

**Universidade Federal de Minas Gerais**  
**Instituto de Geociências**  
**Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

**Felipe Santos de Miranda Nunes**

**Valoração florestal através de modelagem da rentabilidade da extração de castanha-do-brasil em *Madre de Dios, Peru***

**Belo Horizonte**

**2010**

Felipe Santos de Miranda Nunes

**Valoração florestal através de modelagem da rentabilidade da  
extração de castanha-do-brasil em *Madre de Dios, Peru***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho

Co-orientador: Ricardo Alexandrino Garcia

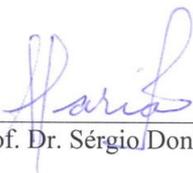
Belo Horizonte  
Instituto de Geociências da UFMG  
2010

Dissertação defendida e aprovada, em 05 de março de 2010, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



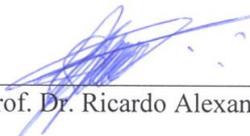
---

Prof. Dr. Britaldo Silveira Soares Filho



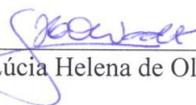
---

Prof. Dr. Sérgio Donizete Faria



---

Prof. Dr. Ricardo Alexandrino Garcia



---

Dra. Lúcia Helena de Oliveira Wadt

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Britaldo Silveira Soares Filho, orientador dessa dissertação, pela oportunidade e confiança no meu trabalho. Agradeço a compreensão pelos momentos ausentes decorrentes de minha atual vida profissional.

Ao Ricardo Alexandrino pela co-orientação.

A todos os colegas do Centro de Sensoriamento Remoto, pelo privilégio de participar de uma equipe dedicada e competente, cuja ajuda foi de fundamental importância para a conclusão deste trabalho.

Aos professores e colegas da Pós-Graduação por todo o aprendizado

A Fernanda, minha noiva, pelo apoio e companheirismo ao longo dessa jornada.

A minha família, pelas palavras de incentivo e dedicação.

## SUMÁRIO

<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....</b>	<b>1</b>
<b>ARTIGO .....</b>	<b>2</b>
Resumo .....	3
1. INTRODUÇÃO .....	4
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
2.1. Geral.....	9
2.2. Base de dados.....	10
2.3. Simulação da distribuição espacial .....	11
2.4. Alocação da produtividade.....	12
2.5. Calculo da rentabilidade.....	14
2.6. Validação .....	16
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>20</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>22</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>26</b>

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Diante do debate das mudanças climáticas e do desmatamento das florestas tropicais, muitas iniciativas estão sendo propostas para evitar a emissão de carbono pela conversão destas áreas, utilizando-se a abordagem de pagamento pelos serviços ambientais decorrentes da preservação destes ecossistemas. Nesse contexto, destacam-se os projetos REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), que propõem alternativas para a valoração da floresta em pé por meio de pagamento pela redução de emissões de gases de efeito estufa por desmatamento.

A exploração de castanha-do-brasil, assim como de outros produtos florestais não madeireiros, muitas vezes não tem seu papel devidamente reconhecido como potencial mecanismo efetivo de redução de emissões de carbono em projetos REDD. Diante desta situação, a atividade extrativista pode vir a ser contemplada, representando assim excelente alternativa complementar para valoração da floresta. Os recursos provenientes de projetos REDD poderiam ser investidos nas cadeias produtivas da castanha-do-brasil, diminuindo os gargalos da produção e infraestrutura e fortalecendo as comunidades rurais. Para mensuração destes benefícios adicionais faz-se necessário a realização de diagnósticos e estimativas de rentabilidade para as áreas de exploração. No entanto, estes estudos muitas vezes são dificultados em regiões onde não há disponibilidade de informações completas a respeito da produtividade e rentabilidade da atividade extrativista. Em virtude desta indisponibilidade de dados, principalmente para extensas áreas com potencial para extrativismo, é necessário o desenvolvimento de estratégias e metodologias capazes de prover estimativas do potencial produtivo e geração de renda para as comunidades locais.

No presente estudo, a partir da elaboração de um modelo de simulação espacialmente explícito, buscou-se fornecer informações para avaliação do potencial econômico e valoração da floresta, com base no extrativista usuário da terra, integrando aspectos da produtividade e rentabilidade da exploração de castanha-do-brasil em *Madre de Dios*, Peru, como estudo de caso, devido à importância econômica e social da atividade para grande parte da população desta região.

Este trabalho é requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais. Optou-se pela dissertação em forma de artigo a ser submetido a periódicos científicos, de acordo com as especificações presentes no regulamento.

**Valoração florestal através de modelagem da rentabilidade da extração de castanha-do-brasil em *Madre de Dios, Peru***

Felipe Santos de Miranda Nunes<sup>1</sup>

Britaldo Silveira Soares-Filho<sup>1</sup>

Hermann Oliveira Rodrigues<sup>1</sup>

1 Centro de Sensoriamento Remoto, Universidade Federal de Minas Gerais Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais, 31270-900, Brazil

## RESUMO

A exploração da castanha-do-brasil em regiões com vocação para o extrativismo tem sido apontada como uma estratégia para conciliar desenvolvimento sustentável e preservação de ecossistemas florestais na Amazônia. A importância econômica da venda da castanha para as comunidades rurais reforça o potencial do extrativismo como uso econômico florestal sustentável. Este estudo busca valorar a floresta do Departamento de *Madre de Dios*, Peru, estimando a rentabilidade potencial da extração e comercialização de castanha-do-brasil, com base no usuário da terra, sob diferentes cenários de preços e manejos, através de um modelo espacialmente explícito, que integra parâmetros de distribuição espacial, produtividade e variáveis econômicas da cadeia produtiva da castanha-do-brasil para a região. Estimou-se uma produção média anual de 16,31 mil toneladas de castanha com rentabilidade potencial anual de \$3,71 milhões a \$10,23 milhões de acordo com o tipo de produção de castanha (com casca, beneficiada e certificada), o que representaria um retorno aproximado de até \$10.20 por hectare para produção de castanha certificada (com base nos preços médios de 2008) para as regiões de concessões de castanha-do-brasil em *Madre de Dios*, que abrangem uma área de aproximadamente 1 milhão de hectares. Projetos REDD poderiam ser uma fonte promissora de recursos para investir na cadeia de castanha-do-brasil certificada, o que agregaria mais valor e elevaria a rentabilidade do usuário da terra.

**Palavras-chave:** castanha-do-brasil, valoração florestal, distribuição espacial, produtividade, rentabilidade

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, grande interesse tem se dado à promoção de exploração de produtos florestais não madeireiros (PFNM) como estratégia viável para conservação de florestas tropicais primárias e desenvolvimento de comunidades rurais (Nepstad e Schwartzman, 1992; Boot et al., 1995; Arnold e Perez, 2001). Dentre os PFNM, a castanha-do-brasil destaca-se pela existência de um mercado internacionalmente estabelecido, sendo a única semente comercializada colhida exclusivamente em florestas naturais (Clay, 1997; Peres et al., 2003). Além da importância no contexto internacional, a castanha-do-brasil apresenta grande participação na renda de diversas comunidades rurais e tradicionais que vivem nas florestas de diferentes países amazônicos (Mori e Prance, 1990; Willians e Wilson, 1999; Simões, 2003). Somente a região norte da Bolívia exporta atualmente em média \$70 milhões anuais (cerca de 50% da produção global) (Killeen, 2007). Historicamente, a coleta e processamento da castanha-do-brasil tinham como centro a região leste amazônica, onde tem sido comercialmente explorada desde meados de 1600 (De Souza, 1963). No entanto, nas últimas décadas, estas áreas estão perdendo espaço para as coletas comerciais em larga escala existentes na região da fronteira tri-nacional, conhecida como MAP (Peres et al., 2003), por envolver os departamentos de *Madre de Dios*, no Peru, Pando na Bolívia e o estado do Acre no Brasil, onde atualmente a castanha-do-brasil é o PFNM mais importante.

A árvore da castanha-do-brasil ou castanheira (*Bertholletia excelsa*) é uma árvore dominante, ocupando a parte superior do dossel (podendo chegar a 40-50m de altura), de longa vida, que ocorre nas áreas não inundáveis (terra firme), frequentemente encontrada em agrupamentos de 20 a 50 hectares contendo de 50 a 300 indivíduos (Mori e Prance, 1990). Com, média aproximada de uma árvore adulta por hectare, estudos têm sugerido a existência de aglomerações (clusters) de castanheiras como característica da distribuição espacial da espécie, com grandes variações de densidade (Zuidema e Boot, 2002; Peres et al., 2003; Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007).

A castanheira produz frutos anualmente, podendo apresentar grande variação de produção entre as árvores e também de uma mesma árvore de um ano para outro. No entanto, a média da população não apresenta expressiva variação temporal (Zuidema e Boot, 2002; Kainer et al., 2007). De seus frutos de pericarpo extremamente rígidos são extraídas as sementes, chamadas de castanha-do-brasil (cerca de 15 a 25 sementes por fruto) (Ortiz, 2002), as quais podem então ser comercializadas com casca ou sem casca nos mercados locais ou internacionais. Em condições naturais, os frutos não são abertos com facilidade, trabalho este realizado

principalmente por cutias (*Dasyprocta* spp.), que são capazes de abrir orifícios no espesso pericarpo liberando as sementes para dispersão das castanheiras (Zuidema, 2003).

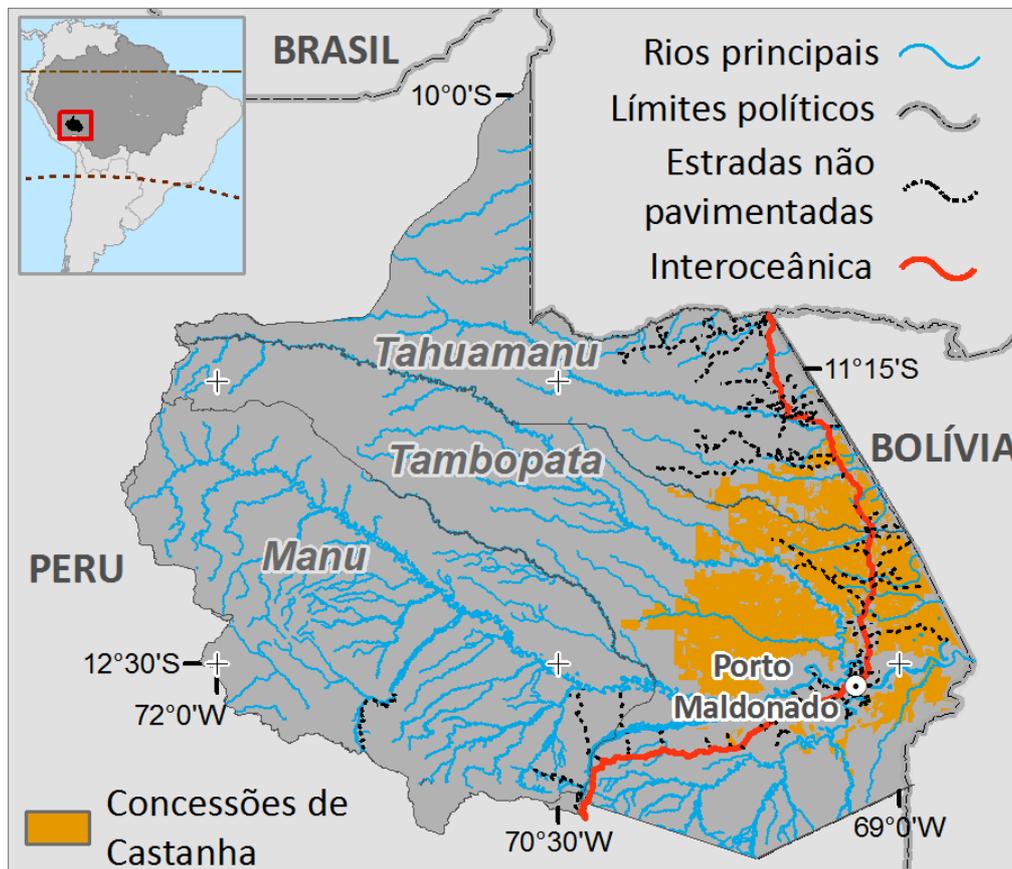
A regeneração natural e produção de frutos dependem diretamente do bom estado de conservação do ecossistema florestal em que ocorrem as castanheiras, o qual permite a polinização e queda dos frutos (Mori e Prance, 1990; Zuidema e Boot, 2002; Zuidema, 2003; Wadt et al., 2005). A regeneração dos castanhais, como são chamadas as extensas áreas de floresta primária com aglomerações de castanheiras, é um tema controverso na literatura. Diversos autores consideram que a coleta para fins comerciais praticada pelos extrativistas não compromete o recrutamento de árvores juvenis e a regeneração das populações naturais de castanheiras, sendo a atividade considerada sustentável, no mínimo por mais algumas décadas (Viana et al, 1998; Zuidema, 2003; Wadt et al., 2008). No entanto, alguns autores têm apontado que a coleta intensiva para algumas regiões pode comprometer a renovabilidade do recurso (Peres et al., 2003).

Em *Madre de Dios*, Peru, onde a densidade natural de populações de castanheiras permite a extração comercial em extensas áreas, a castanha é a base de uma importante cadeia produtiva exportadora, promovendo simultaneamente a conservação de extensas áreas florestais e geração de renda para as comunidades que ali residem (Clay, 1997; Zuidema e Boot, 2002).

A coleta, beneficiamento, transporte e comércio empregam cerca de 30.000 pessoas no departamento (Collinson et al., 2000; Flores, 2002). A coleta acontece uma vez a cada ano, na época chuvosa (dezembro a março), em concessões outorgadas pelo governo peruano que ocupam uma área correspondente a 12 % do departamento (Figura 1). Essas outorgas garantem o uso da terra aos concessionários e suas famílias, quando devidamente regularizadas e cadastradas no Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). Coletores autorizados, suas famílias e trabalhadores contratados percorrem as trilhas existentes nas concessões para coleta dos frutos no chão da floresta. As sementes então são extraídas e transportadas em sacos de aproximadamente 70 kg (localmente chamados *barricas*) por meio de rios navegáveis, caminhos marginais na floresta e estradas pavimentadas até os centros de armazenamento de intermediários (*centros de acopio*) ou diretamente vendidos para as empresas exportadoras em *Puerto Maldonado*, que utilizam predominantemente o porto de Arequipa, localizado em Lima, para destinação ao mercado internacional.

Em 2007, INRENA, confirmou a existência de cerca de um milhão de hectares de concessões castanheiras em *Madre de Dios*, totalizando mais de 800 concessões

dedicadas a extração de castanha-do-brasil. As concessões variam em tamanho de 200 a 1200 hectares e distribuem-se em duas províncias (Tahuamanu e Tambopata) das três províncias existentes no departamento. A extração também ocorre em áreas de proteção ambiental, como na Reserva Nacional de Tambopata, com ligeira diferença na administração dos direitos de uso da terra.



**Figura 1:** Concessões castanheiras no departamento de *Madre de Dios* e principais vias de escoamento da produção na região.

A maioria dos proprietários das concessões vive fora das áreas de produção. Frequentemente são moradores urbanos em *Madre de Dios*, que trabalham em suas concessões somente durante os meses do período de coleta (3 a 4 meses). O acesso a estes recursos são protegidos pela lei peruana de *Florestas e Fauna Bravia* (Lei No. 273082/ 2002) que permite que os produtores de castanha-do-brasil possam manter suas atividades de coleta, beneficiamento e comercialização. Estas garantias constituem um forte alicerce para a segurança jurídica, sustentabilidade da produção das concessões, e diminuição de riscos inerentes à atividade extrativista para o usuário da terra ou concessionário (Flores, 2009).

Estima-se que a exploração da castanha represente aproximadamente 67% da renda familiar das comunidades relacionadas às áreas de concessões. Isto equivale em média a US\$ 6410ano<sup>-1</sup>por concessão de tamanho médio (de 500 a 800 hectares), uma média de US\$ 534 por mês (Diagnóstico Del Programa Regional de Biocomercio en la Amazônia, 2006). Outro estudo sugere que a exploração de castanha-do-brasil apresenta rentabilidade da ordem de US\$ 7 ano<sup>-1</sup> por hectare (Wunder, 2001). No entanto, estes valores podem variar muito dependendo da densidade e produtividade de castanheiras existentes nas concessões, assim como a flutuação dos preços de venda e custos de transporte, que são influenciados principalmente pelas variações dos preços de exportação, demanda das empresas exportadoras e estado de conservação das vias de escoamento da produção das concessões (Diagnóstico Del Programa Regional de Biocomercio en la Amazônia, 2006).

A castanha-do-brasil coletada pode ser comercializada com casca ou descascada (beneficiada), esta última apresentando maior valor agregado à produção. Contudo, muitos concessionários não possuem a infraestrutura e recursos financeiros necessários para beneficiamento, sendo obrigados a vender os produtos com casca. Existe ainda a certificação da produção para algumas concessões, quando do cumprimento comprovado de padrões para manejo florestal sustentável e comercialização da produção exigidos por normas e padrões internacionais (Forest Stewardship Council, North American Organic Crop Improvement Association) (Flores, 2002, Soldán, 2003), o que contribui para o aumento da renda e da segurança de venda da produção.

Os recursos financeiros obtidos pela venda das sementes coletadas nas concessões constituem importante fonte de renda para os concessionários. No entanto, muitos não têm a comercialização de castanha como sua única fonte de recursos, exercendo outras atividades nos períodos subseqüentes à coleta e venda da produção. Embora a atividade extrativista apresente participação importante na renda, tem sido relatada a ocorrência de atividades potencialmente destrutivas dos castanhais presentes nas concessões, como agricultura e pecuária, como forma de aumento da renda familiar por parte dos pequenos produtores (Escobal e Aldana, 2003).

Apesar da grande vocação para o extrativismo e dependência econômica da coleta da castanha-do-brasil, a região é atualmente palco de grandes investimentos em infraestrutura viária e energia que potencialmente podem acelerar de maneira drástica o desmatamento e conseqüente degradação ambiental dos ecossistemas florestais, dos quais dependem a produção e coleta (Killeen, 2007). Enquanto estes investimentos podem facilitar acesso a áreas mais remotas e facilidades para

escoamento da produção, por outro lado, ameaça acelerar a degradação e desmatamento nas áreas de produção (Wunder, 2001). Apesar da proibição de corte da árvore de castanha-do-brasil (Lei No. 273082/ 2002, Peru), estudos têm mostrado que árvores remanescentes em pastagens apresentam maior chance de não produzir frutos e sofrerem altas taxas de mortalidade (Ortiz, 2005). A partir dessa perspectiva, é importante encontrar opções viáveis que integram a produção de castanha-do-brasil e dos ecossistemas associados para a valorização econômica das florestas, evitando assim a sua conversão para usos tradicionais, como a pecuária e agricultura.

Muitas iniciativas têm sido propostas para frear o avanço do desmatamento por meio de mecanismos econômicos ou pagamento por serviços ambientais em áreas de florestas megadiversas, como em *Madre de Dios*. Maior destaque tem se dado a implementação de projetos REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation), os quais poderiam fornecer incentivos econômicos para prover um arcabouço institucional necessário para evitar emissões de carbono para a atmosfera, oriundas da conversão de florestas em outros usos econômicos.

A maioria dos esforços com foco em projetos que visam o pagamento por serviços ambientais florestais tem se concentrado em estimativas de custos de oportunidade dos usos econômicos praticados nestas regiões, principalmente pecuária, agricultura e extração madeireira (Kremen et al., 2000; Sedjo et al., 2001; Obersteiner et al., 2006; Sohngen and Sedjo, 2006; Kindermann et al., 2006; Vera-Diaz, 2008; Merry et al., 2009, Nepstad et al., 2009). No entanto, tem se levantado questões importantes relacionados a estes projetos pela ausência de ações que possam maximizar outros benefícios da conservação florestal, além de evitar o lançamento de carbono contido nas florestas (Sticker, 2009). No caso específico, os recursos financeiros oriundos de projetos REDD poderiam ser aplicados em ações visando o aumento da geração de renda para os coletores de castanha, como identificação e diminuição dos gargalos do sistema de produção e transporte e aumento do valor agregado dos produtos, fortalecendo, conseqüentemente, o papel das comunidades locais na defesa da floresta. Assim, apesar da exploração de castanha-do-brasil, assim como, outros PFM, muitas vezes não ter seu papel devidamente reconhecido em projetos REDD, esta atividade pode vir a ser contemplada, representando assim excelente alternativa complementar para valoração da floresta em pé.

No presente estudo, buscou-se valorar a floresta em *Madre de Dios*, estimando-se a rentabilidade da exploração de castanha-do-brasil para a totalidade das concessões castanheiras no departamento, como estudo de caso. Com esta finalidade, elaborou-se um modelo espacialmente explícito que integra variáveis

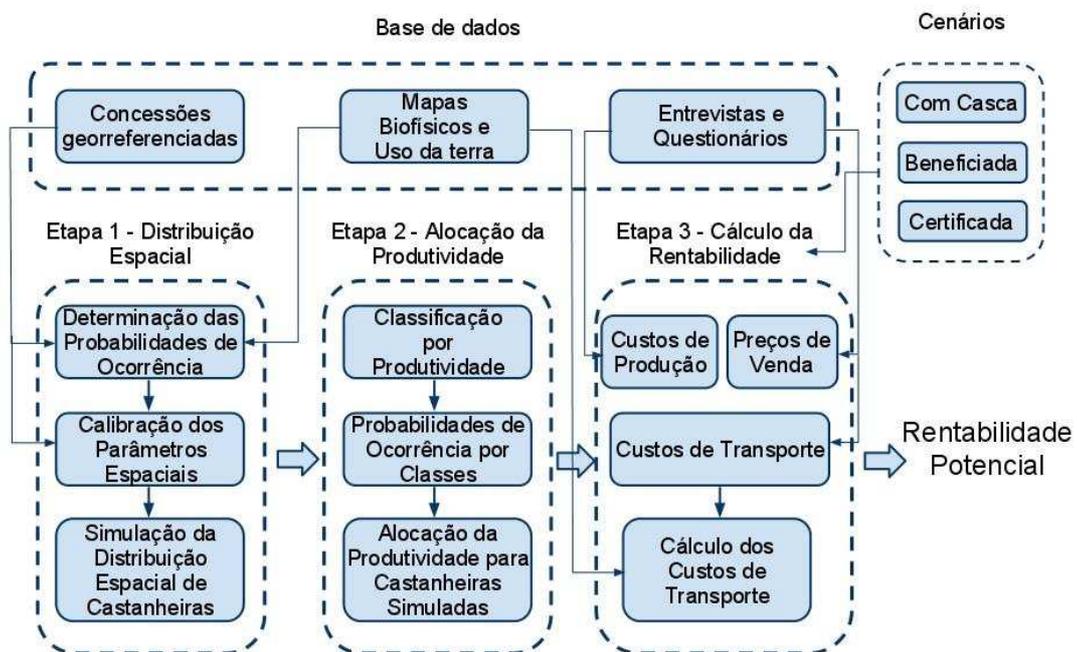
ecológicas e econômicas da atividade extrativista para cálculo da rentabilidade potencial anual com base no usuário da terra.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS:

### 2.1. Geral

O presente estudo estima a rentabilidade potencial da exploração de castanha-do-brasil para as concessões castanheiras de *Madre de Dios*, utilizando um modelo espacialmente explícito que integra variáveis ecológicas e econômicas relacionadas à produção, extração, beneficiamento, transporte e venda de castanha. Com esta abordagem buscou-se calcular a rentabilidade potencial líquida por hectare deduzindo-se os custos totais de coleta, beneficiamento e transporte até os pontos de venda mais próximos.

O modelo foi elaborado em três etapas de modo que as três variáveis responsáveis pela rentabilidade fossem abordadas: distribuição espacial de castanheiras, produtividade das áreas e composição dos preços de venda e custos de coleta, beneficiamento, transporte e venda que afetam o cálculo da rentabilidade (Figura 2).



**Figura 2:** Fluxograma de etapas desenvolvidas na modelagem

A primeira etapa corresponde à simulação da distribuição espacial de árvores de castanha-do-brasil para a totalidade das áreas de concessões castanheiras em *Madre de Dios* (Figura 1). A partir da identificação de áreas com maior probabilidade de ocorrência de árvores de castanha-do-brasil e calibração dos parâmetros de agregação espacial, obtidos de amostras selecionadas da região, foram então simuladas as ocorrências de castanheiras para obtenção do mapa de distribuição de castanha-do-brasil. Na próxima etapa, o mapa de distribuição espacial simulado foi utilizado para alocação da produtividade das árvores, com base na classificação das castanheiras em classes produtivas e probabilidades de ocorrência das classes em função da distância a ocorrências já existentes. Na etapa final, o mapa de produtividade resultante foi combinado ao mapa de infraestrutura (estradas, caminhos e rios navegáveis) para cálculo dos custos de transporte, produção e venda dos produtos. Foram considerados três cenários representando os três tipos de produtos derivados das concessões: castanha com casca, castanha sem casca (beneficiada) e castanha com certificação.

A calibração dos parâmetros de distribuição espacial e alocação da produtividade foi realizada a partir da análise do nível de agregação e estatísticas sumárias do padrão espacial das castanheiras presentes nas amostras para as províncias de Tahuamanu e Tambopata (material suplementar). A rentabilidade média por hectare foi calculada para os diferentes cenários, utilizando-se os preços médios do ano de 2008 (Tabelas S4, S5 e S6), observados nos questionários aplicados e planos de manejo disponibilizados pelo INRENA.

A validação foi conduzida a partir da comparação das médias de produtividade das amostras selecionadas com a produtividade total simulada da região e comparação da rentabilidade média final do modelo com fluxos de caixa de planos de manejo disponíveis. Este procedimento foi realizado para verificação das estimativas em relação aos dados de rentabilidade reais para o ano de 2008 declarados nos planos de manejo. Todas as etapas de modelagem foram desenvolvidas na plataforma Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2009), que permite a elaboração de modelos dinâmicos complexos capazes de manipular e combinar algebricamente conjuntos de mapas e variáveis em diferentes formatos. As etapas realizadas, assim como a base de dados utilizada, serão descritas mais detalhadamente nas próximas subseções.

## **2.2. Base de dados**

Dados espaciais, incluindo mapas biofísicos, uso da terra, concessões com castanheiras georreferenciadas e dados gerenciais, como planos de manejo de

concessões, foram adquiridos de instituições governamentais e não governamentais. Dados econômicos complementares (custos de produção e transporte e preços de venda) foram obtidos através de entrevistas e questionários aplicados a integrantes da cadeia produtiva de castanha-do-brasil na região para composição da base de dados a ser utilizada no estudo (Tabela S1).

A partir dos dados georreferenciados de concessões coletados e disponibilizados pelo INRENA e ACCA (*Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazônica*), os quais contêm informações completas de localização, atributos morfológicos e produção de castanha para cada árvore inventariada, foram selecionadas duas amostras. A seleção foi feita a partir da identificação da área contendo o maior número de concessões georreferenciadas em uma área contígua para cada província, resultando em uma amostra para a província de Tahuamanu contendo 5500 árvores georreferenciadas, abrangendo uma área de 6489 hectares e outra para a província de Tambopata, com 3787 árvores georreferenciadas, abrangendo uma área de 9369 hectares.

A base georreferenciada de concessões, que deu origem às amostras utilizadas neste estudo, representa um grande esforço de levantamento de informações espaciais relacionadas à ecologia e exploração de castanha-do-brasil no em *Madre de Dios*, destacando-se pela magnitude do número de árvores amostradas e área percorrida, o que supera em muito o esforço amostral utilizado nos estudos anteriores previamente citados (Zuidema, 2003; Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007; Tonini et al., 2009).

### **2.3. Simulação da distribuição espacial**

Considerando que o padrão de distribuição espacial de árvores pode ser interpretado com um reflexo de processos ecológicos que determinaram sua evolução, a modelagem do padrão espacial de localização dos indivíduos permite a reconstrução desses fatores, (Cale *et al.*, 1989; Cole e Syms, 1999; Belyea e Lancaster, 2002; Cutler *et al.*., 2008; Picard, 2009). Com esta premissa, os parâmetros do padrão de distribuição espacial foram calibrados a partir das amostras e simulou-se a distribuição espacial de castanheiras, em função de probabilidades de ocorrência calculadas, para toda a área de concessões legalmente constituída de *Madre de Dios*, correspondente ao ano de 2008. O mapa de probabilidades de ocorrência de castanheiras calculado, utilizado na simulação, foi elaborado a partir da aplicação de pesos de evidência, método estatístico bayesiano não paramétrico recomendado para modelagem de dados espaciais (Bonham-Carter, 1994; Soares-Filho et al., 2004). Foram combinados

os dados cartográficos (distância a hidrografia, tipo de solo, declividade, tipos de vegetação clima, altitude) (Tabela S2) com dados de ocorrência de castanheiras disponíveis para as concessões com o intuito de se calcular a influência dos determinantes espaciais da ocorrência de castanheiras.

Objetivando simular a existência de áreas mais densas consideradas *hot spots* por estudos anteriores (Ortiz, 2002; Wadt et al, 2005; Kainer et al; 2007), foi utilizado o critério de probabilidade de ocorrência juntamente com os parâmetros do padrão espacial observado das amostras para cada província. Desta maneira, modelou-se o padrão espacial observado a partir do mapa de probabilidade de ocorrência calculado, de modo que as árvores pudessem ser alocadas de acordo com as áreas de maior probabilidade de ocorrência natural, respeitando-se os parâmetros de densidade e agregação, característicos do padrão espacial da espécie, obtidos das amostras. (Tabela S3).

Para calibração dos parâmetros de distribuição espacial avaliou-se o nível de agregação para determinação da distribuição espacial a ser simulada dentre as três opções possíveis (distribuição aleatória, uniforme ou clusterizada) e estatísticas sumárias de padrões pontuais como distância a vizinho mais próximo, função K e função G (material suplementar) para determinação da probabilidade de ocorrência das árvores em função da variável distância. A partir da constatação de distribuição espacial clusterizada obtida das amostras, foram calculados também parâmetros de métrica de paisagem como tamanho médio e desvio padrão das manchas de ocorrências de castanheiras, representadas por células contínuas com ocorrência de castanheiras (resolução de 50m), usando uma função de transição espacial que simula os clusters de castanheiras a partir das probabilidades de ocorrências e quantidade de transições de acordo com a proporção de células, representando o número de castanheiras para uma área de 50m (valor do pixel) das amostras para as diferentes províncias (Soares-Filho et al., 2009).

A partir do mapa de probabilidade de ocorrência inicial elaborado, foram utilizados os parâmetros do padrão espacial, previamente calibrados, para simulação das ocorrências de castanheiras de maneira iterativa, de modo que a ocorrência de castanheiras previamente realizada interferisse na probabilidade de ocorrência das próximas árvores a serem simuladas. A idéia desta abordagem é garantir que a distribuição espacial resultante apresente os valores médios do tamanho de aglomerações de castanheiras, distância entre as árvores e densidade próximos aos valores obtidos das amostras (Tabela S3).

#### **2.4. Alocação da produtividade**

Estudos anteriores observaram grande variação na produção de frutos e sementes de árvores de castanha-do-brasil (Viana et al., 1998; Zuidema e Boot, 2002; Zuidema, 2003; Wadt et al., 2005; Kainer et al., 2007; Wadt et al., 2008). Viana et al. (1998) observaram produção média por árvore de 24 kg com um mínimo de 1,5 kg e um máximo de 105 kg. Wadt et al. (2005) relataram a produção média de 10,28 kg por árvore, e Kainer et al. (2007) monitoraram 140 árvores durante cinco anos com média de 9,3 kg por árvore.

A partir da indicação da grande variabilidade de produtividade destes estudos, Kainer et al (2007) propuseram a utilização de um modelo de regressão para estimar a produtividade baseando-se em variáveis explicativas da variação da produção como: variáveis morfológicas das árvores como diâmetro a altura do peito (DAP) e atributos da copa, fatores climáticos, infestação por cipós, entre outros. Os resultados alcançados por estes autores indicam significativa influência do DAP na produção anual das árvores de castanha-do-brasil, respondendo por mais de 50% da variação da produção. No entanto, apesar de nossas amostras apresentarem número significativo de árvores inventariadas contendo ampla faixa de valores de DAP (Figura S2), o teste de correlação de Spearman realizado para as nossas amostras revelou baixa significância ( $R^2=0,39$ ) da variável morfológica DAP em relação à produção das árvores para o ano de 2008. A partir desta constatação, optou-se por modelar a produtividade das castanheiras a partir da alocação da produtividade em função dos parâmetros espaciais observados nas amostras.

As árvores das amostras foram então classificadas em não produtivas (zero latas, pouco produtivas (de 1 a 3 latas) e muito produtivas (mais de 3 latas)) (uma lata contém aproximadamente 10 quilogramas de castanhas com casca), de maneira semelhante à realizada por Wadt et al. (2005). Os dados de produção das castanheiras amostradas, originalmente expressos em latas (unidade comum de medida nas concessões) representam a quantidade disponível para o extrativista no momento da coleta, desconsiderando-se as sementes carregadas pela fauna ou perdidas. Como próximo passo, foram estimadas as funções acumuladas de probabilidade de ocorrência das diferentes classes produtivas de acordo com a distância a indivíduos previamente classificados (Figuras S7 e S8). Procedimento estatístico similar foi utilizado por Zuidema e Boot (2002) para avaliação da distribuição espacial de frutos e plântulas de castanha-do-brasil em relação a árvores adultas.

As probabilidades de ocorrência, convertidas em coeficientes de pesos de evidência, em função das faixas de distância calculadas para cada classe de produção foram então utilizadas no modelo (Figuras S9 e S10), que foi simulado iterativamente

em dez passos, de modo que a cada passo, o mapa de probabilidades é recalculado com base nas alocações já realizadas. No passo inicial, o modelo aloca uma quantidade mínima da classe produtiva mais frequente de acordo com as amostras (classe pouco produtiva - PP) para subsequente alocação das transições remanescentes. Com este procedimento, a alocação de classes produtivas é simulada de acordo com a distribuição espacial da produtividade das populações naturais observadas das amostras para cada província.

Após a alocação das classes de produtividade para todas as árvores simuladas, as células foram convertidas em quantidade de castanha produzida, de acordo com seu potencial produtivo especificado por classe. Para a classe pouco produtiva, utilizam-se os valores referentes às faixas mínimas e máximas, uma e três latas respectivamente, com o intuito de modelar a produtividade potencial mínima e máxima da classe mais ocorrente. Para a classe muito produtiva utilizou-se os valores médios das amostras devido à existência de grande variação de produtividade dentro da classe (4 a 18 latas) (Figura S2). Para elaboração do mapa de produtividade final, os valores de produção em latas foram convertidos em quantidade de castanha com casca na unidade de quilogramas por hectare, considerando 10 kg de castanha por lata.

## 2.5. Cálculo da rentabilidade

Para se estimar a rentabilidade potencial dos concessionários, foram utilizados três cenários de acordo com o tipo de produto a ser vendido. No primeiro cenário assumiu-se que toda a produção das concessões é vendida como castanha com casca. Os segundo e terceiro cenários assumem 100% a produção vendida de castanha beneficiada (sem casca) e 100% como castanha certificada respectivamente. Portanto para cada cenário, o valor da rentabilidade potencial (Equação 1) foi calculado para cada hectare (célula com resolução 100m x100m), multiplicando-se o valor comercial de venda da produção total da célula, subtraindo-se os custos totais de produção das concessões e custos de transporte até o ponto de venda mais próximo.

$$\text{Equação 1: } RP = Vp_x - Cp_x - Ct_x$$

Onde,

RP= Rentabilidade potencial

Vp<sub>x</sub> = Valor da produção por tipo de produto

Cp<sub>x</sub> = Custo da produção por tipo de produção

$Ct_x$  = Custo de transporte da produção por tipo de produto

### **Cenário 1 – Castanha com casca**

No cenário 1 considera-se que toda a produção de castanha das concessões é vendida sem passar por processo de beneficiamento para secagem e retirada da casca. Neste cenário, o concessionário extrai as castanhas dos frutos coletados e armazena a produção diretamente em galpões para transporte até os *centros de acopio* ou pontos de venda mais próximos. A inexistência de beneficiamento da produção se deve principalmente à falta da infraestrutura requerida no processo, como máquinas para retirada da casca e secadores, além da escassez de recursos para financiar a mão de obra necessária para o beneficiamento.

### **Cenário 2 – Castanha sem casca (beneficiada)**

No cenário 2 assume-se que toda a produção de castanha das concessões é vendida após secagem e retirada da casca dentro das concessões, o que agrega mais valor ao produto final. Neste cenário, pressupõe-se que o concessionário detém a infraestrutura e os recursos financeiros necessários para beneficiamento da totalidade da produção. Resultados das entrevistas e questionários aplicados constataam que, apesar da existência de concessões com produção de castanha com casca, podemos notar um fortalecimento atual de associações de concessionários em *Madre de Dios*, apontando para uma produção de castanha na região, onde a maioria das concessões comercializa 100% de castanha beneficiada.

### **Cenário 3 – Castanha certificada**

Neste cenário considera-se que toda a produção de castanha das concessões é certificada. Atualmente existem três tipos de certificação: Manejo Florestal Sustentável (*Forest Stewardship Council*); Orgânica (*Programa Orgânico de Candela*) e Comércio Justo (*Fair trade*), este último obtendo um acréscimo de aproximadamente 10% no valor final da castanha beneficiada sem certificação de acordo com as entrevistas e questionários realizados (Tabela 2).

As estimativas de custos de transporte foram realizadas utilizando um mapa de superfície de fricção, o qual integra diferentes tipos de vias de escoamento da produção. Os custos foram computados de maneira cumulativa na unidade *dólar/70 kg de produto* para cada vez que se atravessa uma célula representando uma categoria de via de acordo com as modalidades de transporte possíveis (Tabela S6). O custo total de transporte da produção para cada célula é definido pelo caminho que

representa o caminho de menor custo acumulado ou menos custoso para travessia. Todos os valores de custos e preços de venda utilizados no modelo foram obtidos de valores médios de entrevistas e questionários aplicados aos integrantes da cadeia produtiva de castanha-do-brasil, além de planos de manejo de concessões disponibilizados pelo INRENA com base na coleta de 2007-2008. Como resultado final foi elaborado um mapa de rentabilidade potencial de exploração para toda a região contendo a totalidade das concessões castanheiras para *Madre de Dios* para o ano de 2008.

**Tabela 2:** Variáveis econômicas utilizadas no modelo

	<b>C1 - castanha com casca</b>	<b>C2 - castanha beneficiada*</b>	<b>C3 - castanha certificada*</b>
<b>Custos totais de produção (\$/kg)</b>	0,13	0,37	0,37
<b>Preços de venda (\$/kg)</b>	0,37	2,56	2,72
<hr/>			
<b>Custos de transporte (\$/70kg/km)</b>			
**			
<b>Vias de acesso (floresta)</b>	0,23	0,80	0,80
<b>Estradas</b>	0,07	0,21	0,21
<b>Rios</b>	0,03	0,12	0,12
<hr/>			
* fator de conversão: castanha beneficiada ou certificada = 0,286 kg de castanha com casca			
** custos médios das modalidades de transporte existentes (motos, caminhões, tratores, barcos)			

## 2.6. Validação

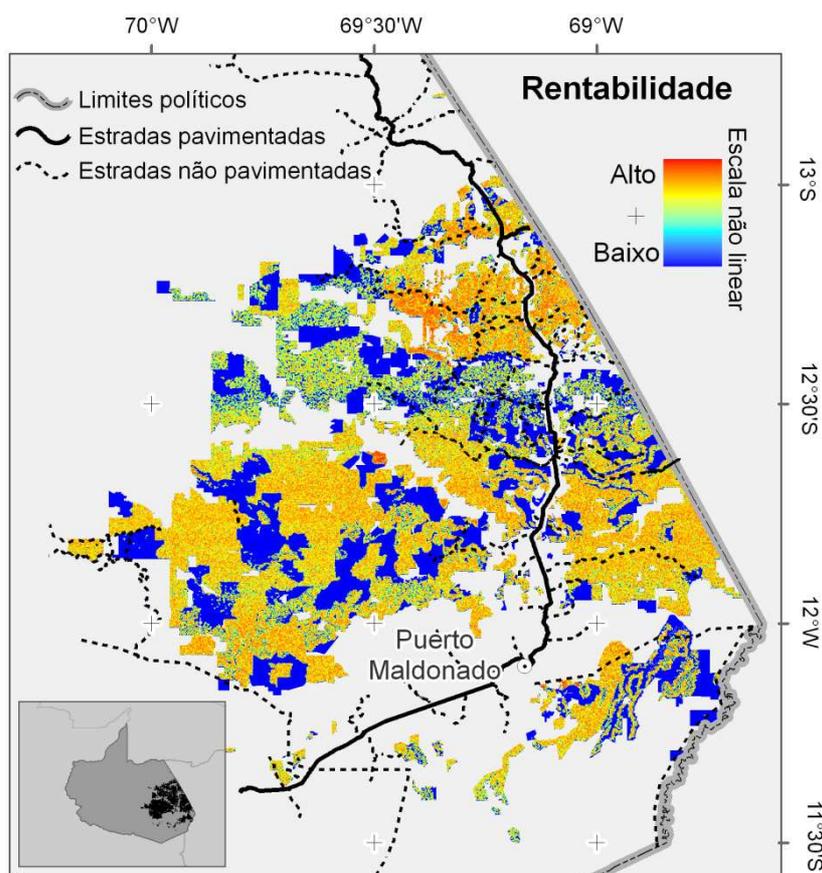
A validação do modelo foi realizada em duas etapas, sendo uma para avaliação dos resultados da simulação da produtividade e a outra para avaliação das estimativas de rentabilidade.

Para avaliação da produtividade, foram comparados os valores médios por hectare obtidos do mapa de produtividade simulado com os valores obtidos das amostras utilizadas.

Para a rentabilidade, foram comparados os valores médios de rentabilidade por hectare do mapa resultante do modelo com os recursos financeiros, exclusivos da exploração de castanha do brasil, declarados em três planos de manejo de concessões castanheiras, disponibilizados pelo INRENA.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estimou-se um total de 16,31 mil toneladas de castanha (com casca) disponíveis para coleta comercial anual em concessões castanheiras de *Madre de Dios*, abrangendo aproximadamente 1 milhão de hectares. A este estoque foram estimadas diferentes rentabilidades associadas de acordo com os cenários avaliados e localização geográfica (Figura 3). Como a produtividade natural das castanheiras é idêntica para os três cenários, a diferença nas estimativas de rentabilidade está associada a alterações de custos e preços de venda de acordo com o tipo de castanha produzida. Os resultados indicam que a exploração de castanha-do-brasil possui rentabilidade positiva para a maioria das áreas de concessões, principalmente nos cenários de venda de castanha beneficiada e certificada. As diferenças de valores de rentabilidade calculadas para os diferentes cenários (Tabela 3) apontam para a importância das atividades de beneficiamento por parte do concessionário, gerando retornos de aproximadamente 2,5 vezes maior por hectare em relação à venda de castanha sem beneficiamento.



**Figura 3:** Distribuição espacial da rentabilidade potencial anual por hectare para os três diferentes cenários. O uso de escala não linear possibilita a visualização do contraste das áreas mais rentáveis e menos rentáveis.

**Tabela 3:** Resultados do modelo

<b>Estimativas</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
Produtividade potencial anual*	16,31 mil toneladas	16,31 mil toneladas	16,31 mil toneladas
Rentabilidade potencial anual**	\$3,71 M	\$9,48 M	\$10,23 M
Rentabilidade por hectare	\$3,67	\$9,45	\$10,20

\* castanha com casca

\*\* milhões de dólares

A produtividade média por hectare para toda a região de concessões variou de 8,13 a 16,33 kg. Os resultados de produtividade do modelo para a região como um todo são bastante satisfatórios quando comparados aos valores médios de produtividade por hectare das amostras (14,71 kg/ha para Tahuamanu e 14,04 kg/ha para Tambopata). A média de produtividade das amostras pode estar subestimada pela ausência de dados de produção fracionários para as árvores amostradas (unidade de produção contendo apenas múltiplos de 10kg), e portanto foi adotado o mapa de produtividade contendo o valor máximo de produção (16,33 kg) como mais adequado.

Como apontado por Flores (2009), nossas estimativas para os custos de transportes indicam que estes podem apresentar participação importante no total de custos da produção (até 20% dos custos totais). Isto ocorre principalmente para áreas afastadas da rodovia principal com venda de castanha sem beneficiamento, onde os altos custos de transporte podem acarretar reduções consideráveis na rentabilidade da atividade de exploração.

Os valores de produtividade por hectare encontrados neste trabalho são superiores a valores encontrados na literatura (Tabela 4), o que pode estar atribuído a influência da magnitude do número amostral de castanheiras utilizadas para calibração do modelo (muito superior a trabalhos anteriores). O mapa de produtividade revelou ainda a presença de regiões mais densas e produtivas, indicando a existência de agrupamentos naturais de castanheiras com alta produtividade (*hot spots*).

**Tabela 4:** Comparação de estudos anteriores com resultados de nosso modelo

	Viana et al., 1998	Zuidema, 2003	Wadt et al., 2005	Kainer et al., 2007	Tonini et al., 2009	Este estudo
Densidade média (árvores/ha)		1,0	1,35	1,35	3,7	0,57
Produtividade média (kg/árvore)	24	10,00	10,28	9,3	8,3	14,16 - 28,43

Apesar de o modelo superestimar em aproximadamente 2 vezes a produtividade para a região amostrada de Tahuamanu e subestimar para a amostra de Tambopata em aproximadamente 1,4 vezes (Tabela 5), os resultados obtidos para toda a região estão dentro da faixa esperada das amostras originais, que podem então serem consideradas representativas da distribuição espacial da produtividade dos castanhais existentes para as áreas de concessões castanheiras de *Madre de Dios*.

**Tabela 5:** Produtividade simulada e produtividade das amostras

	Área total		Amostra para Tahuamanu		Amostra para Tambopata	
	Original	Simulada	Original	Simulada	Original	Simulada
Produtividade (kg/ha)		8,13 - 16,33	14,71	16,33 - 36,44	14,04	6,05 - 11,63

O mapa de rentabilidade revela também a existência de áreas altamente rentáveis, o que podemos associar à combinação de *hot spots* naturais e proximidade a estradas e pontos de venda que se localizam em sua grande maioria próximos a rodovia principal. Os valores médios de rentabilidade por hectare no cenário 2 resultantes do modelo foram satisfatórios comparados aos dados de rentabilidade para o ano de 2008 declarados nos planos de manejo (\$12,01 para concessões localizadas em Tahuamanu e \$9,27 para concessões localizadas em Tambopata, ambas com existência de beneficiamento da produção).

O modelo ainda possui o potencial de incorporar a flutuação de preços na cadeia produtiva e o efeito das mudanças climáticas na produtividade dos castanhais, o que pode apresentar grandes implicações para estimativas de custos e retorno potencial e poderia aumentar os riscos de financiamentos de potenciais projetos e efetividade da sustentabilidade da exploração de castanha-do-brasil (diminuição da produtividade e rentabilidade por variações de pluviosidade e eventos extremos, efeitos de queimadas, etc.). Finalmente, a integração de outras variáveis como a análise de custos de oportunidade das atividades concorrentes da exploração de

castanha-do-brasil deverão ser incorporadas para avaliação da sustentabilidade econômica da atividade em cenários de médio e longo prazo.

#### **4. CONCLUSÕES**

As estimativas de rentabilidade potencial para a exploração da castanha-do-brasil para a região de *Madre de Dios* apontam uma grande oportunidade para uso econômico sustentável combinando preservação ambiental e distribuição de renda.

Os potenciais recursos arrecadados de projetos REDD poderiam ser aplicados em investimentos para provimento de equipamentos e crédito para beneficiamento e certificação (cenários 2 e 3) de toda a produção por parte dos concessionários, além de melhorias da infraestrutura de transportes para escoamento da produção de áreas mais remotas, aumentando assim a geração de renda para os usuários da terra e diminuindo a necessidade de conversão da floresta em práticas econômicas visando à complementação de renda.

Apesar de esse estudo mostrar uma tendência de rentabilidade positiva, são necessárias melhorias para realização de estimativas, em valor presente líquido, com horizontes maiores de tempo, principalmente a inclusão de variáveis relacionadas aos riscos econômicos oriundos da flutuação dos preços e possíveis impactos das mudanças climáticas. Mesmo não incorporando estimativas de médio e longo prazo, a abordagem utilizada neste estudo comprova a potencialidade de uso da modelagem como ferramenta para estimativas de rentabilidade de atividades de exploração de castanha-do-brasil, podendo ser aplicada em outras áreas com presença deste recurso.

Futuramente, custos de oportunidade de outros usos econômicos praticados na região poderão ser integrados com as estimativas de rentabilidade da exploração de castanha-do-brasil, subsidiando assim a implementação de possíveis mecanismos de pagamentos por serviços ambientais e projetos REDD.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnold, J.E.M and Ruiz-Pérez, M., 2001. Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics* 39: 437–447.

Belyea, L.R. & Lancaster, J., 2002. Inferring landscape dynamics of bog pools from scaling relationships and spatial patterns. *Journal of Ecology*, 90, 223–234.

Bonham-Carter, G., 1994. *Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS*. New York, Pergamon, 398 p.

Boot, R. G., Gullison, R. E., 1995. *Ecol. Appl.* 5, 896.

Cale, W.G., Henebry, G.M. & Yeakley, J.A., 1989. Inferring process from pattern in natural communities. *BioScience*, 39, 600–605.

Clay, J.W., 1997. Brazil nuts: The use of a keystone species for conservation and development. In: Freese, C.H. (Ed.), *Harvesting Wild Species: Implications for Biodiversity Conservation*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA, pp. 246–282.

Cole, R.G. & Syms, C., 1999. Using spatial pattern analysis to distinguish causes of mortality: an example from kelp in north-eastern New Zealand. *Journal of Ecology*, 87, 963–972.

Collinson, C., Burnett, D. and Agreda, V., 2000. Economic Viability of Brazil Nut Trading in Peru. Natural Resources Institute, Report 2520 <http://www.nri.org/NRET/brazilnuts.pdf>.

Cutler, N.A., Belyea, L.R. & Dugmore, A.J., 2008 The spatiotemporal dynamics of a primary succession. *Journal of Ecology*, 96, 231–246.

De Souza, A.H., 1963. *Castanha do Pará: estudo botânico, químico e tecnológico*. Estudos Técnicos, 23. Ministério da Agricultura –Serviço de Informação Agrícola, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Diagnóstico Del Programa Regional de Biocomercio en la Amazônia. Lima, 2006

Escobal, J., Aldana, U., 2003. Are nontimber forest products the antidote to rainforest degradation? Brazil nut extraction in *Madre de Dios*, Peru. *World Dev.* 31, 1873–1887.

Flores, P., 2002. Identificación de Indicadores Económicos para Agentes Vinculados al Aprovechamiento del Bosque en Pie: Caso de la Castaña. Lima

Flores, P., 2009. . Policy Options to Promote Ecosystem Service Payments for Brazil Nut Harvesting in Peruvian Amazonia. III Development Conference of the GRESS

Guariguata, M.R.; Licona, J.C.; Mostacedo, B.; Cronkleton, P., 2009. Damage to Brazil nut trees (*Bertholletia excelsa*) during selective timber harvesting in Northern Bolivia. *Forest Ecology and Management* 258 788–793

Kainer, K.A., Wadt, L.H.O., Staudhammer, C.L., 2007. Explaining variation in Brazil nut fruit production. *Forest Ecology and Management* 250, 244–255.

Kainer, K.A., Wadt, L.H.O., Gomes-Silva, D.A.P., Capanu, M., 2006. Liana loads and their association with *Bertholletia excelsa* fruit and nut production, diameter growth and crown attributes. *Journal of Tropical Ecology* 22, 147–154.

Killeen T.J. ,A., 2007. Perfect Storm in the Amazon Wilderness:Development and Conservation in the Context of the Initiative for theIntegration of the Regional Infrastructure of South America (IIRSA). *Advances in Applied biodiversity Science*, 7.

[http://www.conservation.org/publications/Documents/AABS.7\\_Perfect\\_storm\\_English.low.re.s.pdf](http://www.conservation.org/publications/Documents/AABS.7_Perfect_storm_English.low.re.s.pdf)

Kindermann, G.; Obersteiner, M.; Rametsteiner, E.; McCallum, I. 2006. Predicting the deforestationtrend under different carbon-prices *Carbon Balance Management*,  
<http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1766350&rendertype>

Kremen, C. J. O.; Niles, M. G.; Dalton, G. C.; Daily, P. R.; Ehrlich, J. P.; Fay, D. Grewal,; and Guillery, R. P., 2000. Economic incentives for rain forest conservation across scales.*Science*. 288 (5472): 1828-1832.

Merry, F.; Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D.; Amacher, G.; Rodrigues, H., 2009 Balancing Conservation and Economic Sustainability: The Future of the Amazon Timber Industry. *Environmental Management*, EUA, 44 (3): 395-407..

Mori, S.A., Prance, G.T., 1990. Taxonomy, ecology, and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl.: Lecythidaceae). *Advances of Economic Botany* 8, 130–150.

Nepstad, D.C., Schwartzman, S., 1992. Introduction: non-timber products from tropical forests: evaluation of a conservation and development strategy. In: Nepstad, D.C., Schwartzman, S. (Eds.), *Non-Timber Products from Tropical Forests: Evaluation of a Conservation andDevelopment Strategy*. *Advances in Economic Botany* 9, vii–xii.

Ortiz, H., 2002 Brazil nut (*Bertholletia excelsa* H.B.K.). In: SHANLEY, P.; PIERCE, A. R.; LAIRD, S.; SUILLEN, S. A. (Ed). *Tapping the green market: certification and management of nontimber forest products*. London: Earthscan Publications p. 61-74.

Ortiz, E., 2005. *Conservation Biology of Brazil-nut Rich Forests*. Washington: Smithsonian Institution.

Peres, C.A., Baider, C., Zuidema, P.A., Wadt, L.H.O., Kainer, K.A., Gomes-Silva, D.A.P., Salomão, R.P., Simões, L.L., Francisiosi, E.R.N., Valverde, F.C., Gribel, R., Shepard Jr., G.H., Kanashiro, M., Coventry, P., Yu, D.W., Watkinson, A.R., Freckleton, R.P., 2003. Demographic threats to the sustainability of Brazil nut exploitation. *Science* 302, 2112–2114.

N. Picard, A. Bar-Hen, F. Mortier, J. Chadoeuf., 2009 : Understanding the dynamics of an undisturbed tropical rain forest from the spatial pattern of trees. *Journal of Ecology*, 97:1, 97-108.

Obersteiner, M., Alexandrov, G.; Benítez, P. C.; McCallum, I.; Kraxner, F.; Riahi, K.; Rokityanskiy, D.; Yamagata, Y. 2006. Global supply of biomass for energy and carbon sequestration from afforestation/ reforestation activities, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 11: 1003-1021.

Sedjo, R.A., and B. Sohngen., 2007. *Carbon credits for avoided deforestation*. Washington, D.C, Resources for the Future

Sohngen, B., and Sedjo R. 2006. Carbon sequestration in global forests under different carbon price regimes. *Energy Journal*. 109-126.

Simões, A. V., 2003 Impactos de tecnologias alternativas e do manejo da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Humb & Bonpl.) no controle da contaminação por aflotoxinas em sua cadeia produtiva.. 50 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Amazonas, Manaus.

Soares-Filho, BS, Rodrigues, HO, Falieri, A, Costa, WL. Dinâmica EGO Tutorial. 2008 <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica>>

Soares-Filho B, Alencar A, Nepstad D, Cerqueira GC, Vera Diaz M, Rivero S, Solórzano L., 2004. Simulating the Response of Land-Cover Changes to Road Paving and Governance Along a Major Amazon Highway: The Santarém-Cuiabá Corridor. *Global Change Biology*, 10 (7), 745-764.

Stickler, C., Nepstad, D., Coe, M., Macgrath, D., Rodrigues, H., Davidson, E., Soares-Filho, B., 2009 The potential ecological costs and co-benefits of REDD: a critical review and case study. *Global Change Biology*, 15 (12): 2803-2824..

Soldán, 2003. The Impact of Certification on the Sustainable Use of Brazil Nut (*Bertholletia excelsa*) in Bolívia. The Food and Agriculture Organisation of the United Nations Non-Wood Forest Products Programme – Final Draft

Vera-Diaz, M. del C.; R. K. Kaufmann.; D. C. Nepstad.; P. Schlesinger., 2008. An interdisciplinary model of soybean yield in the Amazon Basin: the climatic, edaphic, and economic determinants. *Ecological Economics*. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.07.015.

Viana, V.M., Mello, R.A., Moraes, L.M., de Mendes, N.T., 1998. Ecologia e manejo de populações de castanha-do-Pará em reservas extrativistas Xapuri, Estado do Acre. In: Gascon, C., Montinho, P. (Eds.), *Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo*. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, Manaus, AM, Brazil, pp. 277–292.

Wadt, L.H.O., Kainer, K.A., Gomes-Silva, D.A.P., 2005. Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. *Forest Ecology and Management* 211, 371–384.

Wadt, L.H.O., Kainer, K.A., C.L. Staudhammer, R.O.P. Serrano. , 2008 Sustainable forest use in Brazilian extractive reserves: Natural regeneration of Brazil nut in exploited populations. *Biological Conservation* 141, 332-346

Willians, J.; Wilson, D. , 1999 Informe sobre el problema de aflotoxinas de la castaña (*Bertholletia excelsa*) em Bolivia. Universidade da Geórgia. 20 p. (Universidade da Geórgia. Documento técnico, n. 71).

Wunder, S., 2001. Poverty alleviation and tropical forests. What scopes for synergies? *World development* 29(11): 1817-1833.

Zuidema, P.A., Boot, R.G.A., 2002. Demography of the Brazil nut tree (*Bertholletia excelsa*) in the Bolivian Amazon: impact of seed extraction on recruitment and population dynamics. *Journal of Tropical Ecology* 18, 1–31.

Zuidema, P.A., 2003. Demography and management of the nut tree (*Bertholletia excelsa*). PROMAB (Programa Manejo de Bosques de la Amazonía Boliviana), Scientific Series 6, Riberalta, Bolivia.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo buscou-se de forma inédita, através de procedimentos de modelagem, estimar a rentabilidade potencial da exploração de castanha-do-brasil, com base no usuário da terra para o departamento de *Madre de Dios*, Peru. Apesar da complexidade de integração de variáveis biofísicas, socioeconômicas e de infraestrutura relacionadas à extração, beneficiamento, transporte e venda de castanha em um modelo de simulação, os resultados podem ser considerados satisfatórios de acordo com os procedimentos de validação, reforçando a possibilidade de uso da metodologia para outras regiões com vocação para o extrativismo da castanha-do-brasil.

Por ser a primeira versão do modelo, muitas outras variáveis e recursos poderão ser incluídas futuramente, como o efeito das mudanças climáticas na produtividade e consequentemente na rentabilidade da atividade e derivação de funções econométricas para simular a dinâmica dos preços. Estas melhorias e procedimentos para validação em campo reforçariam a possibilidade de uso da modelagem como ferramenta viável para realização de estimativas de médio e longo prazo para valoração da floresta em pé em regiões alvos de potenciais projetos REDD.



# Material Suplementar

## Abordagem geral do modelo

De maneira geral, o modelo simula probabilisticamente ocorrências de castanheiras para a totalidade das áreas de concessões de castanha-do-brasil, levando-se em consideração as áreas mais favoráveis para ocorrência de castanheiras e a distribuição espacial da localização e produtividade das árvores, cujos parâmetros são calibrados a partir de amostras selecionadas para cada província. Ao mapa de produtividade simulado resultante são integrados os dados de preços de venda, custos de produção e custos totais de transporte até os pontos de venda, de acordo com os cenários de tipos de produção de castanha, para se estimar a rentabilidade potencial para cada pixel do mapa de produtividade.

## Base de dados

A base de dados utilizada integra informações disponibilizadas por órgãos governamentais e não governamentais no departamento de *Madre de Dios, Peru*, com dados próprios coletados em campo através de entrevistas e questionários aplicados (Tabela S1).

**Tabela S1:** Composição geral da base de dados

Dados	Localidades	Fonte
Entrevistas	Concessões castanheiras próximas a Rodovia Iñapari - Puerto Maldonado	Própria
Questionários	Concessionários residentes em Puerto Maldonado	Própria
Dados cartográficos	Departamento de Madre de Dios	IIAP; INRENA
Base georreferenciada de concessões	Concessões georreferenciadas até o ano de 2008	ACCA; INRENA
Planos de Manejo de Concessões castanheiras	Concessões georreferenciadas até o ano de 2008	INRENA

A base georreferenciada de castanheiras compreende os resultados de campanhas e trabalho de campo para elaboração de mapas de ordenamento e gestão territorial governamentais e planos de manejo de concessões de castanha-do-brasil em *Madre de Dios* registrados no *Instituto Nacional de Recursos Naturales* (INRENA). A coleta dos dados foi realizada pela *Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica* (ACCA) em parceria com o Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) no projeto *Formalizing Forest Access and Implementing Sustainable Brazil Nut Management in Madre de Dios, Peru: Bridging Phase*. Os dados foram coletados no período de 1 de fevereiro de 2005 a 30 de abril de 2007 e cobriram uma área de 252.398,16 hectares com georreferenciamento de

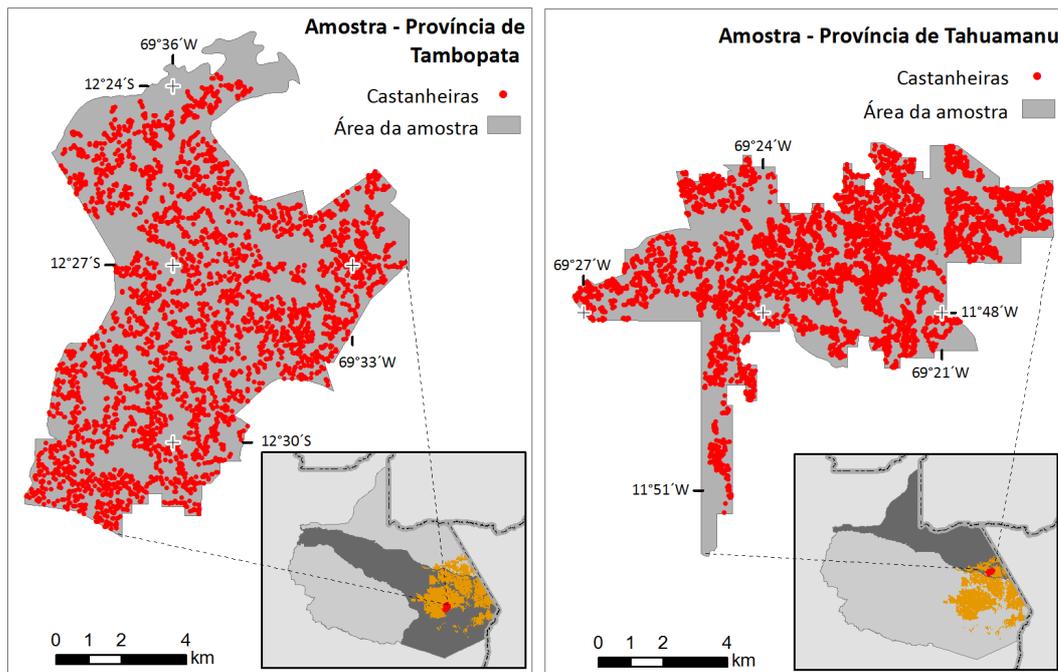
104.651 árvores sendo 100.988 indivíduos adultos (Diâmetro a altura do peito (DAP) > 50 cm) e 3663 indivíduos juvenis (DAP < 50cm).

Os dados inventariados compreendem: informações de identificação dos concessionários, dados de cada lote de concessão (número de localização, área em hectares, número de árvores, estradas, acampamentos, infra-estrutura e produção anual), dados econômicos (produção por tipo de castanha, custos, preço de venda por quilograma) e georreferenciamento de árvores (coordenadas de cada árvore de castanha com respectivas medidas morfológicas – DAP, formato da copa, posição no dossel, códigos de identificação, produção de castanha em latas e estado fitossanitário ou infestação por cipós).

O mapeamento e georreferenciamento das áreas envolvem diretamente o concessionário na atividade, que percorria sua concessão juntamente com os técnicos do projeto. Esta atividade permitiu a delimitação exata das áreas efetivas das concessões e o número de árvores produtivas e não produtivas para cada concessão avaliada, de acordo com relatos dos representantes dos órgãos governamentais, que se utilizam estas informações como referência para a determinação do volume possível de extração e quantia a ser pago ao governo peruano pelos direitos de exploração.

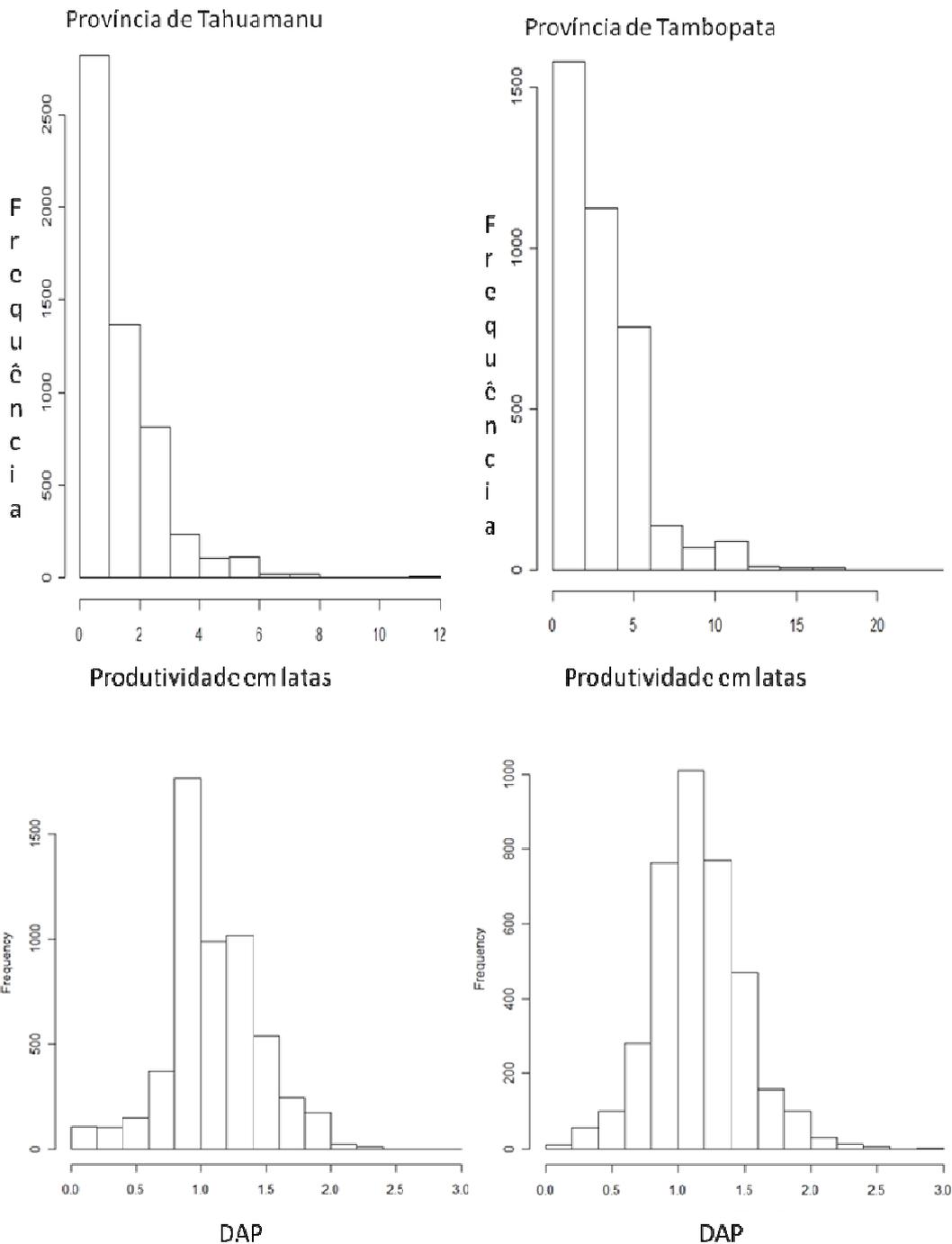
Além dos dados obtidos de outras instituições, foram levantadas informações relacionadas aos aspectos econômicos da cadeia produtiva de castanha-do-brasil, através de entrevistas e questionários aplicados a proprietários de *centros de acopio* e concessionários ao longo da rodovia que conecta Puerto Maldonado a Iñapari, no período de coleta da safra 2008-2009. As informações obtidas utilizadas no modelo foram: custos de extração e transporte; preços de venda de castanha; modalidades de transporte utilizados e tipos de produtos vendidos (castanha com casca, beneficiada e certificada).

A partir da base georreferenciada de concessões de castanha-do-brasil foram selecionadas duas amostras, sendo uma para a província de Tambopata e uma para a província de Tahuamanu, considerando o critério de identificação de maior área de concessões contíguas, para onde se tinham dados espaciais de castanheiras (em vermelho) disponíveis para cada província (Figura S1).



**Figura S1:** Amostras selecionadas para as províncias de Tambopata e Tahuamanu formadas por conjuntos contíguos de concessões de castanha-do-brasil georreferenciadas e a distribuição espacial de castanheiras (em vermelho).

As diferenças observadas na frequência de produtividade em latas e respectivas medidas de diâmetro a altura do peito (DAP) por castanheira das amostras para cada província podem ser observadas abaixo (Figura S2).



**FIGURA S2:** Distribuição da produtividade em latas e diâmetro a altura do peito (DAP) das amostras para as províncias de Tahuamanu e Tambopata

### Simulação da distribuição espacial de castanheiras

Para simulação de ocorrências de castanheiras, calcularam-se inicialmente as probabilidades de ocorrências naturais das árvores de castanha-do-brasil, por meio das variáveis espaciais relacionadas, representadas por diferentes camadas de informação cartográfica disponíveis (Tabela S2).

**Tabela S2:** Dados cartográficos utilizados no modelo

Camada de informação (layer)	Fonte
Clima	Gobierno Regional de Madre de Dios Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana – IIAP (2001)
Fitofisionomias	Gobierno Regional de Madre de Dios Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana – IIAP (2005)
Porte florestal	Gobierno Regional de Madre de Dios Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana – IIAP (2005)
Vegetação	Gobierno Regional de Madre de Dios Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana – IIAP (2005)
Solos	Gobierno Regional de Madre de Dios Instituto de Investigaciones de La Amazonia Peruana – IIAP (2005)
Hidrografia	Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (2005)
Altitude	NASA - Shuttle Radar Topography Mission (2000)
Declividade	NASA - Shuttle Radar Topography Mission (2000)
Contratos de Concessões de castanha	Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (2008)
Rodovias e vias de acesso	Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (2008)
Comunidades e distritos	Instituto Nacional de Recursos Naturales – INRENA (2008)

Utilizou-se o método de pesos de evidência, metodologia utilizada para estimar a probabilidade ou favorabilidade de fenômenos espaciais (Agterberg e Bonham-Carter 1990; Bonham-Carter, 1994). Os pesos de evidencia ( $W_N^+$ ) foram calculados para cada categoria de variável espacial N e representam uma estimativa da influência dessa categoria sobre as chances de ocorrência de árvores de castanha do Brasil em determinado pixel de acordo com a equação abaixo.

$$P_{\{\text{pixel com castanheira } (x,y) | B \cap C \cap D \dots \cap N\}} = \frac{e^{\sum W_N^+}}{1 + e^{\sum W_N^+}}$$

$P_{\{\text{pixel com castanheira } (x,y) | A \cap B \cap C \cap D \dots \cap N\}}$  é a probabilidade de ocorrência de um pixel com castanheira, dada a existência das variáveis explicativas, A, B, C, ..., N em uma localidade representada pelo pixel (x, y) e  $W_{N+}$  é o coeficiente do peso de evidência de uma categoria N. Quanto maior o valor do coeficiente, mais forte a associação da variável explicativa a ocorrência de pixel com

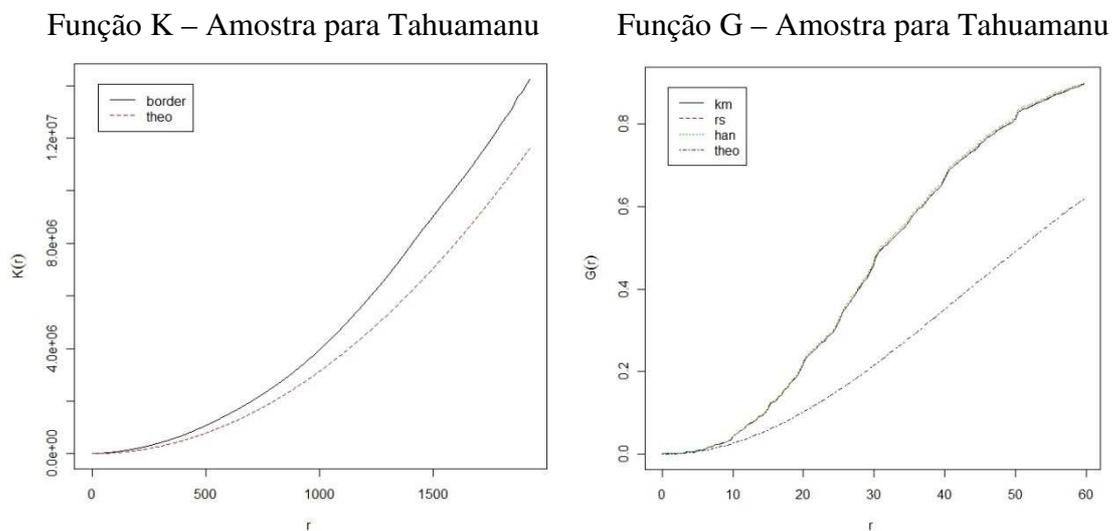
castanheira. Por outro lado, coeficientes negativos indicam um efeito inibitório, enquanto que valores próximos de zero apresentam associação igualmente influenciada para as variáveis explicativas (Bonhan-Carter, 1994). O mapa de probabilidade utilizado na simulação inicial é calculado integrando todos os  $W_{N+}$  calculados.

Como este método se aplica somente a dados categóricos, foi necessário categorizar as variáveis contínuas, tais como distância, altitude e declividade. Para atender a esta premissa, foi utilizado o método adaptado de Agterberg e Bonham Carter (1990) no software Dinamica EGO (Soares-Filho et al., 2008).

### Calibração dos parâmetros da distribuição espacial (Análise e resultados do *Software R*)

Para determinação da distribuição espacial de castanheiras, para ambas as amostras, foi realizado o teste de Chi-Quadrado e como os valores de significância obtidos foram inferiores a 0,05, rejeitou-se a hipótese de aleatoriedade do padrão espacial pontual das árvores inventariadas.

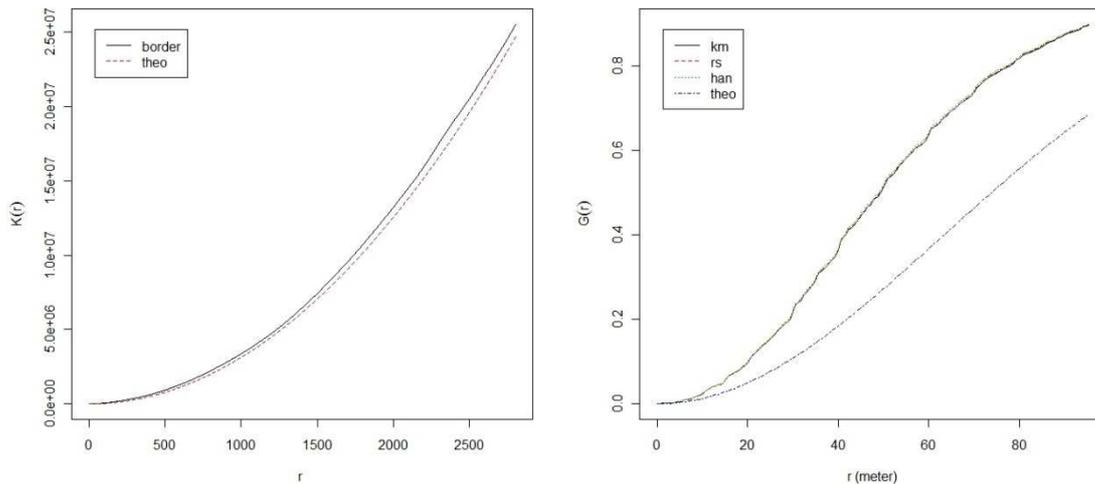
Após constatação de distribuição não aleatória, foram aplicados métodos baseados na distância para padrões pontuais (função K e função G) para determinação do nível de interação entre as castanheiras para cada amostra (Figuras S3 e S4).



**Figura S3:** Função K e Função G estimadas confrontadas com as curvas teóricas em função da distância do raio em metros (r) indicando distribuição agregada ou clusters para a amostra de Tahuamanu

Função K – Amostra para Tambopata

Função G – Amostra para Tambopata



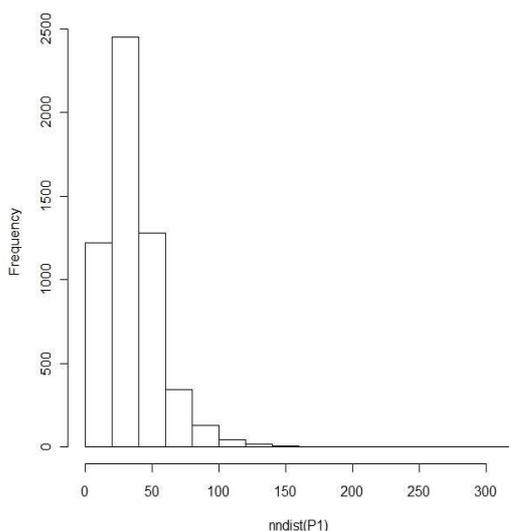
**Figura S4:** Função K e Função G estimadas e teóricas em função da distância do raio em metros (r) indicando distribuição agregada ou clusters para a amostra de Tambopata

As curvas estimadas,  $K_{border(r)^*}$  e  $G_{km(r)^{**}}$ , comparadas com as curvas teóricas de distribuição aleatória,  $K_{theo(r)}$  e  $G_{theo(r)}$ , para ambas as amostras, indicam a existência de clusters de castanheiras como característica da distribuição espacial da espécie: ( $K_{border(r)^*} > K_{theo(r)}$  e  $G_{km(r)^{**}} > G_{theo(r)}$ ) (Baddeley, 2008).

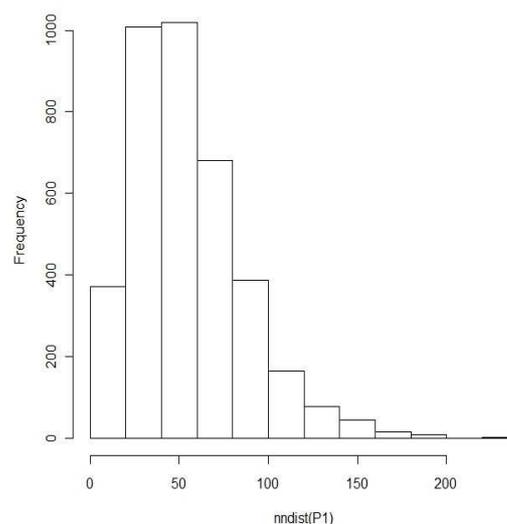
\*função k estimada utilizando método para correção de borda

\*\*função G estimada utilizando método Kaplan Meier

Para calibração das probabilidades de ocorrência de castanheiras, em função da distância a pixels com ocorrência prévia de castanheiras, foi utilizado o parâmetro de distância a vizinho mais próximo obtido para cada amostra (Figuras S5 e S6).



**Figura S5:** Frequência (Frequency) de castanheiras em função da distância a vizinho mais próximo em metros (nndist) para amostra de Tahuamanu



**Figura S6:** Frequência (Frequency) de castanheiras em função da distância a vizinho mais próximo em metros (nndist) para amostra de Tambopata

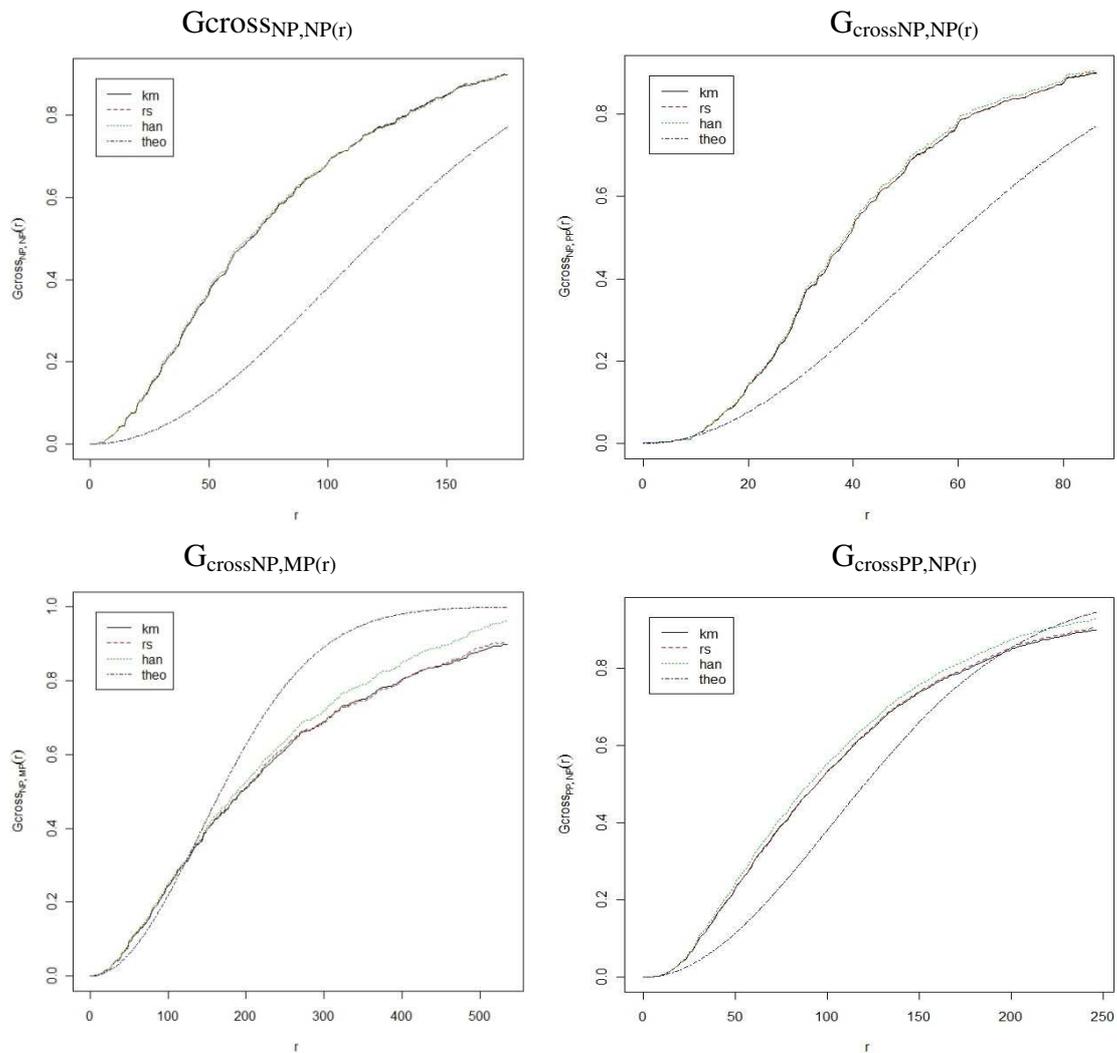
Foram assumidos os valores de probabilidade de ocorrência de pixels com castanheira de 0,5 e 0,9 para as faixas de distância de 50m e 100m, respectivamente, a pixels com castanheiras previamente simulados, Este procedimento pode ser justificado pela maior frequência observada de castanheiras para estas faixas de distância observadas. Também foi utilizado o valor de 4 castanheiras por hectare como parâmetro de saturação de densidade para simulação (valores máximos encontrados para mais de 90% da distribuição espacial das amostras).

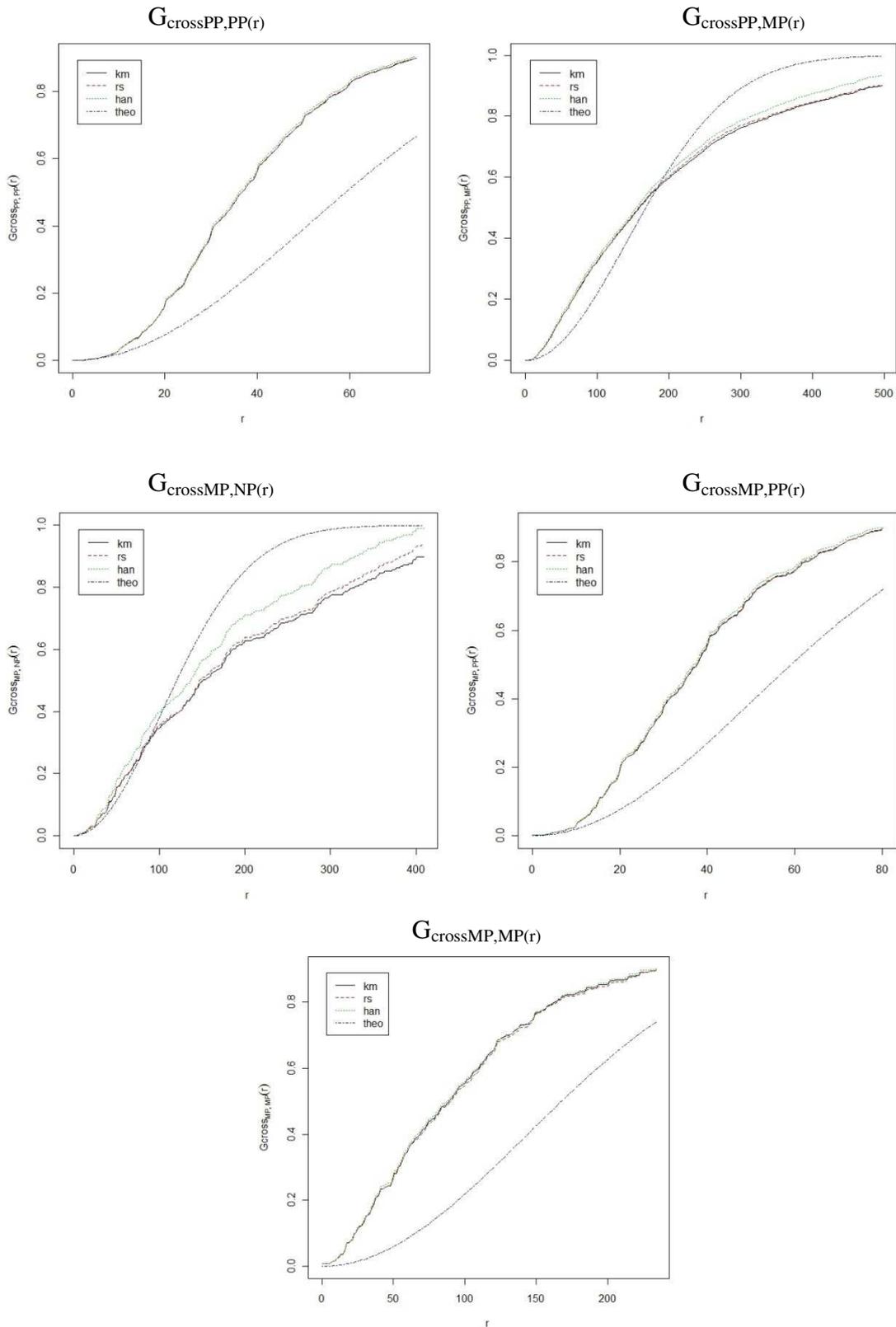
**Tabela S3:** Parâmetros de distribuição espacial das amostras

Parâmetros da distribuição espacial utilizados	Província de Tahuamanu	Província de Tambopata	Unidade
Tamanho médio e desv. padrão das agregações (1 castanheira por pixel de 50 m)	0,87 e 1,16 respectivamente	0,53 e 0,46 respectivamente	hectares
Tamanho médio e desv. padrão das agregações (2 castanheiras por pixel de 50 m)	0,35 e 0,20 respectivamente	0,27 e 0,07 respectivamente	hectares
Tamanho médio e desv. padrão das agregações (3 castanheiras por pixel de 50 m)	0,29 e 0,11 respectivamente	0,25 e 0,00 respectivamente	hectares
Densidade média por amostra	0,85	0,40	castanheiras/hectare
Distância média a vizinho mais próximo	35,31	54,88	metros

Somadas aos valores de probabilidade descritos acima, estimou-se as funções de probabilidade acumulada de ocorrências de árvores classificadas de acordo a produtividade (NP – Não Produtiva; PP – Pouco Produtiva e MP – Muito Produtiva). A idéia por trás dessa abordagem era garantir que além do padrão espacial pontual das árvores de castanha-do-brasil, característico da espécie, o modelo fosse capaz de simular a distribuição espacial da produtividade das populações de castanheiras calibrada a partir das amostras. As probabilidades acumuladas para as faixas de distância avaliadas foram então repassadas ao

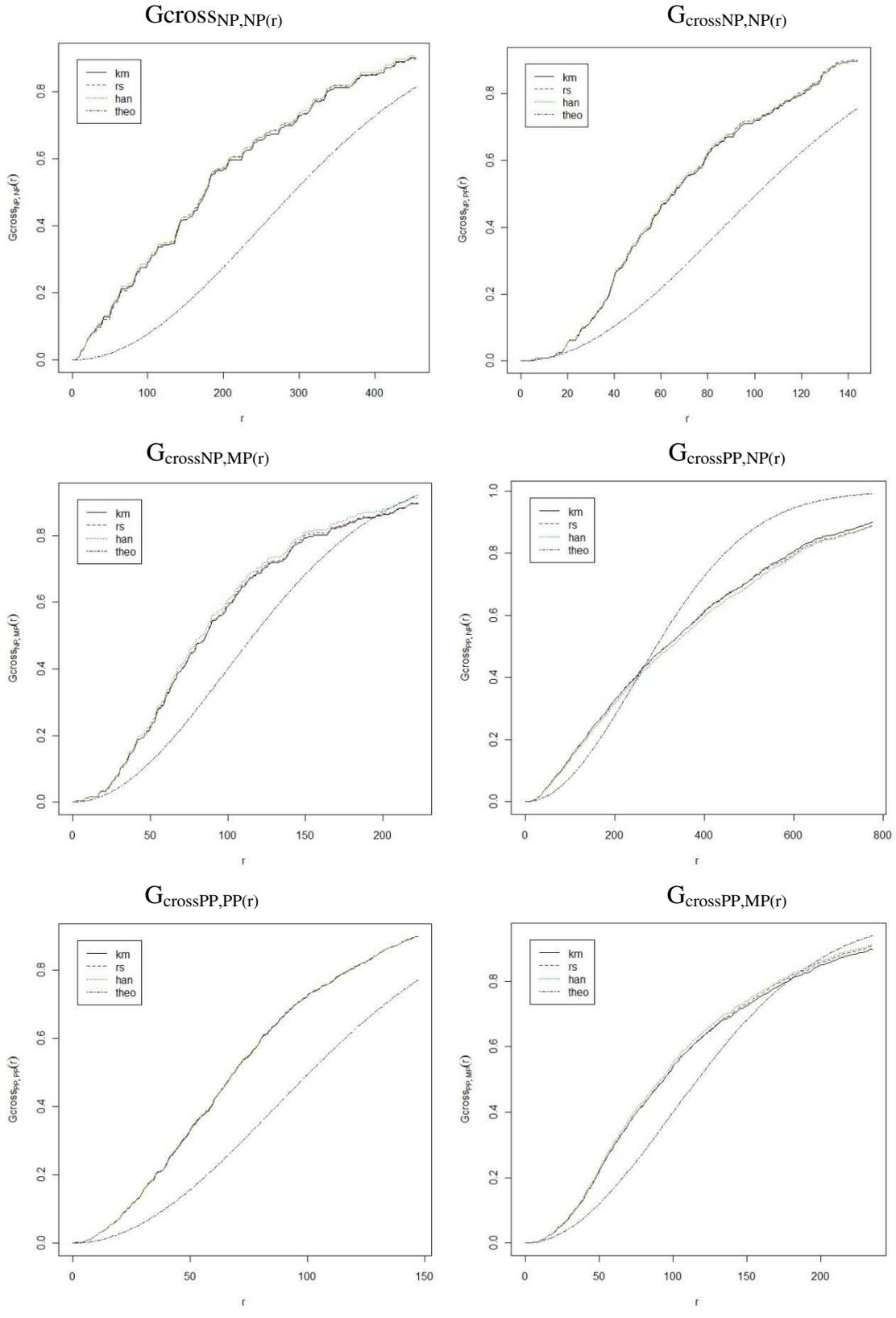
modelo para simulação de pixels representando diferentes classes produtivas de castanheiras (Figuras S7 e S8). As funções de probabilidade acumulada para árvores classificadas ( $G_{\text{cross},x,y}(r)$ ) podem ser interpretadas como a chance de se encontrar uma castanheira de determinada classe produtiva  $x$  em função da distância radial em metros ( $r$ ) de uma castanheira de classe produtiva conhecida  $y$ .

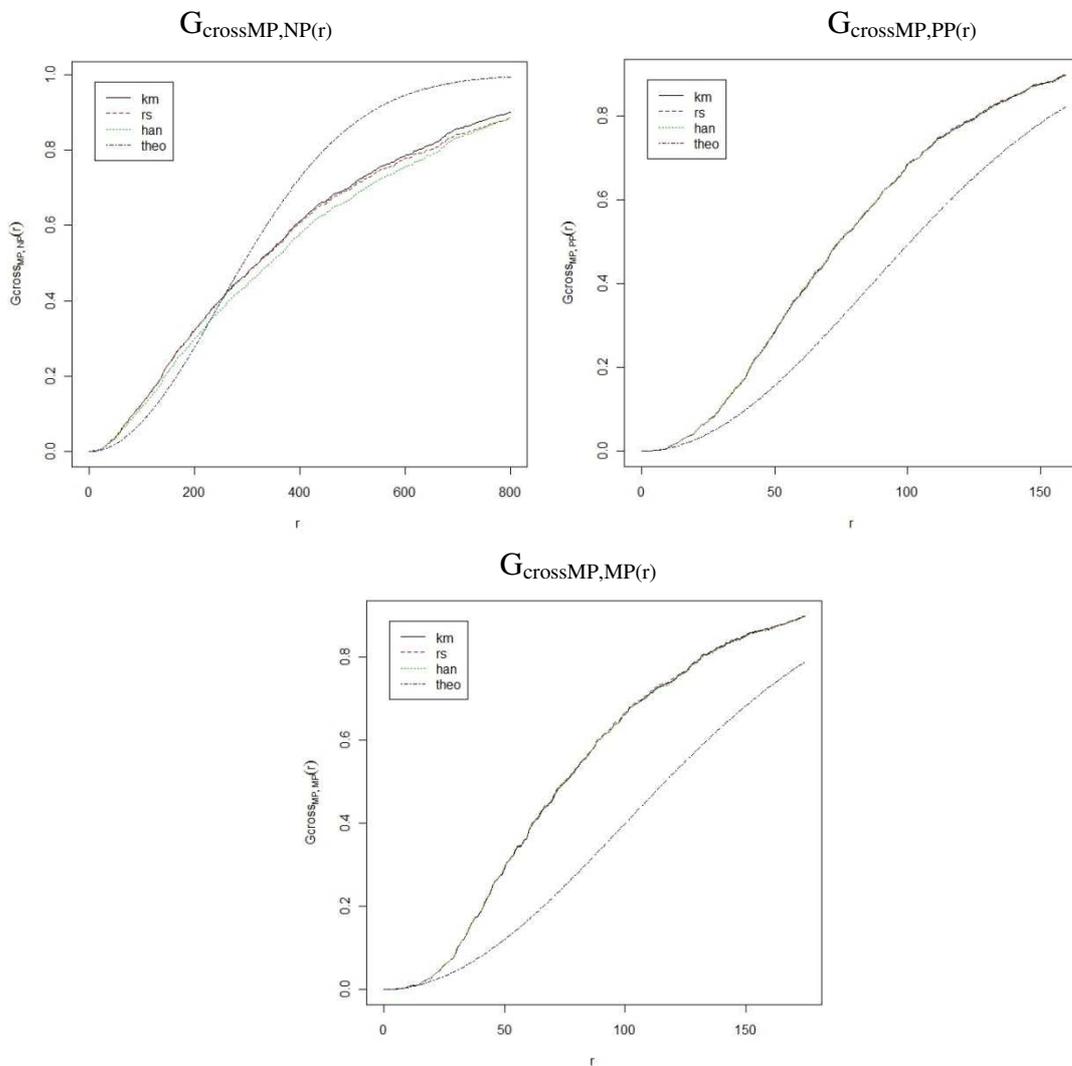




**Figura S7:** Funções de probabilidade acumulada estimadas\* de ocorrência das diferentes classes de produtividade de castanheiras em função das faixas de distância de raio ( $r$ ) para a amostra de Tahuamanu.

\*km – estimada pelo método de kaplan Meier; rs – estimada pelo método de “reduced sampled” ; han – estimada pelo método de Hanisch-stylee ; theo – curva teórica

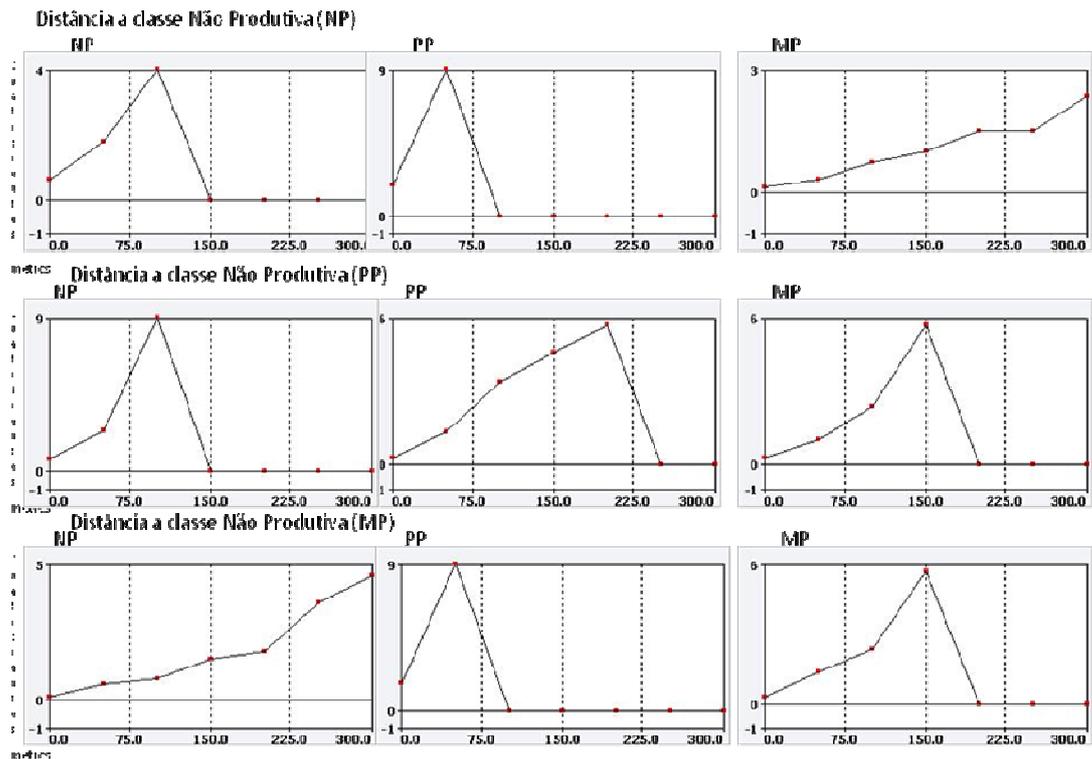




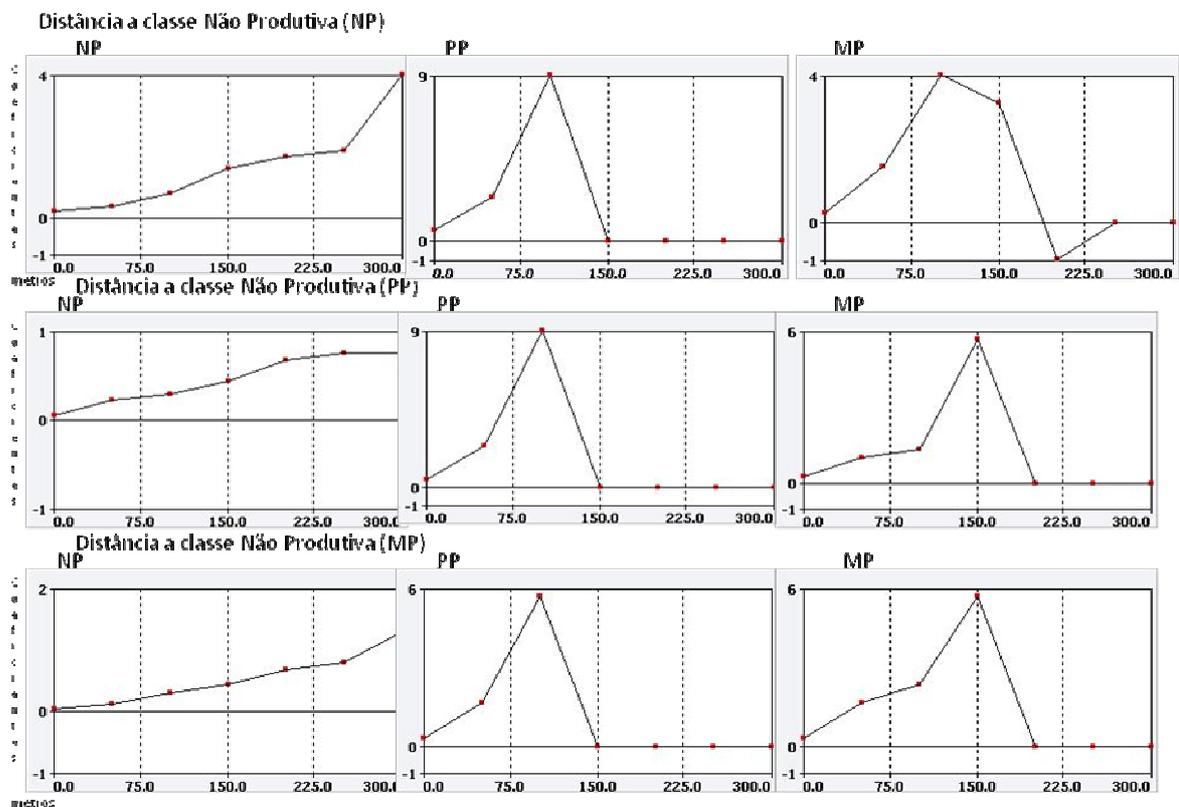
**Figura S8:** Funções de probabilidade acumulada estimadas\* de ocorrência das diferentes classes de produtividade de castanheiras em função das faixas de distância de raio ( $r$ ) para a amostra de Tambopata.

\*km – estimada pelo método de kaplan Meier; rs – estimada pelo método de “reduced sampled” ; han – estimada pelo método de Hanisch-stylee ; theo – curva teórica

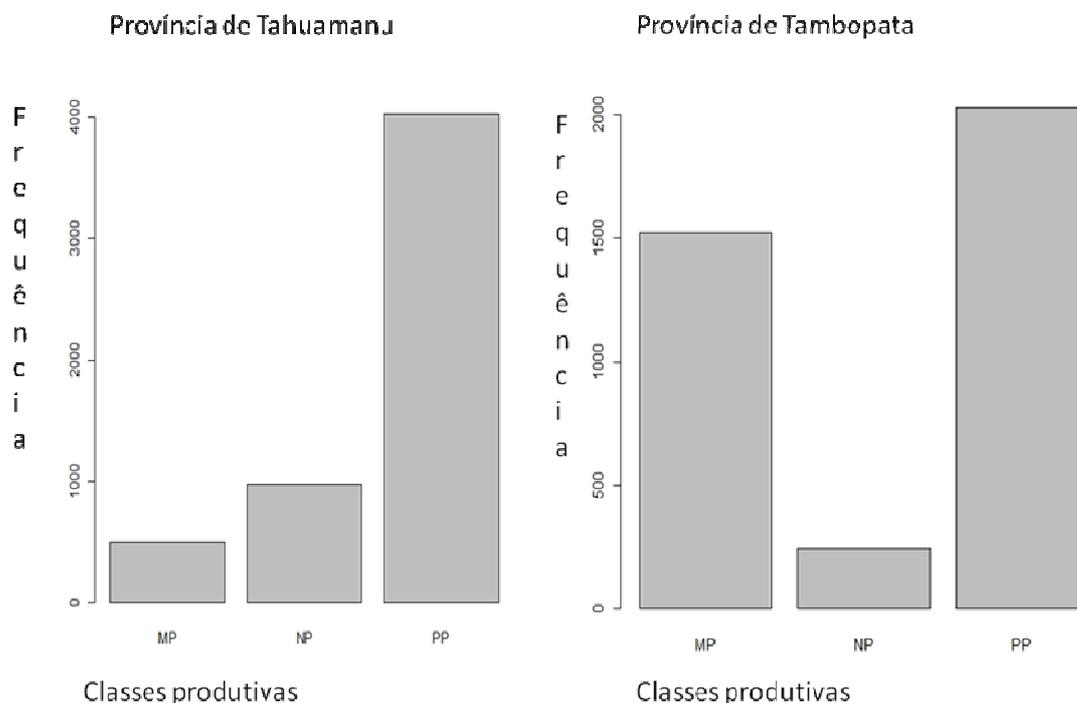
As probabilidades associadas às faixas de distância das funções de probabilidade acumulada foram convertidas para coeficientes de pesos de evidência (Figuras S9 e S10) e repassadas ao modelo.



**Figura S9:** Coeficientes de pesos de evidência de classes de castanheiras em função da distância a células com presença de castanheiras para província de Tahuamanu



**Figura S10:** Coeficientes dos pesos de evidência de classes de castanheiras em função da distância a células com presença de castanheiras para província de Tambopata



**Figura S11:** Frequência de castanheiras classificadas de acordo com a produtividade em latas

### Composição dos preços e cálculo da rentabilidade potencial

A rentabilidade potencial foi calculada para cada pixel, com resolução 100m x 100m, representando a quantidade total de castanha-do-brasil a ser explorada (somatório da produção das árvores existentes no pixel) convertida para o preço médio de venda do produto (castanha com casca, castanha beneficiada e castanha certificada de acordo com os cenários assumidos), deduzindo-se os custos médios de produção e transporte até os pontos de venda (*centros de acopio* e empresas beneficiadoras). (Equação 1).

Os preços de venda por tipo de produto e os custos médios de produção são expressos na unidade \$/kg de produto. Os preços de venda utilizados no cálculo da rentabilidade foram obtidos através dos valores médios informados diretamente pelos concessionários nas entrevistas/questionários e informações dos planos de manejo, enquanto que a composição dos custos médios de produção (Tabela S3) foi calculada de acordo com a equação abaixo (Equação 2):

$$Cm_{Px} = C_p - C_{ti} - C_b$$

Onde,

$Cm_{Px}$  = Custos médios de produção por tipo de produto x (em \$/kg)

$C_p$  = Custos de produção (em \$/kg)

$C_{ti}$  = Custos de transporte interno (em \$/kg)

$C_b$  = Custos de beneficiamento (em \$/kg)

**Tabela S4:** Composição dos custos médios de produção

<b>Tipo de custos</b>	<b>\$/kg</b>	<b>Fonte</b>
Custos de produção	0,40	Entrevistas/Questionários
Custos de transporte interno	0,03	Planos de manejo
Custos de beneficiamento	0,24	Planos de manejo

Para cálculo dos custos médios de produção foram consideradas as atividades e custos obtidos de dados de campo e planos de manejo (Tabela S5). Do valor total dos custos das atividades foram retirados os custos de transporte interno e somados os custos de beneficiamento da produção oriundos dos planos de manejo amostrados presentes na Tabela S4.

**Tabela S5:** Custos de produção desagregados por atividades consideradas

<b>Atividades</b>	<b>Custos em Soles/70 kg</b>
Limpeza de estradas	3,94
Práticas silviculturais	2,08
Manutenção de infraestrutura	1,73
Manutenção de equipamentos	0,83
Alimentação	20,31
Medicamentos	0,54
Lubrificantes e combustíveis	1,07
Insumos	0,07
Ferramentas	0,76
Coleta de frutos	1,54
Extração de sementes	24,68
Extração da casca	21,83
Secagem e armazenamento	0,68
Transporte	2,65
Gastos legais	1,10
Gastos administrativos	0,96
Outros	1,59
<b>TOTAL</b>	<b>86,36</b>

\*Taxa de Câmbio: 1,00 Soles = US\$ 0,33

Para estimativa dos custos de transporte, utilizou-se o conceito de superfície de fricção, que representa o custo relativo para se cruzar um pixel de acordo com o tipo de uso do solo (caminhos marginais/floresta, estradas pavimentadas e

rios navegáveis). A superfície de fricção foi expressa em custos financeiros de acordo com o tipo de produto, modalidade de transporte e tipo de uso do solo do pixel (Tabela S6). Para cálculo dos custos totais de transporte para cada pixel, que representa o valor médio da combinação das modalidades de transporte para se carrear a produção até o ponto de venda mais próximo, assume-se que o trajeto é realizado por meio do caminho que representa o menor custo levando-se em consideração a distância euclidiana e o menor custo acumulado. Para isto foi utilizado um algoritmo heurístico que “busca” o caminho otimizado através de cálculos recorrentes para o mapa de fricção (Soares-Filho et al, 2008).

**Tabela S6:** Custos de transporte desagregados por modalidade utilizados

<b>Produto</b>	<b>Modalidade</b>	<b>Uso do solo/via de acesso</b>	<b>\$/70kg/km</b>
Castanha com casca	moto	floresta	0,0767
	caminhão	estradas	0,3782
	barco	rios navegáveis	0,0333
Castanha beneficiada	moto	floresta	0,266
	caminhão	estradas	1,32
	barco	rios navegáveis	0,12
Castanha certificada	moto	floresta	0,266
	caminhão	estradas	1,32
	barco	rios navegáveis	0,12

### Referências bibliográficas

Agterberg, FP, Bonham-Carter, GF., 1990 Deriving weights of evidence from geosciences contour maps for the prediction of discrete events. XXII Int. Symposium AP-COM, 381-395

Baddeley. A., 2008. Analysing spatial point patterns in R. Workshop Notes Version 3.

Bonham-Carter G., 1994 Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Pergamon, 398 pp.

Soares-Filho, BS, Rodrigues, HO, Falieri, A, Costa, WL., 2008 Dinâmica EGO Tutorial<<http://www.csr.ufmg.br/dinamica>>