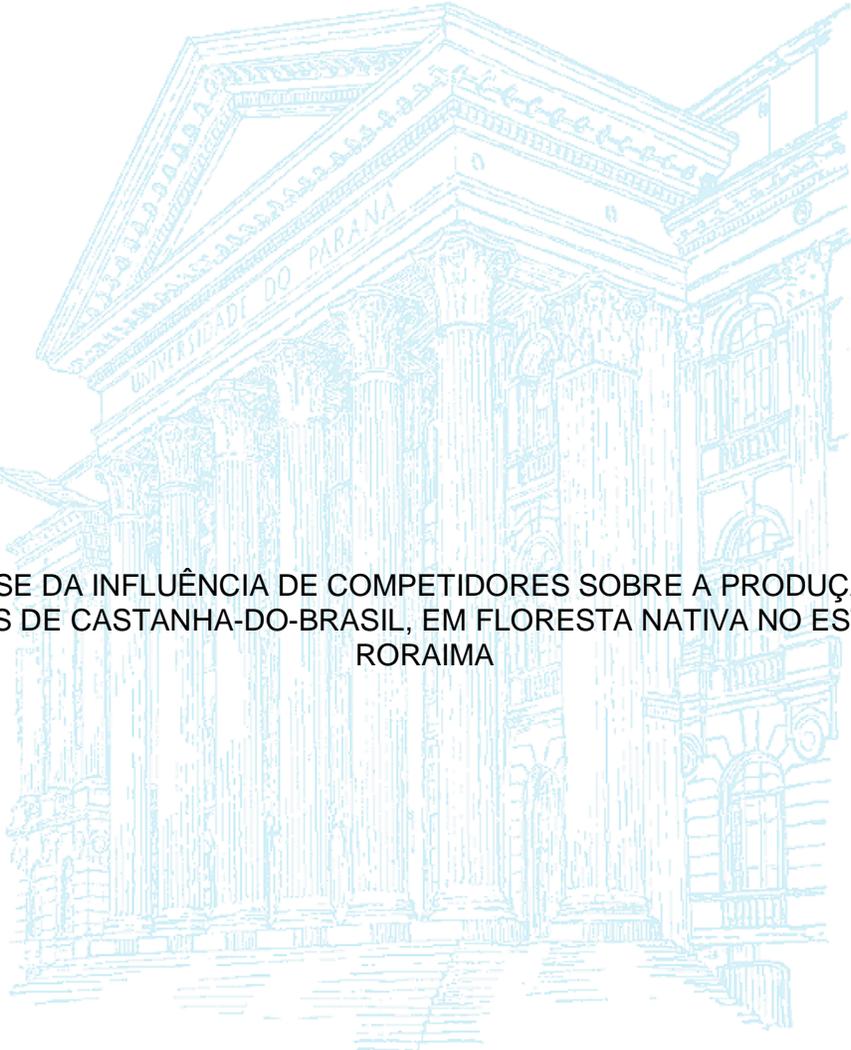


LOURENÇO DE SOUZA CRUZ



ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE COMPETIDORES SOBRE A PRODUÇÃO DE  
ÁRVORES DE CASTANHA-DO-BRASIL, EM FLORESTA NATIVA NO ESTADO DE  
RORAIMA

CURITIBA  
2012

LOURENÇO DE SOUZA CRUZ

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE COMPETIDORES SOBRE A PRODUÇÃO DE  
ÁRVORES DE CASTANHA-DO-BRASIL, EM FLORESTA NATIVA NO ESTADO DE  
RORAIMA

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal do curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Helio Tonini

CURITIBA  
2012

## **AGRADECIMENTOS**

À Embrapa Roraima, que forneceu informações sobre as castanheiras, ao Chefe de P&D, Dr. Otoniel Ribeiro Duarte, que disponibilizou material para a coleta de dados.

Ao meu Orientador Dr. Helio Tonini, pela disposição em transmitir seu conhecimento relacionado ao tema e por disponibilizar dados que serviram às análises deste trabalho.

Aos colegas “embrapianos” José de Anchieta Moreira da Costa e Taiguara dos Santos Pereira, que colaboraram com as coletas de informações a campo.

## RESUMO

Este trabalho analisou com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica – SIG, a disposição espacial e a influência de competidores sobre a produção de árvores de castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. B. K.), em floresta nativa localizada no município de Caracaraí, no Estado de Roraima. Os dados foram coletados em duas parcelas medindo 9 hectares. As árvores tiveram suas posições determinadas com o uso do Sistema de Posicionamento Global – GPS e os raios de copas medidos por trena. O nível competição espacial foi estimado pelo Índice de Hegyi, que foi modificado para utilizar as informações de copa. Com o uso de *software* de SIG foram determinados o número de concorrentes e as distâncias entre eles. Os dados obtidos via SIG, são adequados ao tipo de análise que foi utilizada, sua representação na forma de Mapa Temático auxiliou na análise espacial devido a praticidade na exposição das informações. A concorrência mensurada pelo Índice não apresentou influência significativa sobre a produção de sementes das árvores de castanha-do-brasil.

**Palavras-chaves:** Extrativismo, manejo florestal, índice de competição.

## ABSTRACT

This study analyzed with the aid of a Geographical Information System - SIG, available space and the influence of competitors on the production of trees of brazil nut (*Bertholletia excelsa* H. B. K. ), in native forest located in the municipality of Caracarai, in Roraima state. The data were collected in two plots measuring 9 hectares. The trees had their positions determined with the use of Global Positioning System - GPS and the rays of canopy measured by tape measure. The competition level space was estimated by the Index of Hegyi, which was modified to use the information to cup. With the use of software for GIS were determined the number of competitors and the distances between them. The data obtained via GIS are appropriate to the type of analysis that was used, its representation in the form of thematic map helped in spatial analysis due to practicality in information exposure. The competition was measured by the Index showed no significant influence on the production of seed trees from the brazil nut.

**Key-words:** Harvesting, forest management, index of competition.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema da classificação da posição sociológica das árvores.....	18
Figura 2. Procedimento de determinação dos competidores.....	21
Figura 3. Relação entre a produção e o índice de competição.....	23
Figura 4. Determinação do diâmetro de copa com uso de SIG .....	26
Figura 5. Mapa da parcela 1 .....	28
Figura 6. Mapa da parcela 2.....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados de produção por árvore obtidos nas parcelas permanentes.....	23
Tabela 2. Análise de variância do modelo ajustado, hiperbólico, relacionando a produção de sementes ao índice (IHm).....	23
Tabela 3. Estatística de regressão do modelo hiperbólico.....	23
Tabela 4. Análise de variância do modelo ajustado, exponencial relacionando a produção de sementes ao índice (IHm).....	24
Tabela 5. Estatística de regressão do modelo exponencial.....	24

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2. OBJETIVO(S)</b> .....	10
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	11
3.1 A CASTANHEIRA E SEU DESENVOLVIMENTO .....	11
3.2 FORMA DE POVOAMENTO .....	12
3.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL .....	12
3.4 PRODUÇÃO .....	13
3.5 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICA .....	14
3.6 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO .....	14
3.7 O USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) .....	15
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	17
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	17
4.2 PRODUÇÃO DAS ÁRVORES .....	17
4.3 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS .....	18
4.4 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO .....	19
4.5 GEORREFERENCIAMENTO DAS ÁRVORES E USO DO SIG .....	20
4.6 ANÁLISES DOS DADOS .....	21
<b>5. RESULTADO E DISCUSSÃO</b> .....	22
5.1 A COMPETIÇÃO .....	22
5.2 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) .....	25
5.2 1 Mapa Temático .....	27
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	31
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	32
<b>ANEXOS</b> .....	35
Anexo 1. Mapa Temático das Parcelas .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

A castanheira (*Bertholletia excelsa* H. B. K.) é uma espécie nativa da Amazônia que habita as áreas não inundáveis (terra firme). Seu fruto tem importante papel social para as comunidades tradicionais. A semente alimenta e gera renda para os povos da Amazônia, devido suas características nutricionais e valor comercial.

A coleta da castanha é uma atividade extrativista ambientalmente sustentável, pois ao mesmo tempo em que promove a conservação da floresta, fomenta inúmeras comunidades e suas economias regionais, sendo um exemplo de indústria de Produto Florestal Não Madeireiro – PFNM (SALOMÃO, 2009).

Tonini et al. (2008b) destacam que a coleta pode ser de baixo impacto ambiental, podendo ser explorada por diversas comunidades no curto prazo e com baixo custo.

Segundo Salomão (2009), o fruto da castanha é o Produto Florestal Não Madeireiro (PFNM) mais conhecido e solidamente estabelecido nos mercados de exportação, sendo a única semente comercializada internacionalmente que tem origem de coletas em florestas tropicais.

Em um estudo realizado na região sul de Roraima, 17% dos entrevistados declararam-se exclusivamente extrativistas e que estes coletam a castanha apenas quando o preço está em alta ou quando necessitam reforçar o orçamento familiar (TONINI et al., 2006). Os municípios produtores de castanha estão localizados no sul do estado, sendo a coleta realizada nas áreas de reserva legal dos lotes e em áreas devolutas.

Como a castanheira é uma espécie florestal de importante participação em atividades de comunidades amazônicas, é de grande valia estimar quais interações ambientais influenciam o seu desenvolvimento vegetativo e sua produção de sementes.

O desenvolvimento da castanheira está condicionado às características ambientais (temperatura, precipitação, vento, insolação e nutrientes), edáficas (físicas, químicas e biológicas), topográficas (inclinação, altitude e exposição) e constituição genética da árvore. A disposição de espaço físico e as interações com outras espécies podem ser mensuradas como fatores de competição, e decorrem da

concorrência por recursos naturais (POORTER e BONGERS, 1993 apud CUNHA, 2009).

Cunha (2009) destaca que se mostra importante a interação da competição em que o crescimento de árvores individuais é reduzido pela presença de árvores vizinhas.

Segundo Cordeiro et al. (1998, p. 1) “a avaliação dos fatores ecológicos que condicionam a disposição espacial das espécies constitui uma forma eficiente no sentido de diminuir o tempo necessário para tomada de decisões relativas à conservação.”

As características morfométricas e a produção das árvores podem está vinculadas a intensidade da competição infligida por árvores vizinhas em determinado ambiente. Tonini et al. (2008d) concluíram que a produção de sementes da castanheira sofre influência da sua posição sociológica e da sua forma da copa. Árvores com copas nas posições superiores do dossel e bem formadas são mais produtivas.

Estimar a que nível de competição ocorre o declínio da produtividade das castanheiras, pode fornecer informações importantes para o manejo do ambiente onde se desenvolve a atividade extrativista e para a adoção de práticas visando o aumento da produção das árvores.

Para mensurar a concorrência espacial existem índices de competição independentes ou dependentes da determinação das distâncias entre as árvores. Índices dependentes correlacionam o tamanho dos competidores com a distância entre eles.

## 2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi analisar a disposição espacial e a influência de competidores sobre a produção de semente de árvores de castanha-do-brasil, em floresta nativa no Estado de Roraima.

Os objetivos específicos são:

a. Verificar com o auxílio de ferramentas de SIG, o efeito da concorrência espacial sobre a produção de sementes de árvores de castanha-do-brasil;

b. Avaliar o uso do SIG como ferramenta de obtenção e análise de dados de competição espacial, frente aos métodos convencionais de obtenção e tratamento das informações.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A CASTANHEIRA E SEU DESENVOLVIMENTO

A castanha-do-brasil pertence ao gênero *Bertholletia* da família Lecythidaceae. Árvore imponente que produz sementes comestíveis e está pontualmente presente em toda a Amazônia.

Segundo Scoles (2010), a castanheira se distribui de forma descontínua, ocorrendo em florestas de terra firme das Guianas e da Bacia Amazônica. Sua distribuição é ampla, estendendo-se desde o Alto Beni (Bolívia, 14° S) ao Alto Orinoco (5° N).

Espécie heliófita, o crescimento em altura é priorizado nos anos iniciais objetivando alcançar o dossel da floresta no menor espaço de tempo, assim, a castanheira assegura um suprimento de luz suficiente para incrementar o crescimento em diâmetro (SALOMÃO, 2009).

No início de seu ciclo de vida a castanheira se comporta como espécie pioneira, mas diferentemente destas, a *B. excelsa* permanece nos estados avançados da sucessão florestal como árvore emergente do dossel, sendo considerada 'árvore pioneira de longa vida' (SWAINE e HALL, 1987; ZUIDEMA, 2003 apud SCOLES, 2010).

As árvores possuem tronco retilíneo com a inserção de galhos no topo, podem atingir alturas próximas a 50 metros e ter diâmetros na altura do peito (DAP) maiores que 300 cm (SALOMÃO, 2006, 2009).

Seu fruto é pesado (0,5 - 2,5 kg), lenhoso e redondo (diâmetro, 11-15 cm). O ouriço ou pixídio abriga uma média de 10 - 25 sementes comestíveis (amêndoas) que têm forma angular e estão recobertas de tegumento lenhoso protetor (SCOLES, 2010).

### 3.2 FORMA DE POVOAMENTO

Quanto à estrutura populacional, a ocorrência de *B. excelsa* caracteriza-se por formar aglomerações (castanhais) que podem ser consideradas florestas monodominantes, onde uma única espécie de árvore (*B. excelsa*) domina de forma desproporcional, o espaço e/ou a luz do ambiente florestal (SCOLES, 2010).

A expansão do castanhal pode ser favorecida por fatores naturais, como a ocorrência de clareiras e a existência de agentes dispersores. Fatores não naturais resultantes da ação antrópica também podem favorecer o desenvolvimento das populações, como o manejo das espécies competidoras, ao eliminar as que competem por luz, e o enriquecimento através do plantio adensado de castanheiras em clareiras naturais e artificiais na floresta (SALOMÃO, 2009).

Tonini et al. (2008b) ao estudarem a estrutura de duas populações do estado de Roraima, observaram que a densidade dos castanhais variou de 3,7 a 12,9 indivíduos por hectare. As densidades observadas em Roraima estão de acordo com as obtidas por diversos autores na Amazônia, que relataram uma grande variação na densidade de indivíduos, variando de 1,3 a 23 indivíduos por hectare.

Comparativamente, Kaminski et al. (2008) observaram uma população de andiroba (*Carapa guianensis* e *Carapa procera*) localizada em floresta nativa no sul de Roraima, e obtiveram uma densidade de 16,1 árvores de andiroba por hectare. A andiroba é outra espécie correlacionada ao extrativismo realizado por comunidades amazônicas.

### 3.3 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

A distribuição espacial e o estado de determinado objeto (árvore), são resultantes dos processos de interação espacial entre objetos. Cada processo é decorrente da interação de forças causadas e afetadas por fatores externos e internos que conduzem aos padrões espaciais (CUNHA, 2003).

Já que estão sobre diferentes níveis de interação, disseminadas sobre uma vasta área, em condições ambientais variadas, é importante conhecer as

características da distribuição espacial das árvores, porém de difícil medição e descrição em termos simples e precisos. O conhecimento da distribuição espacial de cada espécie oferece valiosa informação sobre o estoque e o potencial de exploração dos recursos florestais, são informações importantes para o manejo, a silvicultura, a dendrologia e a ecologia das espécies (SILVA e LOPES, 1982).

Tonini et al. (2008ac) analisaram a distribuição espacial das castanheiras alvo deste trabalho, concluíram que toda a população e os indivíduos adultos apresentaram distribuição regular ou aleatória e os indivíduos jovens apresentaram tendência ao agrupamento. Foram considerados jovens os indivíduos com DAP menor do que 50 cm.

### 3.4 PRODUÇÃO

Tonini et al. (2008b).estudaram um ciclo produtivo de duas populações localizadas em dois municípios no sul do estado de Roraima e observaram um número médio de frutos produzidos por árvore igual a 23,3, com uma produção média de 4,07 kg de sementes. O número máximo de frutos produzidos por uma única árvore foi de 155 e a produção máxima foi de 32,1 kg de sementes (TABELA 1).

TABELA 1 - DADOS DE PRODUÇÃO POR ÁRVORE OBTIDOS NAS PARCELAS PERMANENTES.

Parcela	Número de frutos			Peso das sementes		
	média	max	min	média	max	min
1 (Município de São João da Baliza)	24,8	155	1	4,3	32,1	0,3
2 (Município de Caracarái)	18,6	80	1	2,8	10,65	0,1
Média geral	23,3			4,07		

FONTE: Tonini et al., (2008b)

Os principais fatores que determinam a variabilidade da produção de frutos são: tamanho da árvore (DAP); atributos da copa (posição sociológica); variações temporais inerentes a própria planta; fatores climáticos, como a precipitação; nutrição; fatores genéticos e interações com polinizadores, predadores e dispersores. A competição é outro fator que pode ter alguma influência sobre a produção (TONINI et al. 2008d).

### 3.5 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

Os estudos de morfometria permitem descrever as relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, estimar o grau de concorrência entre árvores de um povoamento e, ainda, correlacionar os atributos morfométricos com a estabilidade, a vitalidade e a produtividade de cada indivíduo (DURLO e DENARDI, 1998 apud COSTA, 2011). As características morfológicas de uma árvore podem ser mensuradas na forma de volumes e comprimentos, fornecendo variáveis morfométricas para a análise do povoamento.

Existe uma correlação positiva entre o diâmetro do fuste (DAP) e o diâmetro da copa (DC), e uma relação significativa da produção de sementes com as dimensões das variáveis morfométricas. Wadt et al. (2005) observaram que quanto maior o diâmetro do tronco, melhor a posição sociológica e a forma da copa, e maior a produção de sementes de castanha-do-brasil.

Tonini et al. (2008d) concluíram que entre as variáveis de copa, o diâmetro (15,1%), a posição sociológica (14,6%) e o comprimento (12,9%), explicam a maior variabilidade na produção de sementes, demonstrando a correlação entre as variáveis de copa e a produção de semente.

### 3.6 ÍNDICES DE COMPETIÇÃO

A competição com a vizinhança diminui as possibilidades de haver árvores com copas completas, concomitantemente ocorrendo a redução de área foliar e a queda do potencial produtivo da castanheira (IVANOV, 2011).

Tonini et al. (2008d) avaliaram a influência do status competitivo sobre a produção de sementes de castanheira, testando 17 índices de competição espaciais e não espaciais. Dentre os métodos, selecionaram o índice de Hegyi para o cálculo de índices de competição dependente da distância (espacial), de sua aplicação concluíram que a competição apresenta pouco efeito sobre a produção de sementes em árvores adultas, entretanto, há tendência de redução da produção de sementes com o aumento da competição.

Santos (2012) destacou que os índices de concorrência, ou competição, expressam uma estimativa do espaço horizontal ocupado por uma árvore-amostra em relação a suas vizinhas, observou que a competição conduz à eliminação de indivíduos no povoamento e também causa uma diminuição do crescimento de competidores.

### 3.7 O USO DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Processos pontuais utilizando coordenadas das árvores em uma floresta podem ser utilizados na avaliação do grau de interação entre as árvores, na descrição da estrutura espacial de populações menos alteradas, ou de florestas submetidas a diferentes condições de manejo. Também servem para avaliar grupos de espécies em diferentes populações, ou para uma espécie em particular (RODE et al., 2010).

Convencionalmente na elaboração de um inventário florestal, são obtidas coordenadas relativas (falsas coordenadas X, Y) com o uso de trena, determinadas pela medição da distância percorrida na picada (eixo Y) e da mensuração da distância entre a árvore e a picada (eixo X). Neste procedimento, muitas vezes o técnico responsável pelas anotações de campo comete equívocos quando da determinação e registro dos valores das coordenadas (FIGUEIREDO et al., 2007).

Estudo realizado em floresta nativa no Acre, numa parcela de 200 x 300 metros (6 hectares), observou uma baixa precisão no posicionamento de árvores, em um inventário florestal formado por dados oriundos do método convencional de obtenção de falsas coordenadas (FIGUEIREDO et al., 2007).

A obtenção de coordenadas absolutas (apropriadas) com o uso do GPS permite a localização precisa da árvore, tornando possível realizar diversas funções de análise, classificação de dados e modelagens (FIGUEIREDO et al., 2007).

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é uma ferramenta que permite determinar o posicionamento de objetos em relação à superfície terrestre, com a aquisição de coordenadas geográficas a partir de medições do sinal de satélites.

O GPS e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) são duas poderosas ferramentas de planejamento. O GPS possibilita o posicionamento preciso dos

dados espaciais, o SIG faz o processamento das informações, permitindo relacionar diversos fatores envolvidos na produção florestal (FIGUEIREDO et al., 2007).

Programas de SIG são ferramentas capazes de desenvolver diversos estágios de uma análise espacial. Segundo Rowlingson e Diggle (1993 apud CUNHA 2003), o primeiro estágio na análise de um padrão espacial pontual consiste em plotar os dados em um mapa, onde num segundo estágio, são obtidas funções empíricas que representem a estrutura dos dados, como as distribuições de distâncias interpontos e distâncias de vizinhos mais próximos.

A definição de SIG pode sofrer diversas abordagens dependendo da perspectiva do usuário ou de sua aplicação, mas quando enfatiza a importância da análise espacial que pode ser feita por um SIG, e se concentra na análise e modelagem, o SIG é visto mais como uma ciência de informação espacial do que uma tecnologia (MIRANDA, 2005).

A disposição dos dados obtidos pelo GPS em programas (*softwares*) de SIG e o enriquecimento destes dados de posição, com a junção de informações qualitativas e quantitativas, possibilitam a manipulação e arranjos dos conjuntos de dados para a representação das informações em mapas temáticos. Mapas temáticos geralmente se concentram na representação do relacionamento estrutural de um tema ou objetivo, envolvendo o mapeamento de um fenômeno, apresentando um tema gráfico a cerca de um objetivo, quantitativamente e, ou, qualitativamente (MIRANDA, 2005).

A tematização que dá origem aos mapas temáticos é sintetizada como a capacidade dos sistemas em separar em níveis distintos (*layers*), os diferentes temas fundamentalmente desejados às aplicações do SIG (CORTE, 2011).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Duas parcelas permanentes situadas pela Embrapa Roraima em castanhal no município de Caracaráí, forneceram informações para este trabalho. As parcelas permanentes foram delimitadas em 2008 e possuem a forma quadrada nas dimensões de 300 x 300 m, totalizando nove hectares.

O clima da região de acordo com a classificação de Köppen é o tipo Am (tropical chuvoso com pequeno período de seca), precipitação média anual entre 1700–2000 mm, com período chuvoso distribuído nos meses de abril a agosto e temperatura média anual de 27°C.

A vegetação predominante é considerada como Floresta Tropical Úmida, caracterizada como Floresta Tropical Aberta com Palmeiras e o relevo plano a ondulado (BRASIL, 1975). As parcelas possuem seus centros localizados nas coordenadas (1°50'57.78"N ; 61° 0'39.66"O) e (1°51'5.02"N ; 61° 0'24.96"O).

O presente estudo obteve informações junto à Embrapa Roraima, sobre a produção e a morfometria de 113 castanheiras presentes nas duas parcelas, dos anos de 2009 a 2011. Devido à ausência de informação sobre os competidores interespecíficos (não castanheira), foi realizada uma coleta de dados, onde estes indivíduos foram identificados, georreferenciados e tiveram o diâmetro de copa mensurado.

### 4.2 PRODUÇÃO DAS ÁRVORES

A produção de frutos e de sementes foi obtida por meio de medições realizadas em duas ocasiões ao longo dos anos de 2009 a 2012, no meio e no final do período de queda dos frutos (maio e julho). Em cada árvore foi feita a contagem dos frutos e a pesagem das sementes, em balança de gancho digital com precisão de 50 g.

Com os dados de produção, obteve-se a produção média anual, que foi utilizada como variável dependente no modelo de regressão.

#### 4.3 VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

Este trabalho utilizou os dados de indivíduos com Diâmetro na Altura do Peito (DAP) superior a 50 cm, considerados maduros sob o ponto de vista da produção de frutos. Estes indivíduos foram identificados, mapeados e medidos. Os diâmetros foram obtidos a partir da medição da circunferência das árvores com o auxílio de fita métrica.

O Raio Médio da Copa (RC), em metros, foi obtido pela média aritmética de quatro raios, obtidos pela medição das copas nas direções N, S, L e O. A direção e as distâncias dos raios foram determinadas com a utilização de bússola, trena, clinômetro e vertex. O Diâmetro da Copa (DC) foi obtido ao multiplicar-se por dois o RC.

Os competidores interespecíficos (não castanheiras), com DAP > 50 cm e que tinham uma relação sociológica entre dominante e/ou co-dominante com as castanheiras, tiveram o DC determinado.

Em relação à posição sociológica, de acordo com a situação da copa no dossel, as árvores foram classificadas como dominante, co-dominante, dominada e oprimida (FIGURA 1).

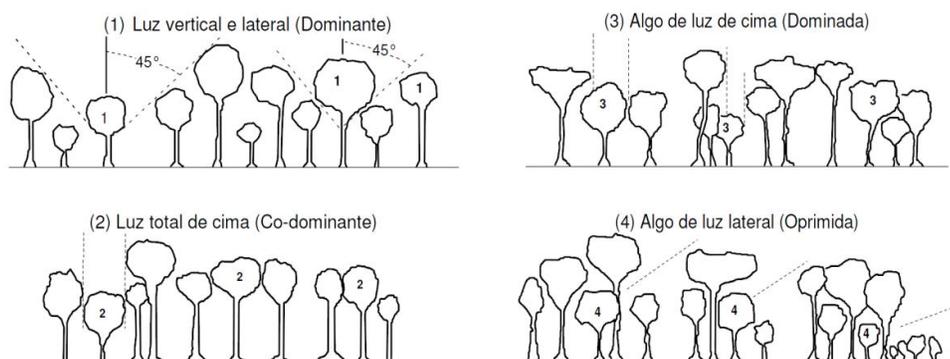


FIGURA 1 – ESQUEMA DA CLASSIFICAÇÃO DA POSIÇÃO SOCIOLÓGICA DAS ÁRVORES  
 FONTE: Dawkin (1963).

#### 4.4 ÍNDICE DE COMPETIÇÃO

Para estimar o nível de competição espacial ao qual as castanheiras estão submetidas, foi utilizado um índice dependente da distância entre os competidores. O índice escolhido foi o de Hegyi, que é definido pela expressão abaixo:

$$I_H = \sum_{i=1}^n \left( \frac{d_i}{d_j} \right) \times \frac{1}{L_{ij}} \quad (1)$$

Onde **di** e **dj** representam o diâmetro da árvore considerada (objetivo) e o da concorrente, respectivamente, em centímetros e **Lij** a distância do competidor em relação à árvore-objetivo, em metros.

Como o grau de competição entre indivíduos depende das características das copas, pois duas árvores podem ter o mesmo DAP e a mesma distância em relação a uma árvore-objetivo, mas possuem copas muito diferentes, onde a copa de uma pode ou não se projetar sobre mesma, suprimindo-a ou não, Tonini (2007), o presente trabalho modificou o índice para:

$$I_{Hm} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{d_{cco}}{d_{ccc}} \right) \times \frac{1}{L_{ij}} \quad (2)$$

Em que **I<sub>Hm</sub>** é o Índice de Hegyi modificado, **dco** é o diâmetro de copa da árvore-objetivo, **dcc** é o diâmetro de copa do competidor e **dist** a distância do competidor em relação à árvore-objetivo.

Quanto maior for o valor do índice calculado, maior é a concorrência sofrida pela árvore-objetivo. O índice relaciona a dimensão da árvore-objetivo com a (s) dimensão (ões) da (s) árvore (s) vizinha (s) competidora (s), dentro de uma da área amostral definida como sendo duas vezes o raio médio da copa da castanheira objetivo. A distância entre as árvores foi calculada com o auxílio de programa de SIG.

O índice foi utilizado como variável preditora no modelo de regressão, desta forma foi avaliado a influência da competição sobre a produção das castanheiras. Os valores dos índices (**I<sub>Hm</sub>**), do DC e da produção de sementes, foram utilizados como tema dos mapas temáticos.

#### 4.5 GEORREFERENCIAMENTO DAS ÁRVORES E USO DO SIG

Para a obtenção das distâncias, todos os competidores intra e interespecíficos foram georreferenciados, com a obtenção de coordenadas apropriadas por GPS de alta sensibilidade, contendo a tecnologia Sirf Star III e com o uso da função MÉDIA do GPS, obtendo-se uma precisão aproximada de 5m. O procedimento adotado para as operações foi descrito por (FIGUEIREDO et al., 2007).

Após serem transferidos do GPS para o computador, os dados referenciados geograficamente foram convertidos para o formato *shape file* (.shp) e inseridos em *software* (programa) de SIG, onde receberam em suas tabelas de atributos as informações de denominação (ID), diâmetro de copa (DC), índices de competição (IHm) e produção (PROD).

Para determinar quais os competidores seriam inseridos no cálculo de IHm, foram criadas áreas ao redor dos pontos (*buffers* para as coordenadas das árvores), representando exatamente o raio de copa (*rc*) e a área amostral duas vezes o raio de copa (*2\_rc*) de cada árvore. Desta forma, foi definido que os competidores seriam as árvores em que ocorria a interseção do *Buffer* (*2\_rc*) da árvore-objetivo, com os *Buffers* (*2\_rc*) de competidores. As distâncias entre os indivíduos foram obtidas e mensuradas com o auxílio de ferramentas do programa de SIG (FIGURA 2).

A figura abaixo (FIGURA 2) demonstra o processo de determinação dos competidores da árvore 20, da parcela 2 (2\_20), onde é possível observar que ocorre a interseção das áreas amostrais *2\_rc* (em cores avermelhadas), de 2\_20 com os indivíduos 2\_18 e 2\_19, portanto, os dados relativos a estes indivíduos foram utilizados no cálculo do índice de competição ao qual a castanheira 2\_20 está submetida.

Ferramentas do programa de SIG possibilitaram a visualização das áreas de interseção e seguindo o procedimento descrito acima, foram identificados quais eram os competidores e as distâncias entre todos os concorrentes nas parcelas.

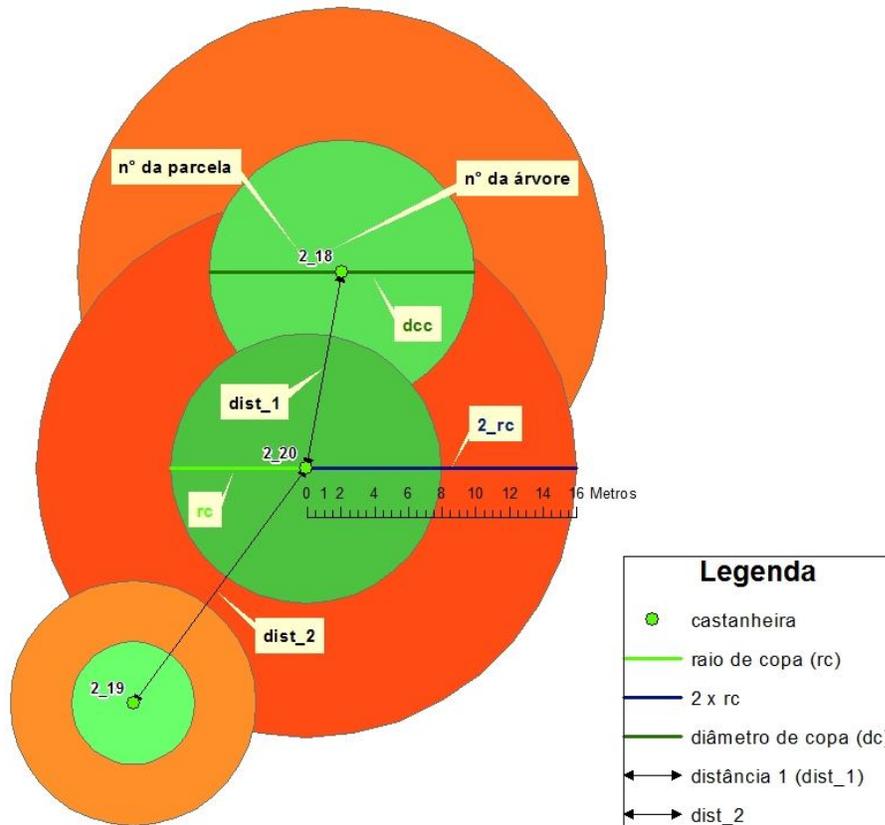


FIGURA 2 – PROCEDIMENTO DE DETERMINAÇÃO DOS COMPETIDORES  
 FONTE: O autor (2012)

#### 4.6 ANÁLISES DOS DADOS

Para a definição da variável dependente produção de sementes, foram retiradas as informações das árvores com produção média anual igual a zero, assim estabelecendo critérios para uma análise de regressão.

Os dados correlacionando a produção de sementes aos índices de competição foram visualizados em gráfico com linha de tendência, sendo determinada a correlação dos valores para mensurar a tendência apresentada.

Na seqüência, aplicou-se uma análise de regressão linear simples, com os valores de índice de competição (IHm) sendo utilizados como variável independente.

## 5. RESULTADO E DISCUSSÃO

### 5.1 A COMPETIÇÃO

No levantamento dos dados a campo, observou-se a presença de 16 indivíduos que não eram monitorados, sem informações morfológicas, mas que competiam em posições sociológicas de dominância ou co-dominância com as castanheiras-objetivo.

Após a coleta de informações foi calculada a média do diâmetro de copa destes competidores, resultando em 18,96 m. Assim, por serem árvores de grande porte capazes de competir espacialmente com as castanheiras, foram inclusas na determinação dos índices de competição.

Em média, a produção de semente das 93 castanheiras analisadas foi de 15,36 kg por ano, o indivíduo mais produtivo foi a árvore 12 da parcela 1, produzindo no período 73,91 kg de sementes, já a árvore com menor produção foi a 41, da mesma parcela, que produziu 0,10 kg.

A determinação do nível de competição, pelo índice selecionado, apontou que a árvore sobre maior competição foi a 30, da parcela 1, com  $IH_m = 0,921$ . Já o indivíduo sobre menor concorrência foi o 23, da parcela 2, com  $IH_m = 0,014$ .

A produção de sementes apresentou uma correlação não significativa com a concorrência ( $r = - 0,133$  e  $p = 0,203$ ), demonstrando uma fraca tendência de diminuição da produção com o aumento da competição medida pelo índice  $IH_m$ .

Dois modelos foram ajustados para analisar os dados, um hiperbólico  $y = b_0 + b_1/x$ , outro exponencial  $\ln y = b_0 + b_1 (\ln x)$ . A (FIGURA 3) apresenta o comportamento dos dois modelos.

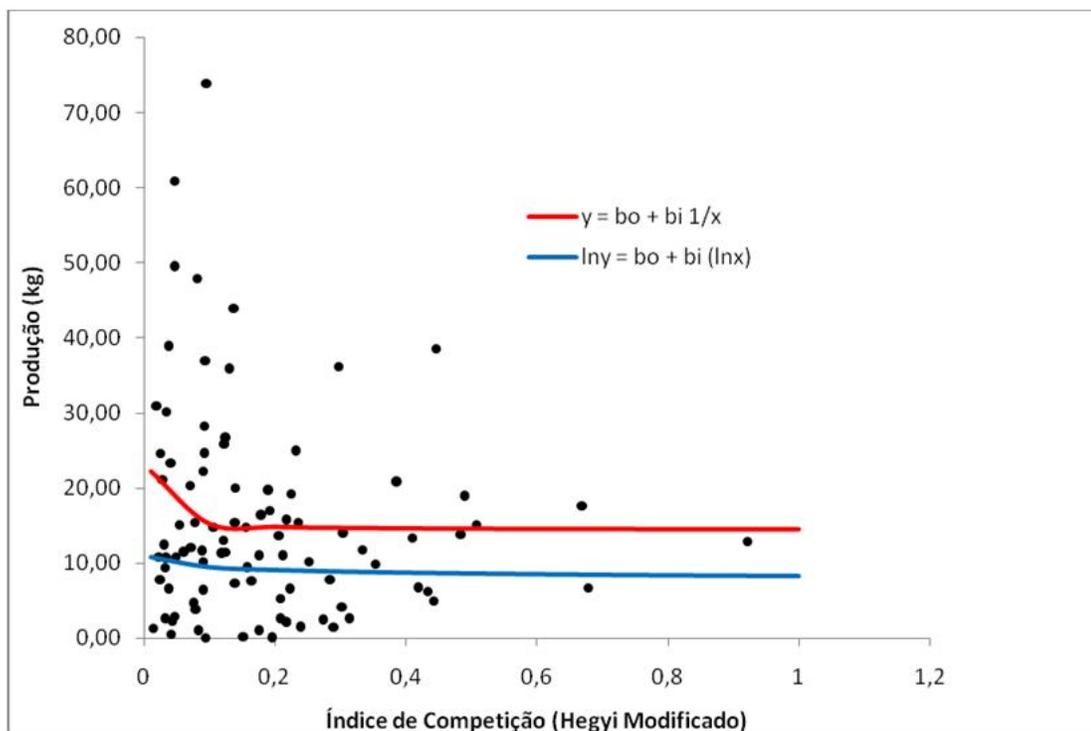


FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO E O ÍNDICE DE COMPETIÇÃO  
 FONTE: O autor (2012)

Os dados obtidos com a análise de regressão demonstraram que a competição medida pelo índice selecionado não explica de forma satisfatória as variações na produção de sementes, pois o modelo não foi significativo (TABELAS 2, 3, 4 e 5).

TABELA 2 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO AJUSTADO, HIPERBÓLICO, RELACIONANDO A PRODUÇÃO DE SEMENTES AO ÍNDICE (IHm)

FV	gl	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	91,998	91,998	0,487	0,486
Resíduo	91	17181,338	188,805		
Total	92	17273,336			

FONTE: O autor (2012)

TABELA 3 - ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO DO MODELO HIPERBÓLICO

COEFICIENTE	VALOR
R-quadrado ajustado	- 0,0056
Erro padrão	13,740

FONTE: O autor (2012)

TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DO MODELO AJUSTADO, EXPONENCIAL RELACIONANDO A PRODUÇÃO DE SEMENTES AO ÍNDICE (IHm)

FV	gl	SQ	MQ	F	P
Regressão	1	0,262	0,262	0,171	0,679
Resíduo	91	139,310	1,530		
Total	92	139,573			

FONTE: O autor (2012)

TABELA 5 - ESTATÍSTICA DE REGRESSÃO DO MODELO EXPONENCIAL

COEFICIENTE	VALOR
R-quadrado ajustado	-0,009
Erro padrão	1,237

FONTE: O autor (2012)

A baixa capacidade preditiva do índice já era esperada, Tonini et al. (2008d) ao estudarem o mesmo grupo de árvores e obterem índices espaciais (Hegyi) com o auxílio de trena e falsas coordenadas, concluíram que a relação entre a produção de sementes e a competição, apesar de significativa, explicou menos que 10% da variação na produção de sementes.

Comparativamente ao estudo de Tonini et al. (2008d), muitos são os fatores que podem ter contribuído para os resultados, como o uso do Diâmetro de Copa (DC) em substituição ao DAP na determinação do índice, a metodológica de definição do número de competidores (área amostral), a definição das distâncias (trena), e o tempo decorrido entre os estudos, fenômenos complexos ocorreram no povoamento ao longo dos anos, árvores cresceram, clareiras podem surgido e competidores podem ter sido suprimidos.

O índice de Heigy indicou o grau de interação competitiva ao qual uma árvore está submetida, mas ele não indica explicitamente se a árvore está ou não sob efeito de estresse competitivo, outros fatores, além dos competitivos, devem explicar melhor as diferenças na produção das castanheiras (TONINI, 2007).

Ivanov (2011) ao estudar castanhais em Roraima, concluiu que o máximo potencial produtivo é esperado de árvores crescendo em solos profundos, com texturas franco argilosa-arenosa ou argilo-arenosa, com copa completa, área de alburno entre 0,29961 e 0,37450 m<sup>2</sup>, e que não apresentem vasos largos solitários.

Vale salientar que o IHm apropria-se de algumas relações dimensionais que se dão sobre o solo, com enfoque no extrato superior do dossel pela inserção da variável de copa, desconsiderando os indivíduos de pequeno porte posicionados no

extrato inferior e os aspectos da competição radicular, imprevisível e de difícil medição.

## 5.2 APLICAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Em estudos anteriores Tonini et al. (2008d) concluíram que o DAP explica 18,5% da variabilidade na produção de sementes e dentre as variáveis da copa, o diâmetro de copa (DC) é a que melhor explica 15,1%.

Neste trabalho, a variável Diâmetro de Copa foi inserida na determinação do índice de competição (IHm) e teve sua capacidade em estimar o índice avaliada positivamente.

Observa-se grande potencial de uso da variável DC na análise da disposição espacial das árvores, destacando-se o procedimento no qual a mesma pode ser determinada (mensurada) por análises em *softwares* de SIG. Uma das aplicações seria o uso de imagens de satélites de alta resolução espacial e programas de SIG, para identificar e medir com precisão a copa de árvores dominantes e co-dominantes, diminuindo as atividades de obtenção de dados a campo (FIGURA 4).



FIGURA 4 – DETERMINAÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA COM USO DE SIG  
 FONTE: Google Earth (2012)

O posicionamento das árvores com o uso GPS mostrou ser uma atividade de coleta do referencial geográfico de indivíduos, mais prática e menos onerosa que a obtenção de falsas coordenadas (X e Y) com o auxílio de trena. Moravie et al. (1999) apud Tonini (2007), destacam que o custo de coleta e computação dos dados deveria ser incluído como critério na escolha de um índice de concorrência.

Com relação à precisão na localização das árvores, quando da aquisição das coordenadas a precisão do GPS variou ente 2 e 5 metros, erro dentro do esperado, conforme relatado por Figueiredo et al. (2007), que destacam a estabilidade do sistema de posicionamento de árvores com GPS de alta sensibilidade, e a imprecisão do sistema tradicional de localização X e Y utilizando trena.

O procedimento de posicionamento das árvores exerce influência direta sobre o índice de competição, pois reflete na determinação da área amostral e na mensuração das distâncias entre os indivíduos. Com a transferência das informações de posicionamento das árvores do GPS para programa de SIG, foi possível determinar as áreas e as distâncias entre os competidores em condições confortáveis de trabalho, contrastando com trabalho de determinação a campo.

### 5.2.1 Mapa Temático

O Índice de Hegyi mensura o nível da interação competitiva entre árvores, apropriando-se de dados morfométricos (DAP ou DC) e espaciais. Entretanto, o índice desconsidera algumas situações importantes para o desenvolvimento vegetal.

Não são considerados dados sobre a forma de copa e relações sociológicas, assim, pode ocorrer de duas árvores terem o mesmo DAP/DC e a mesma distância em relação a uma árvore objetivo, mas estarem submetidas a condições díspares, com forma de copa diferente, projetada ou não uma sobre a outra, sendo uma delas suprimida ou não.

Segundo Tonini (2007), outro dado importante desconsiderado pela maioria dos índices é a distribuição direcional dos competidores, não observando se os competidores estão ao mesmo lado ou em lados opostos a uma determinada árvore.

A representação das situações de nicho em um mapa é uma alternativa para ampliar a análise da competitividade espacial de árvores e uma excelente forma de exposição de resultados.

Inserindo os dados relativos à morfometria das árvores e relações sociológicas em *softwares* de SIG, é possível gerar mapa temático, determinar, mensurar sobreposições de copa, visualizar dominâncias, o sentido, direção da interação competitiva, entre outras análises possíveis.

O mapa temático gerado por este estudo está inserido no ANEXO I, para discuti-lo neste tópico, foi desmembrado em duas figuras. A (FIGURA 5), retratando a parcela 1 e a (FIGURA 6), representando a parcela 2.

Estão representados abaixo, na (FIGURA 5), as 46 castanheiras e os 7 competidores interespecíficos da parcela 1. Tons verde-escuro correspondem as maiores produções de sementes e estão delimitando o diâmetro de copa (DC), que condiz com os dados de raio de copa (RC) coletados a campo.

Tons de vermelho representam os índices de competição (IHm), eles delimitam a área amostral definida como duas vezes o raio de copa ( $2 \times RC$ ) utilizada na determinação de IHm. Os competidores interespecíficos estão em azul.

A janela no canto inferior direito destaca o posicionamento de um agrupamento de árvores de valor de IHm elevado, devido a proximidade espacial e

as características das copas de sete árvores, estimando-se que os indivíduos estão sobre um nível de concorrência elevada.

Observa-se pela janela que seis castanheiras e um indivíduo interespecífico competem espacialmente, e que as castanheiras 1\_33, 1\_35, 1\_36, 1\_37 e 1\_39 tem valor de IHm na faixa entre 0,36 a 0,80, contudo, suas produções estão em 3 faixas distintas, refletindo o resultado encontrado pela análise estatística.

O indivíduo com maior IHm foi o 1\_30, valor fortemente influenciado pela proximidade de apenas dois competidores, um deles não castanheira. Contrastando, as árvores mais produtivas foram o 1\_12 e 1\_40, que possuem um baixo valor de IHm devido a relação entre o tamanho de copas e as distâncias dos seus poucos competidores, estando sobre uma intensidade baixa de competição.

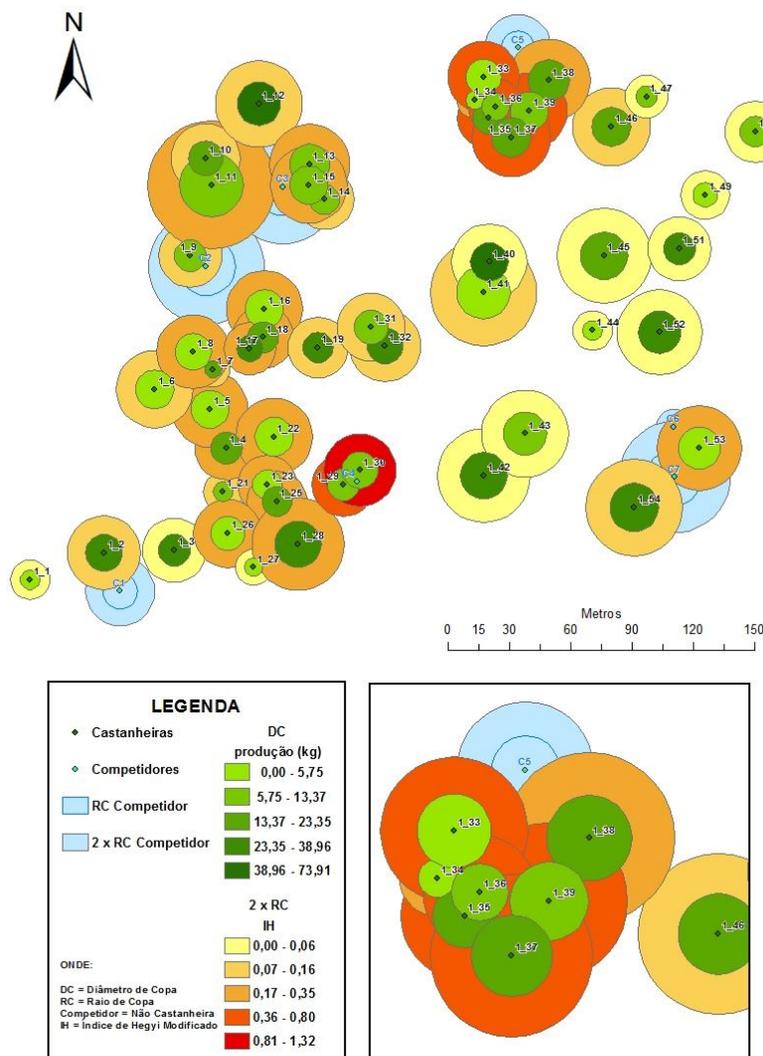


FIGURA 5 – MAPA DA PARCELA 1  
 FONTE: O autor (2012)

A (FIGURA 6) abaixo representa a disposição espacial das 47 castanheiras e dos 9 competidores não-castanheira, da parcela 2.

No canto inferior direito a janela destaca a árvore 2\_7, que pela proximidade a dois competidores, um deles não castanheira, sofre um nível de competição que pode ter influído sobre sua produção, já que seu competidor da mesma espécie, o indivíduo 2\_9, teve uma produção maior e um IHm menor.

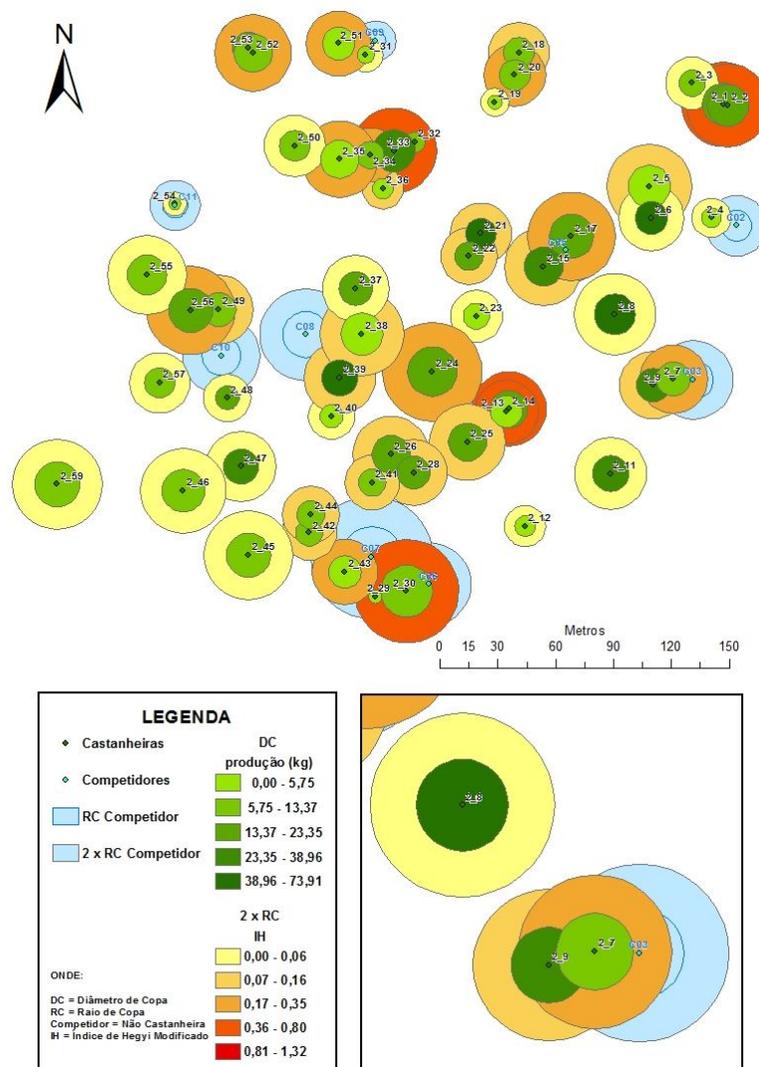


FIGURA 6 – MAPA DA PARCELA 2  
 FONTE: O autor (2012)

A castanheira 2\_7 está didaticamente representada em primeiro plano, mas observando as informações do mapa, pode-se inferir que ela tem uma relação sociológica de co-dominância ou inferior com seus competidores, pois o tamanho de sua copa é equivalente ao da 2\_9 e menor que o competidor C03.

Pela janela também se observa a posição privilegiada da árvore 2\_8, uma das mais produtivas da parcela, sendo-lhe atribuído o valor de IHm = 0,0 pois não teve determinado IHm, devido a não existência de competidores dentro de sua área amostral (2 x RC).

O procedimento foi seguido para todas as castanheiras em que não se observaram a presença de competidores.

Analisando o mapa é possível identificar indivíduos com atributos e potencial produtivo maiores que os observados em árvores mais produtivas. Os elementos 2\_45, 2\_46\_ e 2\_49, possuem diâmetro de copa maior, posição sociológica privilegiada, com pouca competição, quando comparados a indivíduos como o 2\_39, 2\_15 e 2\_1, que apresentaram uma produção de sementes maior.

Talvez, uma possível explicação para isso seja que as árvores 2\_45, 2\_46\_ e 2\_49 estão distribuídas sobre uma “faixa” de solo com características edáficas que influem negativamente sua produtividade.

Mais informações poderiam ser inseridas e obtidas no Mapa Temático, como ao atribuir valores classificando as posições sociológicas das árvores, para hierarquizar e visualizar em primeiro plano as árvores dominantes, enriquecendo a análise da população de castanheiras.

## 6. CONCLUSÃO

O efeito concorrência espacial medida pelo índice, sobre a produção de sementes de árvores de castanha-do-brasil, apresentou uma correlação negativa não significativa, não explicando de forma satisfatória as diferentes produções.

O uso de dados obtidos via SIG, na determinação de índice de competição espacial, pode fornecer informações adequadas para a análise do nível de concorrência a que árvores de castanha-do-brasil estão submetidas.

O georreferenciamento das árvores, a representação da variável diâmetro de copa, a determinação da área amostral e a mensuração da distância entre competidores, com o auxílio de GPS e *software* de SIG, reduz o trabalho de obtenção de dados a campo.

Recomendação:

Para melhor avaliar a eficiência no uso do SIG, futuros estudos devem determinar índices de competição espacial utilizando os dois métodos concomitantemente, o convencional, utilizando trena, e o que faz uso do GPS e SIG.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radambrasil: Folha NA 20, Boa Vista e parte das folhas NA 21, Tumucumaque, NB 20, Roraima e NB 21; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. 428p. (Levantamento de Recursos Naturais, 8).

CORDEIRO, L.P.; HASENACK, H.; OLIVEIRA, L.F.B. **Uso de SIG na especialização de modelos de distribuição de *zygodontomys brevicauda* nas savanas de Roraima**. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/artigos/savanas.pdf>> Acesso em: 1 agosto 2012.

CORTE, A. P. D. **Sistemas de informação geográfica (sig) e geotecnologias aplicadas a gestão florestal**. Apostila de Curso. UFPR – 2011. 60p.

COSTA, E. A. **Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *araucaria angustifolia* (bertol.) Kuntze, Lages, SC**. 140 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2011.

CUNHA, U. S. **Análise da estrutura espacial horizontal de uma floresta de terra firme da Amazônia**. 126 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CUNHA, T. A. **Modelagem do incremento de árvores individuais de *Cedrela odorata* L. na Floresta Amazônica**. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

DAWKINS, H. C. Crown diameters: their relationship to bole diameter in tropical trees. *Commonw. Forest Review*, v.42, p. 318-333, 1963.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; OLIVEIRA, M. V. N. d'. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2007. 183 p.

GOOGLE EARTH. **A 3D interface to the planet**. Apresenta o programa interativo do Google Earth. Disponível em < <http://earth.google.com/>>. Acesso: em 17 de setembro de 2012.

IVANOV, G. B. **Influência de variáveis individuais e ambientais na produção de frutos e sementes da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**. 92p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2011.

KAMINSKI, P.E.; TONINI, H.; COSTA, P. **Estrutura e Distribuição Espacial da Andiroba em Floresta Natural de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008. n. 09, 7 p. Comunicado Técnico.

MIRANDA, José Iguelmar. **Fundamentos de Sistemas de Informacoes Geograficas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 425 p.

RODE, R.; FILHO, A. F.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *araucaria angustifolia* e em uma floresta ombrófila mista no centro-sul do PARANÁ. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 2, p. 255-268, 2010.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; CASTILHO, A.; MORAIS, K. A. C. Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para as comunidades da Amazônia setentrional. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 1, n. 2, p. 65-78, 2006.

SALOMÃO, R. P. Densidade, estrutura e distribuição espacial de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* H. & B.) em dois platôs de floresta ombrófila densa na Amazônia setentrional brasileira. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Belém, v. 4, n. 1, p. 11-25, 2009.

SANTOS, A. T. **Análise do crescimento e simulação de manejo de um plantio de *Ocotea porosa***. 93p. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Programa Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SCOLES, R. **Ecologia e extrativismo da castanheira (*Bertholletia excelsa*, *Lecythidaceae*) em duas regiões da Amazônia brasileira**. 193 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – INPA, Manaus, 2010.

SILVA, J. N. M.; LOPES J. C. A. **Distribuição espacial de árvores na Floresta Nacional do Tapajós**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1982. n. 26, 14p. Circular Técnica.

TONINI, H.; LOPES, C.E.V.; KAMINSKI, P.E.; COSTA, P. **Perfil do extrativismo e características da cadeia produtiva da castanha-do-brasil em projetos de reforma agrária do sul do Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2006. n. 07, 33 p. Documentos.

TONINI, H. **Índice de competição e o seu uso na modelagem do crescimento das arvores**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007. n. 08, 30 p. Documentos.

TONINI, H.; COSTA, P.; KAMINSKY, P. E.; Schwengber L. A. M.; Turcatel, R. **Estrutura e distribuição espacial da castanheira-do-brasil em florestas naturais de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008a. n. 08, 6 p. Comunicado Técnico.  
TONINI, H.; COSTA, P. D.; KAMINSKY, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, p. 445-457, 2008b.

TONINI, H.; KAMINSKY, P. E.; COSTA, P. **Manejo de produtos florestais não madeireiros na Amazonia - (Castanheira-do-Brasil)**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2008c. n. 2, 31 p. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento.

TONINI, H.; KAMINSKY, P. E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 11, p.1509-1516, 2008d.

WADT, L.H.O.; KAINER, K.A.; GOMES-SILVA, D.A.P. Population structure and nut yield of *Bertholletia excelsa* stand in southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v.211, p.371-384, 2005.

**ANEXOS**

Anexo 1. Mapa Temático das Parcelas.....	36
--	----

