores/ha) a qual foi multiplicado pela produtividade de (litros/árvore) (Mapa B) vezes um conteúdo de borra seca do (53%



) para obter a produtividade (kg/ha) ( Mapa C).

Plantas de seringueira crescendo em diferentes níveis de sombreamento natural foram comparadas com o controle cultivado a plena exposição solar. O diâmetro, altura, matéria seca total (kg) e taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> foram maiores nas plantas não sombreadas em comparação às sombreadas. Essa diferença incrementa a medida que o nível de sombreamento se intensifica (Senevirathna et al., 2003).

Os resultados da simulação da densidade e produtividade média superestimaram os valores observados médios nas unidades de trabalho do inventário florestal, as quais foram usadas para o modelo num 21,6% e 31,8% respectivamente. Por outro lado, valores simulados para as duas regiões foram similares em relação aos observados nas UT.

Neste estudo foi usada toda informação já existente além de informações obtidas no campo, para simular e obter o potencial de produção nas áreas de interesse, como a Resex Chico Mendes, onde os dados relacionados aos aspectos ecológicos da *Hevea spp* são escassos ou nulos

Nosso modelo arrojou uma produtividade potencial total de 300 toneladas de borracha seca para RCM concentrada nas áreas próximas ao município de Xapuri (Figura 1C). Considerando que o ato de desmatar é um reflexo da situação econômica do extrator o governo de Acre terá que desenvolver alternativas produtivas sustentáveis nas áreas limítrofes da reserva, especialmente as localizadas entre os municípios de Brasileia e Assis Brasil onde apresenta uma baixa produtividade borracha, produto fundamental para os moradores da RCM por ser uma das principais atividades econômicas.

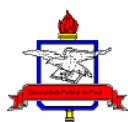
## CONCLUSÕES

O fornecimento do serviço muda em seus processos ecológicos, na magnitude, nos benefícios e nos custos através do espaço e do tempo; informação fundamental para o processo de valoração (Fisher et al., 2011). O fornecimento de borracha pode ser afetado na medida em que bioregião amazônica sofre perturbações influenciando nos serviços ecossistêmicos fundamentais para a sociedade.

A valoração do estoque de borracha modelada neste trabalho será um registro inicial do capital natural da Reserva extrativista Chico Medes. Registro fundamental para entender os limites do capital como também a resiliência dos ecossistemas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADDELEY, A., TURNER, R. Spatstat: an R package for analyzing spatial point patterns. *Journal of statistical software* 12, 1–42, 2005.
- BONHAM-CARTER, G. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Pergamon press, 1994.
- FISHER, B., BATEMAN, I., TURNER, K.R. Valuing Ecosystem Services: Benefits, Values, Space and Time. Ecosystem services economics (ESE) working paper series, Division of Environmental Policy Implementation, *Paper* n<sup>o</sup> 3. 2011.
- FOLEY, J.A., ASNER, G.P., COSTA, M.H., COE, M.T., DEFRIES, R., GIBBS, H.K., HOWARD, E.A., OLSON, S., PATZ, J., RAMANKUTTY, N. Amazonia revealed: forest





**XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA  
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia**  
*Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013*  
**Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade  
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**



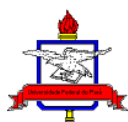
degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5, 25–32, 2007.

KILLEEN, T.J. A perfect storm in the Amazon wilderness. *Adv. Appl. Biodivers. Sci* 7, 1–102, 2007.

LIU, S., COSTANZA, R., FARBER, S., TROY, A. Valuing ecosystem services. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1185, 54–78, 2010.

RODRIGO, V.H.L. Ecophysiological factors underpinning productivity of *Hevea brasiliensis*. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 245–255, 2007.

SENEVIRATHNA, A., STIRLING, C.M., RODRIGO, V.H.L. Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiology* 23, 705–712, 2003.



Secretaria do XVIII Congresso Brasileiro e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia – 2013  
Rua Augusto Corrêa, 01. Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto  
CEP 66075-900 Guamá. Belém - PA - Brasil  
<http://www.sbagro.org.br>

