

Instituto de Ciências Biológicas  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre.

# **A POLINIZAÇÃO COMO UM SERVIÇO DO ECOSSISTEMA: UMA ESTRATÉGIA ECONÔMICA PARA A CONSERVAÇÃO.**

Aluna: Flávia Monteiro Coelho Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Paulo De Marco Júnior

Tese apresentada a Universidade de Minas Gerais como parte das exigências do programa de pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre, para obtenção do título de Doutor.

**BELO HORIZONTE  
MINAS GERAIS – BRASIL  
MARÇO - 2008**

Ao meu pai, meu maior incentivador.  
Aquele que sempre fez de cada conquista  
uma grande vitória.

*“O fracasso jamais me surpreenderá se minha decisão.  
de vencer for suficientemente forte”.*

(Og Mandino)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a oportunidade de ter chegado até aqui trabalhando com prazer e dedicação embora muitas vezes tenha encontrado pedras pelo caminho.

Agradeço a minha família, que se fez sempre presente contribuindo a sua maneira para que eu fizesse o melhor possível. Meu pai, que foi sempre meu maior incentivador, valorizando cada pequena conquista que eu tivesse. Infelizmente ele não pôde estar aqui pra ver isso. Minha mãe, exemplo de coragem e determinação capazes de me guiar por toda a vida. Minha irmã, amiga e compromisso de fazer sempre o melhor para lhe servir de exemplo. E meu esposo, companheiro paciente e fiel que jamais me deixou vacilar quanto ao cumprimento dessa meta.

Agradeço aos meus amigos e companheiros de laboratório, que compartilharam comigo cada etapa do trabalho; que foram comigo a campo, que se deram ao trabalho de ler o que escrevi, que riram da minha ansiedade e brincaram comigo tornando este trabalho ainda mais prazeroso. Espero poder contribuir também com o trabalho de vocês.

Ao meu orientador, Paulo De Marco, que me ensinou a jamais ter medo de pensar e expor minhas idéias, que me ensinou que o sol nasceu para todos mas a sombra só pra quem merece. Percebemos que pensamos diferente em algumas coisas, mas encontramos o prazer de fazer das diferenças o encantamento de trabalhar bem juntos.

Ao meu amigo Lúcio Campos, que agindo nos bastidores, foi essencial para que pudéssemos dar sentido a maior parte do que encontramos. Sua experiência fez dele meu verdadeiro guru.

Aos companheiros do grupo de estudos sobre ecologia de sistemas agroflorestais e aos produtores rurais da região de Araponga, que deram sentido ao meu trabalho. Percebo claramente a importância de fazermos com que algo produzido nos laboratórios seja útil para melhorar nossa qualidade de vida.

Agradeço ainda ao Instituto Estadual de Floresta (IEF) que muito cordialmente cedeu as imagens de satélite da região para que eu pudesse concluir meu trabalho. À Universidade Federal de Viçosa que me acolheu como aluna. À FAPEMIG, que me concedeu a bolsa de doutorado e em especial ao CTA e à Associação de agricultores de

Araponga que contribuíram sobremaneira para a logística do trabalho e contato com os agricultores da região.

Por fim, agradeço à UFMG, que me proporcionou o encontro com professores, funcionários e alunos maravilhosos que muito me ensinaram e que hoje considero amigos, em especial à Mary e à Joyce, secretárias maravilhosas com quem sempre pude contar.

## ÍNDICE

### **A POLINIZAÇÃO COMO UM SERVIÇO DO ECOSSISTEMA: UMA ESTRATÉGIA ECONÔMICA PARA A CONSERVAÇÃO.**

<b>RESUMO.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>HISTÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I: COMUNIDADE DE VISITANTES FLORAIS E SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ NA ZONA DA MATA MINEIRA</b>	
<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>16</b>
<b>Área de estudo.....</b>	<b>16</b>
<b>Delineamento experimental .....</b>	<b>19</b>
<b>Os visitantes florais.....</b>	<b>21</b>
<b>Análise dos dados.....</b>	<b>22</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>36</b>

## **CAPÍTULO II: IMPORTÂNCIA DA POLINIZAÇÃO BIÓTICA NA PRODUTIVIDADE DO CAFEZAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO**

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>48</b>
<b>Papel da espécie <i>Apis mellifera</i> como polinizador efetivo do café .....</b>	<b>48</b>
<b>Produtividade do café e práticas agroecológicas .....</b>	<b>50</b>
<b>Análise dos dados.....</b>	<b>51</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
<b>Papel da espécie <i>Apis mellifera</i> como polinizador efetivo do café .....</b>	<b>52</b>
<b>Produtividade do café e práticas agroecológicas .....</b>	<b>52</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>

## **CAPÍTULO III: O EFEITO DA PAISAGEM SOBRE A PRODUTIVIDADE DOS CAFEZAIS**

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>68</b>
<b>A produtividade da cultura .....</b>	<b>68</b>
<b>A imagem de satélite.....</b>	<b>69</b>
<b>A cobertura vegetal e medidas de fragmentação da paisagem.....</b>	<b>70</b>
<b>Análises de dados .....</b>	<b>72</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>76</b>
<b>Efeito da área de mata sobre produtividade do café.....</b>	<b>76</b>
<b>Efeito da paisagem sobre produtividade do café .....</b>	<b>78</b>
<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>



# A POLINIZAÇÃO COMO UM SERVIÇO DO ECOSISTEMA: UMA ESTRATÉGIA ECONÔMICA PARA A CONSERVAÇÃO.

## RESUMO

Os chamados serviços do ecossistema, funções naturais de um ecossistema utilizadas em processos produtivos humanos, têm sido amplamente explorados sob o ponto de vista científico. Entretanto, a ecologia dos serviços do ecossistema ainda é pouco conhecida, o que limita nossa habilidade em entender seu valor e em planejar sua conservação e manejo. A conversão de florestas bem como a expansão da agricultura têm transformado a paisagem em todo o planeta, resultando na perda de biodiversidade e conseqüentemente causando danos aos serviços do ecossistema. Estudos mostram que tais conseqüências estão diretamente associadas à extinção local das espécies causada principalmente pelo isolamento das mesmas em pequenos fragmentos inseridos numa matriz pouco permeável. Esse problema também atinge as comunidades de abelhas, principais polinizadores existentes, comprometendo a frutificação de muitas plantas nativas e cultivadas. De maneira geral, a polinização de plantas cultivadas depende do manejo da cultura e da qualidade dos habitats adjacentes. O desenvolvimento de práticas agrícolas ecologicamente favoráveis, caracterizadas pelos sistemas agroecológicos, tem promovido uma matriz de alta qualidade para a biodiversidade, que mantém maior semelhança com os habitats naturais facilitando a dispersão das espécies e a manutenção da biodiversidade. Nosso objetivo foi identificar quais os fatores determinantes para aumento de produtividade de culturas de café, sob aspecto da polinização, na zona da Mata de Minas Gerais, em três diferentes escalas: da planta, do sistema de cultivo e da paisagem. Para isso, contamos com experimentos pareados de polinização em propriedades com sistema de cultivo convencional e agroflorestal e realizamos uma análise da paisagem com base em imagens de satélite Landsat 5 para identificar quais as variáveis relacionadas à fragmentação da paisagem são determinantes na produtividade da cultura. No que diz respeito à planta e ao sistema de cultivo observamos que os polinizadores são responsáveis por um aumento de 5% na produção de frutos tanto nos sistemas convencionais como nos agroflorestais, que embora floristicamente mais ricos abrigaram uma fauna de abelhas semelhante a dos sistemas convencionais. *Apis mellifera* é a espécie dominante na visita as flores de café,

com uma eficiência de 43% no processo polinização. Quanto ao efeito da paisagem sobre o aumento de produtividade observamos que os fragmentos mais próximos à cultura são importantes para o ganho em produção por funcionarem como fonte de polinizadores. Entretanto, quando esta distância é superior a 250m ocorre uma competição entre fontes de recursos. Abelhas presentes nos fragmentos provavelmente visitarão a fonte de recurso mais próxima, que pode estar em diferentes porções da paisagem incluindo outras áreas de plantio de café, gerando assim um efeito negativo sobre a produtividade da área analisada. Outra variável importante é o comprimento de borda dos fragmentos que contribui com espécies sociais capazes de recrutar companheiras para a coleta de recursos, proporcionando uma maior produção de frutos.

## ABSTRACT

Ecosystem services, natural functions used in human productive process has been explored in scientific work. However, little is known about the ecology of ecosystem services, which has limited our ability to understand its value and plan its conservation and management. The conversion of forestry and the expansion of agricultural areas have transformed the landscape resulting in biodiversity loss and damage to ecosystem services. These consequences are associated to local extinction of many species caused mainly by its isolation on small fragments inserted in a few permeably matrix. This problem strikes the community of bees, main pollinators existent, compromising wild and cultivated plants fruit set. The pollination of cultivated species depends on the management of the culture and adjacent habitats. The agroecological practice has promoted a high quality matrix that facilitates the dispersion of pollinators and the maintenance of biodiversity. Our objective was to identify which factors are related to pollination to determine productivity of coffee plantation at Zona da Mata in the state of Minas Gerais, Brazil, on three different scales: the plant, the cultivation system and the landscape. We used paired experiments of pollination (with and without pollinators) in conventional and agroforestry systems and analyzed the Landsat5 images of landscape, to identify which variables related to fragmentation are determinant on productivity. We observed that pollinators are responsible for an increase of 5% in fruit set in conventional and agroforestry systems, that saves a similar fauna of bees. *Apis mellifera* was the dominant species on flower visits and presented an efficiency of 43% on the pollination process. The nearest fragments of forestry contribute to fruit set because of the function as a source of pollinators. For the fragments that were more distant than 250m occurred a competition between flowers sources, the bees present in a fragment tends to visit the nearest flowers that can be concentrated on a different portion of the landscape, including another coffee plantation. This can generate a negative effect of size on fruit set. Another important variable is the edge length that contributes with social species capable of recruiting partners to collect resources increasing the fruit set.

## HISTÓRICO

A história deste trabalho começa em 1993, quando um grupo de agricultores do município de Araçuaia – MG juntamente com o sindicato de agricultores procurou a Universidade Federal de Viçosa na expectativa de solucionar um problema; o empobrecimento de suas terras, que segundo os produtores de café da região estavam reduzindo a produção anual.

Durante três dias agricultores e acadêmicos discutiram minuciosamente o assunto em um Diagnóstico Rápido Participativo (DRP) e chegaram à conclusão de que o empobrecimento do solo se devia em grande parte a um processo de erosão (Franco et al. 2002). A partir daí mais de 30 agricultores de 11 municípios da região experimentaram plantar árvores com café na tentativa de minimizar o problema da erosão, que afetava diretamente a produção de café.

Com a experimentação várias perguntas surgiram e para respondê-las muitos projetos foram e são desenvolvidos. Doze anos depois (2005) aconteceu a sistematização, verificação daquilo que foi aprendido com os Sistemas Agroflorestais (SAF) através de discussões entre pesquisadores, produtores e representantes da comunidade.

Este trabalho é fruto de algumas das perguntas feitas pelos agricultores durante todo o processo e foi realizado na tentativa de melhorar as condições sócio-econômica-ambientais locais além da contribuição científica que representa. O trabalho foi realizado de maneira participativa com total envolvimento dos produtores, que conheceram o delineamento experimental e entenderam o porquê da metodologia de estudo, participaram da montagem dos experimentos, acompanharam cada resultado e discutiram sua importância para a melhoria da qualidade de vida da comunidade.

Nos últimos quatro anos três eventos foram essenciais no processo de acompanhamento deste e de outros trabalhos na região. No ano de 2004 realizamos o “I Café Com Ciência”, evento sediado no município de Araçuaia que teve como objetivo

apresentar aos produtores rurais os projetos de pesquisa que seriam desenvolvidos em suas propriedades a partir daquele momento. No ano de 2005 realizamos o “II Café com Ciência”, no qual os produtores rurais e suas famílias foram trazidos até a Universidade Federal de Viçosa para conhecerem o trabalho de cada pesquisador em laboratório. E, por fim, realizamos o “III Café Com Ciência”, evento novamente realizado no município de Araponga – MG no qual foram apresentados e discutidos os resultados dos projetos desenvolvidos. Nosso propósito foi convencer os agricultores da importância de serviços como a polinização e seu uso potencial como incremento da produção e agregação de valor ambiental. E, esperamos que os trabalhos desenvolvidos possam causar uma mudança de atitude dos produtores quanto à conservação da paisagem natural e à sustentabilidade de seus sistemas de cultivo.

## INTRODUÇÃO GERAL

A expansão e intensificação das culturas agrícolas estão entre as principais mudanças globais do século. A intensificação da agricultura, o uso de fertilizantes, irrigação e pesticidas tem contribuído substancialmente com o aumento de produção de alimentos nos últimos 50 anos (Matson et al., 1997). Mesmo assim, em muitos sistemas o uso da paisagem caracteriza-se pela ineficiente produção agrícola, aliada à degradação dos habitats naturais. Na tentativa de sanar os efeitos negativos da baixa produtividade da cultura o produtor amplia suas áreas de cultivo desmatando a vegetação natural, o que causa a perda de biodiversidade (Trewavas, 2001). Esse é um problema que acomete grandes áreas de fronteira agrícola em regiões como os estados do Mato Grosso, Amazonas e Pará, mas que também acaba por ocorrer novamente em áreas há muito tempo colonizadas, mas que perderam sua produtividade em função de usos inadequados, como o interior do estado de Minas Gerais.

A conversão da paisagem natural em agricultura altera as interações bióticas e a disponibilidade de recursos no ecossistema, podendo gerar sérias conseqüências tanto em nível local e regional quanto global (Matson et al., 1997). O que na verdade ocorre é uma paisagem de fragmentos de vegetação nativa numa matriz de sistemas produtivos. Estudos anteriores mostram que o maior problema da perda de biodiversidade está na extinção local das espécies causada principalmente pelo isolamento das mesmas em pequenos fragmentos inseridos em uma matriz pouco permeável (Burkey, 1989; Gascon et al., 1999). Em parte, o baixo potencial de migração de espécies entre fragmentos deve-se às características dos sistemas intensivos de produção capazes de gerar problemas ambientais como a erosão e empobrecimento do solo (Gascon et al., 1999; Matson et al., 1997).

O desenvolvimento de práticas agrícolas ecologicamente favoráveis caracterizado pelos sistemas agroecológicos (Altieri, 1999) tem promovido uma matriz de alta qualidade para a biodiversidade, que mantém maior semelhança com os habitats

naturais facilitando a dispersão das espécies e a manutenção da biodiversidade (Vandermeer & Perfecto, 2007). Além disso, há cada vez mais o reconhecimento de que a manutenção dessa fauna pode trazer benefícios importantes para as áreas agrícolas em termos de controle de pragas (Ricketts et al., 2004) e polinização das culturas (Altieri, 1987; Vandermeer & Perfecto, 2006).

O café (*Coffea arabica* e *Coffea canephora* -Rubiaceae) está entre os cinco principais produtos agrícolas de maior peso no comércio mundial e sua produção distribui-se por inúmeros países, sendo Brasil, Vietnã e Colômbia os maiores produtores ([www.embrapa.br/cafe](http://www.embrapa.br/cafe)). O Brasil é o maior produtor mundial (30% do volume) com aproximadamente 42 milhões de sacas produzidas por ano ([www.embrapa.br/cafe](http://www.embrapa.br/cafe)). São cinco milhões de sacas de café industrializado contra 27 milhões de sacas de café verde, totalizando quase US\$ 1,0 bilhão/ano em exportações ([www.abic.com.br/exportacao](http://www.abic.com.br/exportacao)), o que representa um papel extremamente importante na economia brasileira. Introduzido no Brasil no início do século XVIII, o café foi o grande responsável pelo desenvolvimento e posterior industrialização de alguns estados como São Paulo e Minas Gerais. Além disso, o café não é apenas gerador de renda, mas também distribuidor da mesma, pois apresenta uma grande capacidade de absorção de mão de obra direta e indireta.

A espécie *Coffea arabica* pertence a família Rubiaceae e caracteriza-se como um arbusto ou árvore pequena com uma altura aproximada de 3 metros. O caule principal é ereto e dele partem ramos secundários repletos de folhas opostas. As flores brancas pentâmeras são perfumadas e surgem em grande profusão na porção axial das folhas. Cada cluster pode apresentar de duas a vinte flores. Suas flores são tubulares, pentâmeras e apresentam cinco estames e um estigma. O pólen é liberado logo após a abertura da flor quando o estigma se torna receptivo. Em dias de sol as flores se abrem logo pela manhã liberando uma pequena quantidade de pólen que pode ser transportado pelo vento ou por insetos garantindo o processo de polinização. Em dias nublados pode ocorrer alta polinização das flores caso estas não se abram. Dois dias após a abertura ou

fertilização das flores fechadas, observa-se a queda de partes florais deixando na planta o ovário que irá se transformar em um fruto. Embora esta espécie seja auto-compatível a presença de insetos tem contribuído com o processo de polinização e melhorado a quantidade e qualidade dos frutos produzidos (McGregor, 1976).

O sistema agroflorestal é um dos diversos tipos de agroecossistema que tem recebido atenção especial das organizações conservacionistas nos últimos anos. Neste sistema o café cresce sob uma copa estrutural e floristicamente rica que abriga uma alta diversidade de espécies da flora e da fauna (Perfecto et al., 2005). Esta diversidade florística representa uma importante fonte de recursos para diferentes espécies de abelhas que delas retiram néctar, pólen, óleos e resinas. Além disso, as abelhas podem utilizar as árvores como locais para a construção de seus ninhos. Sua semelhança com o ambiente natural e a ausência de agrotóxicos propicia características ambientais menos inóspitas a muitas espécies, preservando não apenas a biodiversidade como também os chamados serviços do ecossistema. Contrariamente, muitas características associadas à agricultura moderna fazem dos agroecossistemas habitats pobres para abelhas nativas e outros polinizadores uma vez que não fornecem todos os recursos necessários para sua sobrevivência, como locais para nidificação, recursos alimentares e condições físicas (Heard, 1999).

Do ponto de vista do conceito de integridade biótica, consideramos que ecossistemas são conjuntos funcionais compostos por elementos e processos (Keddy and Lee, 1993). Os elementos são as espécies biológicas e os processos, ou funções, são os mecanismos de funcionamento do ecossistema. Quando funções naturais de um ecossistema podem ser, secundariamente, utilizadas em processos produtivos humanos, são denominadas serviços do ecossistema (Altieri, 1999; Costanza et al., 1997; Daily, 1999; Fearnside, 1988; Masood & Garwin, 1998). Estes serviços envolvem processos biológicos, geológicos e químicos (Kearns et al., 1998) e podem ser representados pela ciclagem de nutrientes, a regulação de gases e de águas, a regulação climática, o

controle biológico, os refúgios populacionais, os recursos genéticos, a beleza cênica explorada no ecoturismo e a polinização.

Segundo Costanza et al. (1997), os serviços prestados pelo ecossistema equivalem em média a 33 trilhões de dólares por ano, sendo a polinização responsável por 112 bilhões destes. Balmford (2002), através de uma análise de 300 estudos de caso estimou que o custo-benefício de um programa global de conservação efetivo é de 1:100 baseado nos serviços do ecossistema e que o valor econômico de uma floresta é 14% maior quando manejada de forma sustentável. Estimativas independentes mostram que o valor anual para a polinização de culturas agrícolas é de 20 a 40 bilhões só nos Estados Unidos. Para a agricultura global, este valor gira em torno de 200 bilhões de dólares (Kearns et al., 1998).

Sabe-se ainda, que a polinização de plantas cultivadas depende do manejo da cultura e da qualidade dos habitats adjacentes (Klein et al., 2003). Com a alteração dos sistemas naturais e a perda de espécies polinizadoras, a produtividade agrícola tem diminuído, em diversas culturas (Bhatia et al., 1995; Collevatti et al., 1997; Collevatti et al., 2000; Ish-Am & Eisikowitch, 1998; Manzoorulhaq Rafieuldin & Ghaffar, 1978; Moreti et al., 1996; Vaissiere et al., 1996; Vicens & Bosch, 2000).

Roubik (2002) verificou que as abelhas africanas são dominantes na visitação das flores de café em cultivos agroflorestais no Panamá e que 36% da produção total é controlada por esta espécie, capaz de gerar um aumento de 49% na produção da cultura e de 25% em ganho de massa do fruto. Entretanto, Roubik observou ainda que, embora em muitos países as áreas de cultivo tenham aumentado de duas a cinco vezes nos últimos 41 anos, a produção de café tem diminuído de 20 a 50% e atribui tal resultado à remoção dos habitats naturais das espécies polinizadoras. De Marco & Coelho (2004) verificaram que cultivos próximos a fragmentos de mata nativa (distância < 1 Km) produzem, em média, 14,6% a mais quando comparados a sistemas distantes desses fragmentos. Desta forma, os polinizadores podem garantir o aumento da produtividade agrícola e contribuir para a melhoria da qualidade dos produtos obtidos. Estudos mais

recentes também demonstraram que existe uma relação entre a distância do fragmento e a vantagem advinda do serviço que o ecossistema presta à cultura (Klein et al., 2003; Kremen et al., 2002; Ricketts et al., 2004; Ricketts, 2004). Esse efeito da distância sugere que variáveis relacionadas à ecologia da paisagem como a permeabilidade à dispersão dos polinizadores podem ser essenciais neste tipo de estudo, e abre uma nova linha de pensamento que ainda não foi convenientemente explorada.

Pouco se sabe a respeito da ecologia dos serviços do ecossistema, o que tem limitado nossas habilidades em entender seu valor e em planejar sua conservação e manejo (Kremen et al., 2004). A importância econômica e ecológica do café na América Latina é uma excelente oportunidade para desenvolver programas de desenvolvimento sustentável combinando conservação e economia (Philpott & Dietsch, 2003).

## **OBJETIVOS**

O principal objetivo deste trabalho foi verificar a importância da conservação dos fragmentos de vegetação nativa e o uso de sistemas agroflorestais na produtividade dos cafezais na zona da mata de Minas Gerais. Para testar as hipóteses a seguir partimos do princípio de que grande parte das espécies de abelhas constrói seus ninhos em troncos de árvores e utilizam recursos das matas; recursos estes que compõem seu nicho ecológico e garantem a sua sobrevivência.

Esta tese está dividida em três capítulos onde foram testadas as hipóteses a seguir.

### **Capítulo I**

- a. Hipótese 1 – Os sistemas agroflorestais apresentam maior riqueza de espécies de abelhas comparado aos sistemas convencionais de cultivo.
- b. Hipótese 2 – A distribuição de abundâncias das espécies é semelhante nos sistemas convencional e agroflorestal de cultivo.

### **Capítulo II**

- a. Hipótese 1 – *Apis mellifera* contribui com a polinização de *Coffea arabica* aumentando a produção de frutos
- b. Hipótese 2 – A visita de polinizadores aumenta a proporção de frutos produzidos por flor de café.
- c. Hipótese 3 – O efeito da polinização sobre a produtividade do cafezal é maior em áreas com sistema de cultivo agroflorestal comparado ao sistema convencional

### **Capítulo III**

- a. Hipótese 1 – Quanto maior é a área de mata ao redor dos cafezais maior é sua produtividade.
- b. Hipótese 2 – Quanto maiores os indicadores de fragmentação da paisagem ao redor da cultura num raio de 1000m, menor a produtividade da cultura.

## CAPÍTULO I

### COMUNIDADE DE VISITANTES FLORAIS E SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ NA ZONA DA MATA MINEIRA

#### INTRODUÇÃO

As abelhas sempre atraíram a curiosidade do homem. O mel e outros produtos da colméia sempre estiveram entre os mais valorizados bens de consumo da humanidade em todos os continentes em que o homem se estabeleceu. Entretanto, uma atenção maior tem sido dispensada ao seu papel na comunidade como polinizadoras, serviço ecológico essencial para a reprodução e manutenção da variabilidade genética de muitas espécies de plantas (Heithaus, 1974; Kearns et al., 1998). Com isso as abelhas também interferem na produção de frutos e sementes importantes na dieta de muitos organismos, inclusive o homem. Segundo Roubik (1993) há uma dominância de espécies de abelhas eussociais com colônias frequentemente populosas nos trópicos. Essas colônias tendem a ser ativas durante todo o ano, com operárias capazes de recrutar suas companheiras tornando-as os principais polinizadores existentes.

Nos últimos anos a preocupação com a conservação das abelhas tem crescido bastante devido ao declínio de polinizadores e conseqüentemente da polinização em paisagens densamente ocupadas por atividades econômicas (Allen-Wardell et al., 1998; Kevan & Viana, 2003; Westerkamp & Gottsberger, 2002). Dentre os fatores que mais contribuem para a redução da diversidade de abelhas estão a fragmentação de habitats naturais, que tem sua origem nos desmatamentos, o uso de pesticidas em culturas agrícolas e a introdução de espécies capazes de competir com as abelhas nativas principalmente pelos recursos florais (Allen-Wardell et al., 1998; Kearns et al., 1998; Kevan & Viana, 2003).

A fragmentação faz com que os indivíduos de diferentes espécies tenham que se deslocar mais na paisagem em busca de recursos que garantam a sua sobrevivência. De acordo com Roubik & Ackerman (1989), as distâncias de forrageamento das abelhas podem ser influenciadas por fatores como: a proximidade da fonte de recurso e a necessidade da colônia. O raio de exploração de recurso varia de acordo com a espécie de abelha, sendo de 200 a 600 metros para espécies do porte de *Nanotrigona*

*testaceicornis*, *Plebeia droryana* e *Tetragonisca angustula* (Wille, 1983) e até a 2.850 metros para *Apis mellifera*, apresentando uma relação positiva com o tamanho corporal e o tamanho da colônia (Beekman et al., 2004).

As constantes alterações que ocorrem nesses ambientes e a competição entre as espécies têm causado mudanças nos locais utilizados para nidificação e nas fontes de recursos de algumas espécies, principalmente em Meliponinae (Batista et al., 2003; Nogueira-Neto, 1970). Espécies desse grupo conseguem adaptar-se às novas condições, nidificando nos mais variados substratos (Camargo, 1970) e visitando diferentes espécies vegetais em busca de recursos para o desenvolvimento de suas colônias (Araújo et al., 2006; Carvalho et al., 1999; Ramalho et al., 1990; Taura & Laroca, 1991).

A maioria das espécies de abelhas sociais utiliza cavidades em troncos de árvores para construir seus ninhos, mas podem também nidificar no solo em ninhos de formiga e cupins abandonados, em barrancos, usar galhos de árvores como suporte para a construção do ninho, etc (Camargo, 1970). Quanto aos recursos florais as abelhas exploram principalmente pólen e néctar das flores e uma vez que tais recursos encontram-se distribuídos de maneira heterogênea nas diferentes escalas espaciais os forrageadores parecem maximizar as taxas de aquisição de recursos (Charnov, 1976). As abelhas podem ajustar sua rota de forrageamento a partir da disponibilidade dos recursos, deixando rapidamente áreas com poucas ou nenhuma flor (Pyke, 1984).

Os sistemas agroflorestais têm surgido como uma alternativa para a manutenção da biodiversidade em áreas impactadas pela monocultura e representam a necessidade de produção agrícola atrelada a práticas ecológica e socialmente sustentáveis. Armbrrecht et al. (2005), estudando comunidades de formigas em áreas com diferentes sistemas de cultivo de café na Colômbia, mostraram que a intensificação agrícola reduz a diversidade de espécies e a complexidade das comunidades e interfere diretamente nas interações ecológicas. O uso de outras espécies vegetais associadas ao café transforma a monocultura em um ambiente mais heterogêneo, aumentando a disponibilidade de recursos florais e de locais para a nidificação minimizando assim, o grau de dispersão das abelhas na paisagem. Segundo a teoria de complementaridade de nichos (Tilman & Kareiva, 1997) a produtividade de um sistema aumenta com a riqueza de espécies da comunidade uma vez que, quanto maior o número de espécies maior é a eficiência em explorar os recursos. Logo, espera-se que comparado às monoculturas, os sistemas

agroflorestais apresentem maior diversidade de abelhas e que isso contribua diretamente com a produtividade do sistema.

Assim como a riqueza de espécies, a distribuição de abundâncias dos indivíduos em todas as espécies diz muito sobre a diversidade da comunidade. Esta distribuição pode ser relacionado à teoria neutra proposta por Hubbell (2001). De Marco (2006) em sua discussão sobre os caminhos para uma teoria unificada em ecologia descreve os princípios dessa teoria na qual todos os indivíduos dentro de uma comunidade são “iguais” com respeito à probabilidade *per capita* de ter filhotes, morrer, migrar e de especiar. Neste contexto, uma espécie não pode aumentar sem que esse efeito seja contrabalançado com a diminuição da abundância de outras espécies presentes. Para Hubbell o total de indivíduos por unidade de área é constante e processos estocásticos comandam as variações de abundâncias das espécies. Assim, espera-se que a distribuição de abundâncias independa do sistema de cultivo de café e que qualquer variação nesta grandeza se deva apenas ao acaso.

Os objetivos deste capítulo são testar as hipóteses de que (1) Os sistemas agroflorestais apresentam maior riqueza de espécies de abelhas comparado aos sistemas convencionais de cultivo e (2) A distribuição de abundâncias das espécies é semelhante nesses sistemas.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

O trabalho foi realizado no município Araponga na região próxima ao parque Estadual da Serra do Brigadeiro, localizado na Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, a aproximadamente 950 m de altitude, nas coordenadas geográficas 20°42' Sul e 42°31' Oeste em sistemas de cultivo convencionais (SC) e em sistemas de cultivos agroflorestais (SAF) com diferentes formações.

O café (*Coffea arabica* - Rubiaceae) é plantado na região em área de morro com solo típico latossolo vermelho amarelo em espaçamento médio de 3,0 m x 1,0 m. Nesta região a principal florada ocorre em agosto, podendo ocorrer floradas, também, em setembro e outubro.

O sistema de cultivo do tipo convencional caracteriza-se principalmente pela ausência de sombra, sendo o café plantado a pleno sol em sistema de monocultura com capina e varrição das linhas entre os pés de café. Nesse sistema há maior intensidade de uso e adubação do solo. O sistema de cultivo agroflorestal caracteriza-se pela presença de vegetação arbórea diversificada consorciada ao café. A diversidade de espécies arbóreas pode variar entre as propriedades apresentando desde cafezais com apenas uma espécie arbórea até aqueles com até 70 espécies diferentes, o que depende apenas da escolha do produtor. As espécies encontradas nos sistemas agroflorestais da região de estudo incluindo as áreas amostradas nesse trabalho foram levantadas por Cardoso et. al. (2004) e estão relacionadas na **Tabela 1**.

**Tabela 1: Nome popular e científico das espécies encontradas em sistemas agroflorestais da região de estudo.**

Nomes populares	Nomes científicos
Abacate	<i>Persea</i> sp
Açoita cavalo	<i>Luehea speciosa</i>
Ameixa	<i>Eriobotrya japonica</i>
Amora	<i>Morus alba</i>
Angelim	<i>Andira</i> sp.
Angico	<i>Annadenanthera peregrina</i>
Araçá	<i>Psidium araça</i>
Araticum	<i>Rollinia silvatica</i>
Aroeira	<i>Miracroduon urundeuva</i>
Assa peixe	<i>Vernonia poliantes</i>
Astrapéia	<i>Dombeya wallichii</i>
Banana	<i>Musa</i> sp.
Bico de pato	<i>Machaerium nictitans</i>
Braúna	<i>Melanoxylum brauna</i>
Brauninha	<i>Dictyoloma vandellianum</i>
Breu ou guapuruvu	<i>Schizolobium parahyba</i>
Calabura	<i>Muntingia calabura</i>
Caleandra	<i>Calliandra calothyrsus</i>
Cambará	<i>Vernonia polyanthes</i>
Camboatá	<i>Cupania</i> sp.
Candeia	<i>Vanillosmopsis erythropapa</i>
Canela	<i>Machaerium</i> sp.
Canudo de pito	<i>Mabea fistulifera</i>
Capixigui	<i>Croton floribundus</i>
Capoeira branca	<i>Solanum argenteum</i>
Caqui	<i>Diospyrus kaki</i>
Caroba	<i>Jacaranda micrantha</i>
Caroba	<i>Jacaranda</i> sp.
Castanha mineira	<i>Bombax</i> sp.
Cedro	<i>Cedrela fissilis</i>
Cinco folhas	<i>Sparatosperma</i> sp.
Côco	<i>Cocus nucifera</i>
Côco babão	<i>Syagrus romanzofianum</i>
Cotieira	<i>Joanesia princeps</i>
Crindiúva	<i>Trema micrantha</i>
Embaúba	<i>Cecropia hololeuca</i>
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i> sp.
Fedegoso	<i>Senna macranthera</i>
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>
Goiaba	<i>Psidium guajava</i>
Graviola	<i>Annona muricata</i>
Guatambu	<i>Aspidosperma polyneurum</i>
Ingá	<i>Inga vera</i>
Ipê	<i>Tabebuia</i> sp.

Nomes populares	Nomes científicos
Jaca	<i>Artocarpus integrifolia</i>
Jacarandá caviúna	<i>Dalbergia nigra</i>
Jacarandá mimoso	<i>Jacarandá</i> sp.
Jacaré	<i>Piptadenia gonocantha</i>
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>
Laranja	<i>Citrus sinensis</i>
Leiteira	<i>Sapium glandulatum</i>
Limão	<i>Citrus</i> sp.
Lixia	<i>Litchi sinensis</i>
Lobeira	<i>Solanum lycocarpum</i>
Mamão	<i>Carica papaya</i>
Maminha de porca	<i>Zantoxylum rhoifolium</i>
Manga	<i>Mangifera indica</i>
Maria preta	<i>Vitex</i> sp.
Mexerica	<i>Citrus</i> sp.
Mulungu	<i>Erythrina</i> sp.
Orelha de nego	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>
Paineira	<i>Chorisia speciosa</i>
Palmito	<i>Euterpe edulis</i>
Papagaio	<i>Aegiphila sellowiana</i>
Pau pereira	<i>Aspidosperma</i> sp.
Pêra	<i>Pirus communis</i>
Pêssego	<i>Prunus persica</i>
Pitanga	<i>Eugenia pitanga</i>
Pupunha	<i>Bactris gaesipaes</i>
Quaresmeira	<i>Tibouchina granulosa</i>
Quaresminha	<i>Miconia cinnamomifolia</i>
Toona	<i>Toona ciliata</i>
Umbu	<i>Spondias</i> sp
Urucum	<i>Bixa orellana</i>

## **Delineamento experimental**

Foram selecionadas cinco propriedades com sistema de cultivo agroflorestal (SAF) e para cada propriedade foi selecionada uma propriedade vizinha com sistema de cultivo convencional (SC), totalizando dez propriedades estudadas. A distância entre os pares introduz alguma autocorrelação possível nos resultados por semelhança de solos e mesmo pela capacidade de vôo das abelhas, mas garante a comparabilidade entre os tratamentos e a logística do trabalho, uma vez que a floração do café ocorre num período muito curto, máximo de uma semana, e não seria possível montar os experimentos e fazer a coleta de visitantes florais caso as áreas estivessem distantes.

A figura abaixo mostra uma área com sistema cultivo agroflorestal e outra com sistema de cultivo convencional a fim de ilustrar as principais características do tipo de manejo procedente pelo produtor.



A



B

**Figura 1: Sistema Agroflorestal – SAF (A) e Sistema Convencional – SC (B) de cultivo de café em Araponga - MG.**



**Figura 2: Sistema Convencional (SC) e Agroflorestal (SAF) de cultivo de café na região de Araponga – MG mostrando a proximidade entre as propriedades.**

## **Os visitantes florais**

As abelhas visitantes das flores do café foram coletadas em sete das dez propriedades, sendo três coletas realizadas em sistema agroflorestal e quatro em sistema convencional. A coleta foi realizada nos dias 19, 20 e 21 de setembro de 2006, pico da floração. As demais áreas não foram amostradas por motivos de mau tempo; clima frio, nublado e muito vento. Quatro pesquisadores trabalharam na coleta das abelhas, sendo que aqueles que realizaram coleta em mais de uma área nunca trabalharam no mesmo sistema de cultivo. As coletas aconteceram entre 8:00 e 13:00 horas em intervalos de 10 minutos. No primeiro intervalo de 10 minutos o coletor ficou livre para explorar a área em busca das abelhas, que foram sempre coletadas independentemente da espécie. O segundo intervalo de 10 minutos foi utilizado para triagem do material coletado, as abelhas coletadas no intervalo foram colocadas em saquinhos de papel devidamente identificados com o local, nome do coletor, intervalo de tempo e alguma observação necessária. Assim, nos 10 minutos seguintes iniciou-se outro período de coleta dando seqüência ao ciclo. Cada intervalo de tempo foi considerado como amostra, totalizando em cada área 150 minutos de coletas. As abelhas foram coletadas com o auxílio de puçás, mortas em câmara com acetato de etila, montadas, identificadas e depositadas na coleção do Apiário Central da Universidade Federal de Viçosa.

Foram realizadas ainda algumas visitas noturnas à cultura na tentativa de identificar possíveis visitantes nesse período. Tais visitas aconteceram nos dias 17 e 18 de outubro de 2007 nos períodos de 4:00 às 7:30 e 18:00 às 21:30 horas, quando dois pesquisadores foram a campo munidos de puçá e lanternas com papel celofane vermelho para não espantar os insetos caso estes estivessem presentes.

## **Análise dos dados**

A riqueza de espécies foi estimada pelo método Jackknife e as comparações entre os sistemas de cultivo feita através de inferência por intervalos de confiança de 95% construídos a partir da distribuição t-student. Nessas análises foi utilizado o programa Estimate S, que permite também a construção de uma curva do coletor para análise da suficiência das amostragens (Colwell, 2000; Colwell & Coddington, 1994). A hipótese de que há diferenças entre os sistemas de cultivo na abundância destas espécies foi testada através de técnicas de Análise de Variância (Zar, 1999).

A distribuição das espécies em cada sistema de cultivo foi comparada através da curva de abundância relativa das espécies segundo um ordenamento, método conhecido como Whittaker Plot (Magurran, 1988).

## RESULTADOS

No total, onze espécies de abelhas foram coletadas nas propriedades. *Apis mellifera*, seguida de *Trigona spinipes* foram as espécies mais abundantes nos dois sistemas de cultivo.

No sistema agroflorestal foram coletadas ainda em ordem de abundância, *Schwarziana quadripunctata*, *Trigona hyalinata*, *Bombus atratus*, *Frieseomelitta varia*, *Augochloropsis patens*, *Tetragonisca angustula* e *Partamona cupira*. Já no sistema convencional foram coletadas *Schwarziana quadripunctata*, *Trigona hyalinata*, *Bombus atratus*, *Partamona cupira*, *Scaptotrigona xanthotrica* e *Scaptotrigona bipunctata* (Tabela 2).

Nenhum indivíduo foi coletado ou visto visitando flores de café no período noturno, quando as flores já haviam caído ou não representavam uma fonte atrativa de recursos.

É importante ressaltar que dentre as espécies coletadas apenas *Apis mellifera* é uma espécie exótica, bastante conhecida pela exploração econômica do mel produzido e por ser uma espécie cosmopolita. As outras espécies são típicas da fauna brasileira, apresentam tamanho médio e raio de vôo de aproximadamente 400m. Todas as espécies apresentam algum grau de socialidade, o que determina um padrão de exploração de recursos por recrutamento, onde um indivíduo da colônia encontra a fonte de recurso e recruta outros indivíduos para explorá-lo.

Dentre as espécies coletadas, *Schwarziana quadripunctata*, *Bombus atratus* e *Augochloropsis patens* são as únicas que constroem seus ninhos no solo ou em barrancos. As demais utilizam normalmente cavidades preexistentes em troncos de árvores ou apresentam ninhos aéreos, como ninhos de aves abandonados e galhos de árvores como suporte para a construção do ninho.

**Tabela 2 - Média, Desvio Padrão da Média (DP) e Total de abelhas coletadas por espécie para cada sistema de cultivo (Agroflorestal - SAF e Convencional - SC) e para o Total das amostras.**

Espécie	SAF			SC			Total		
	Média	DP	Total	Média	DP	Total	Média	SD	Total
<i>Apis mellifera</i> (Linnaeus,1758)	2,059	1,943	105	2,500	3,581	170	2,311	2,988	275
<i>Trigona spinipes</i> (Fabricius, 1793)	0,863	1,059	044	0,926	1,124	063	0,899	1,092	107
<i>Schwarziana quadripunctata</i> (Lepeletier,1836)	0,157	0,505	008	0,588	0,981	040	0,403	0,837	048
<i>Bombus atratus</i> (Franklin,1913)	0,020	0,140	001	0,059	0,293	004	0,042	0,240	005
<i>Frieseomelitta varia</i> (Lepeletier, 1836)	0,020	0,140	001	0,000	0,000	000	0,008	0,092	001
<i>Augochloropsis patens</i> (Vachal, 1903)	0,020	0,140	001	0,000	0,000	000	0,008	0,092	001
<i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811)	0,020	0,140	001	0,000	0,000	000	0,008	0,092	001
<i>Trigona hyalinata</i> (Lepeletier, 1836)	0,098	0,300	005	0,574	1,704	039	0,370	1,320	044
<i>Partamona cupira</i> (Smith, 1863)	0,020	0,140	001	0,015	0,121	001	0,017	0,129	002
<i>Scaptotrigona xanthotrica</i> (Moure, 1950)	0,000	0,000	000	0,015	0,121	001	0,008	0,092	001
<i>Scaptotrigona bipunctata</i> (Lepeletier, 1836)	0,000	0,000	000	0,015	0,121	001	0,008	0,092	001

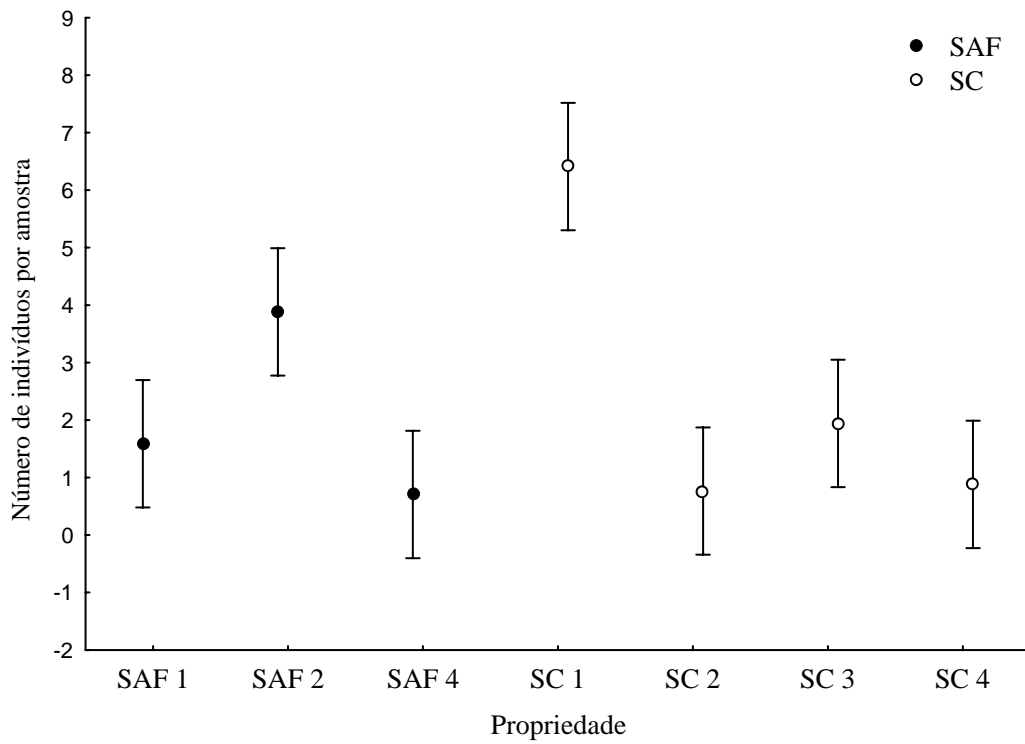
A análise do número de indivíduos coletados por amostra em cada sistema de cultivo foi realizada apenas para as espécies mais abundantes e fez uso da transformação por raiz quadrada para garantir homogeneidade de variâncias. A abundância de indivíduos de *Apis mellifera* e *Trigona spinipes* independe do sistema de cultivo, mas para *Schwarziana quadripunctata* e *Trigona hyalinata* houve efeito significativo (Tabela 3). Nesses dois casos as maiores abundâncias foram encontradas no sistema convencional. Entretanto, a mesma análise mostra que a abundância de indivíduos depende da propriedade em questão seja qual for a espécie. Foi possível verificar que as propriedades SC 1 e SAF 2 apresentaram maior abundância de indivíduos da espécie *Apis mellifera*. O mesmo ocorreu para a propriedade SC 3, que apresentou uma alta abundância de indivíduos de *Schwarziana quadripunctata* e *Trigona spinipes* e para a propriedade SC 1, que apresentou uma alta abundância de indivíduos de *Trigona hyalinata* (Figura 4). Entretanto, embora possamos verificar diferenças quanto a abundância de indivíduos em cada espécie por propriedade, o aspecto mais interessante aqui observado diz respeito à estabilidade dos sistemas agroflorestais. Observamos que os sistemas agroflorestais apresentam baixa variação entre propriedades quanto ao número de indivíduos coletados por amostra, diferente do que ocorre nas áreas de sistema de cultivo convencional. Nos sistemas convencionais esta variação é bastante clara, existem propriedades com alta e baixa abundância de indivíduos independente da espécie, o que sugere um maior nível de instabilidade.

A análise da distribuição de abundância mostra que os sistemas agroflorestal e convencional apresentam o mesmo padrão de distribuição, duas espécies com maior abundância relativa (*Apis mellifera* e *Trigona spinipes*), algumas espécies na classe intermediária e as espécies consideradas raras (Figura 4).

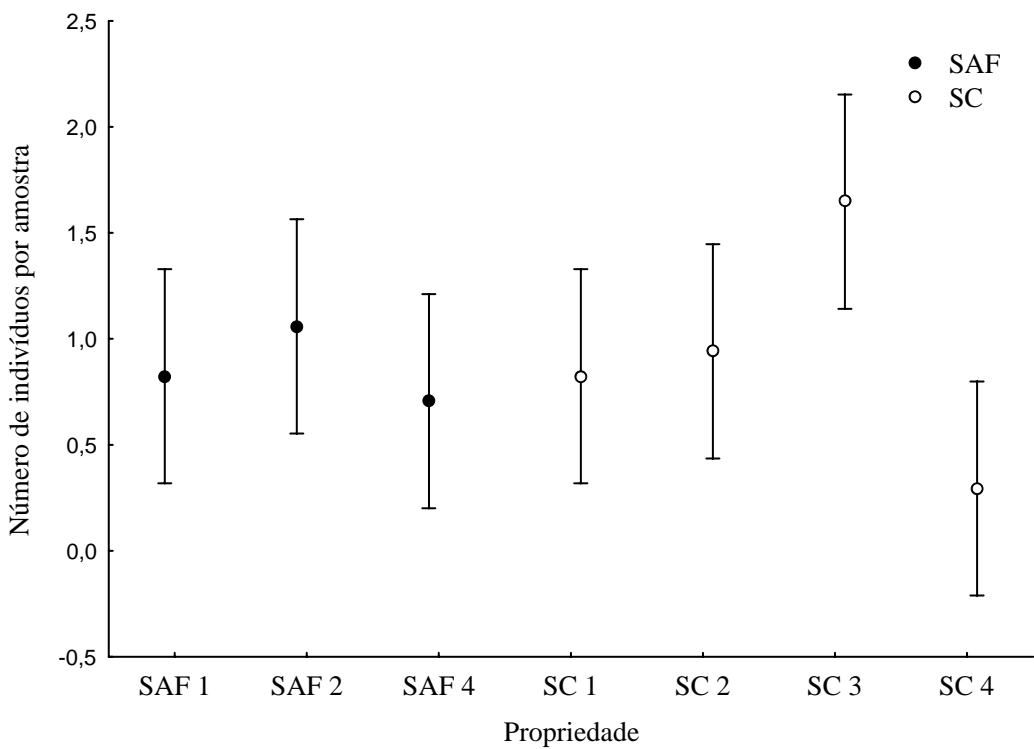
**Tabela 3: Resultados da análise de variância hierárquica para verificar os efeitos da propriedade e do sistema de cultivo sobre o número de indivíduos das espécies mais abundantes.**

Espécie	Análise	F	gl	p
<i>Apis mellifera</i>	Propriedade	11,834	5	< <b>0,01</b>
	Sistema de cultivo	0,001	1	0,976
<i>Trigona spinipes</i>	Propriedade	3,435	5	< <b>0,01</b>
	Sistema de cultivo	0,084	1	0,771
<i>Schwarziana quadripunctata</i>	Propriedade	5,003	5	< <b>0,01</b>
	Sistema de cultivo	11,129	1	< <b>0,01</b>
<i>Trigona hyalinata</i>	Propriedade	22,505	5	< <b>0,01</b>
	Sistema de cultivo	6,810	1	< <b>0,01</b>

A

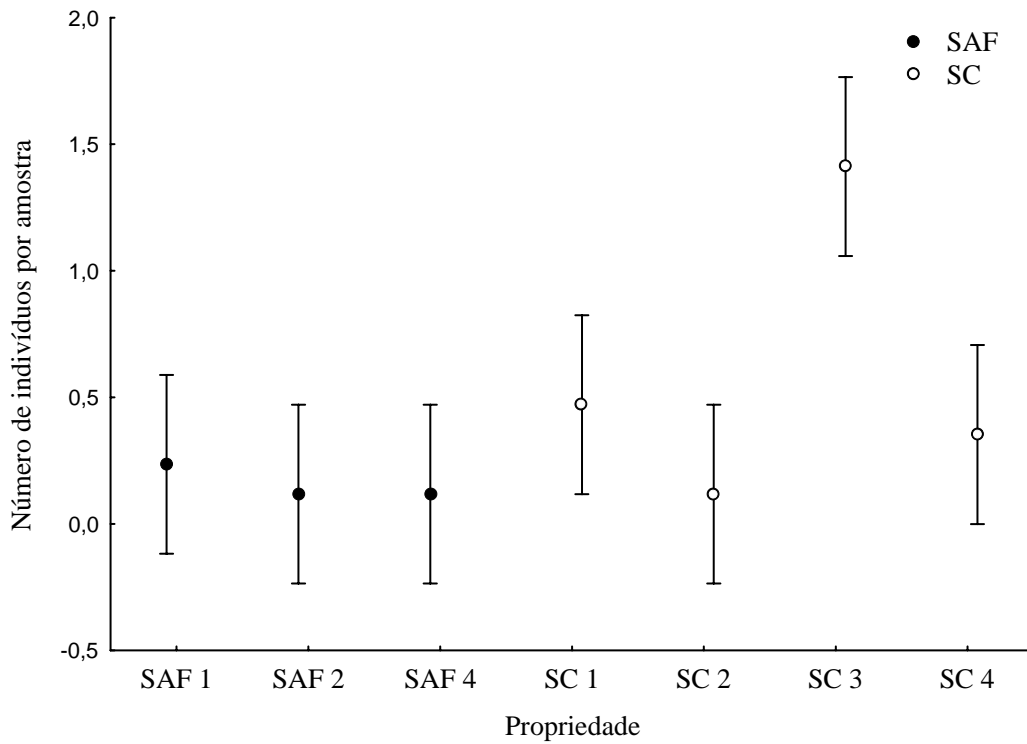


B

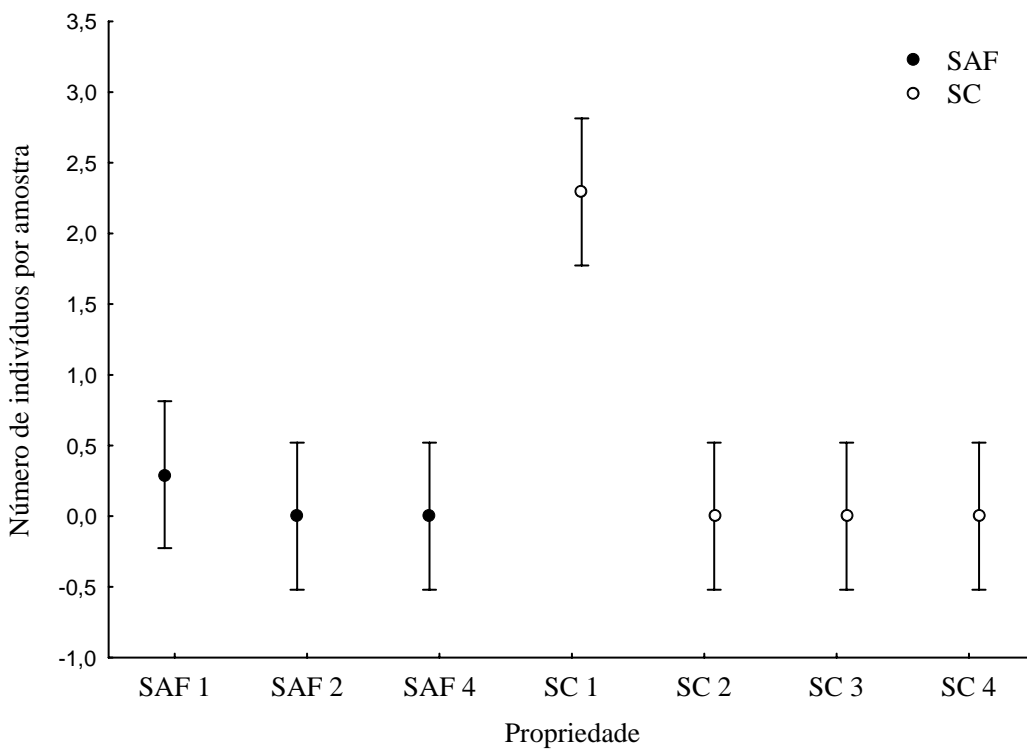


**Figura 3: Média e intervalo de confiança (0,95) do número de indivíduos coletados por amostra em cada propriedade de SAF ou SC para as espécies mais abundantes (A – *Apis mellifera*, B – *Trigona spinipes*, C – *Schwarziana quadripunctata* e D – *Trigona hyalinata*).**

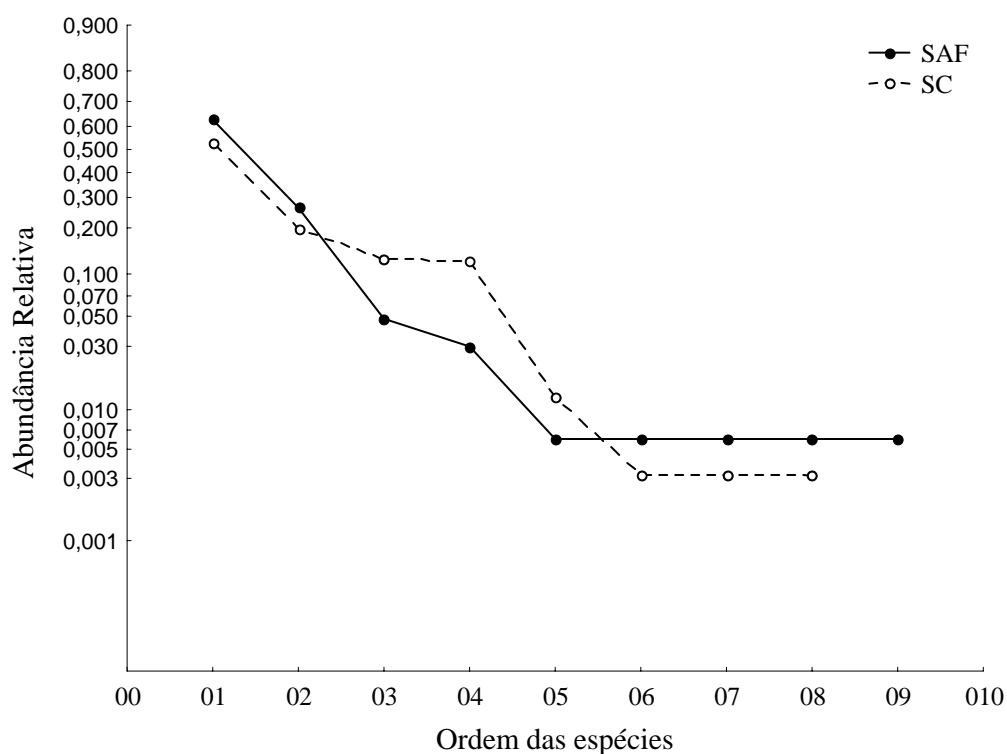
C



D



**Figura 4: Média e intervalo de confiança (0,95) do número de indivíduos coletados por amostra em cada propriedade de SAF ou SC para as espécies mais abundantes (A – *Apis mellifera*, B – *Trigona spinipes*, C – *Schwarziana quadripunctata* e D – *Trigona hyalinata*).**

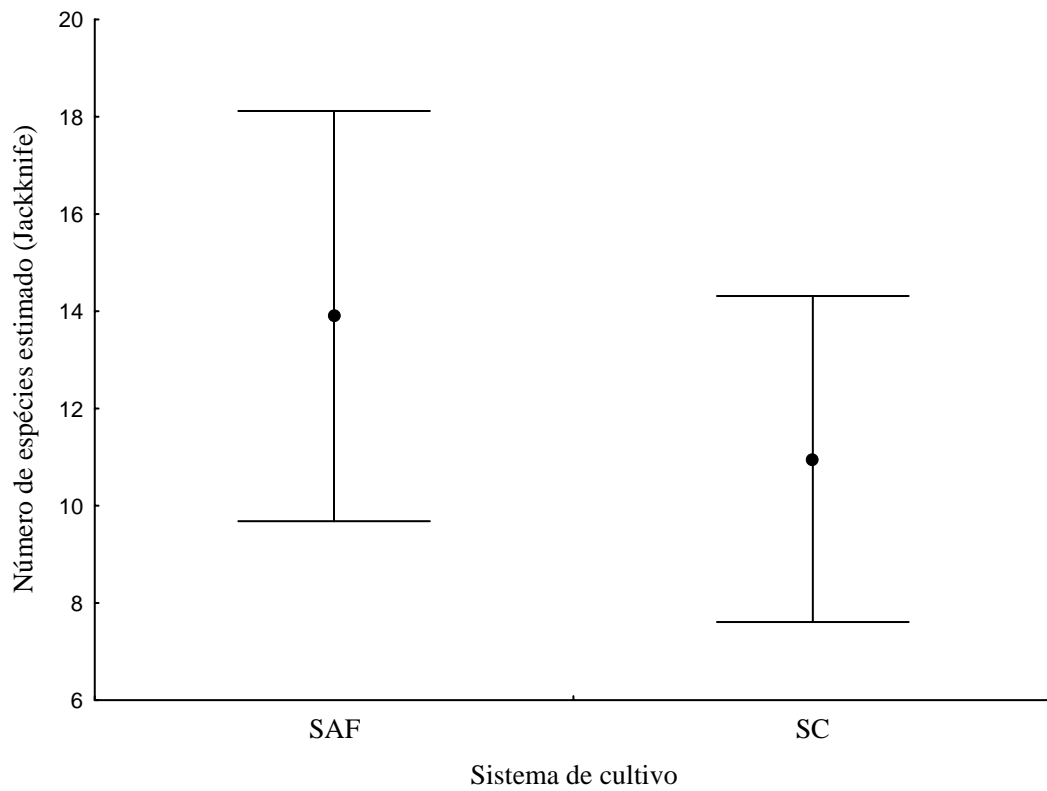


**Figura 5: Abundância relativa das espécies de abelhas nos sistemas convencional (SC) e agroflorestal (SAF).**

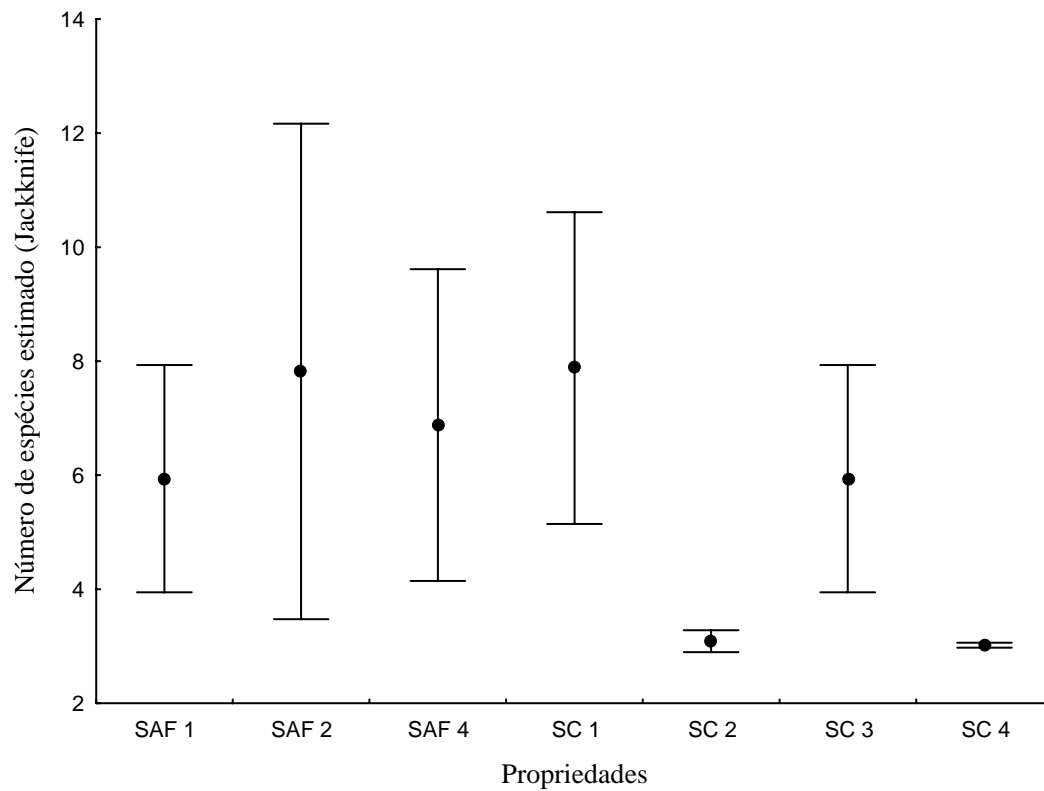
Os sistemas de cultivo não diferiram quanto à estimativa da riqueza de espécies, embora para o sistema convencional tenham sido estimadas 11 espécies e para o sistema agroflorestal 14 espécies (Figura 6). Entretanto, nota-se uma diferença razoável quanto à riqueza de espécies em cada propriedade, principalmente no que se refere às propriedades SC 2 e SC 4, que apresentam baixa riqueza de espécies comparado as demais (Figura 7). Estas propriedades também foram as únicas em que a curva do Jackknife estabilizou e os intervalos de confiança foram pequenos, sugerindo que o tamanho amostral foi suficiente para determinar a riqueza de espécies.

Como mostra a Figura 8, para uma estimativa da riqueza de espécies confiável, em ambos os sistemas de cultivo faz-se necessário um maior número de amostras, isso porque as curvas não atingiram uma estabilidade e continuaram crescendo.

Assim, embora a riqueza de espécies não tenha diferido quanto ao sistema de cultivo como esperado, um aspecto importante revelado é o da maior estabilidade associada aos sistemas agroflorestais quando falamos em abundância por espécie.

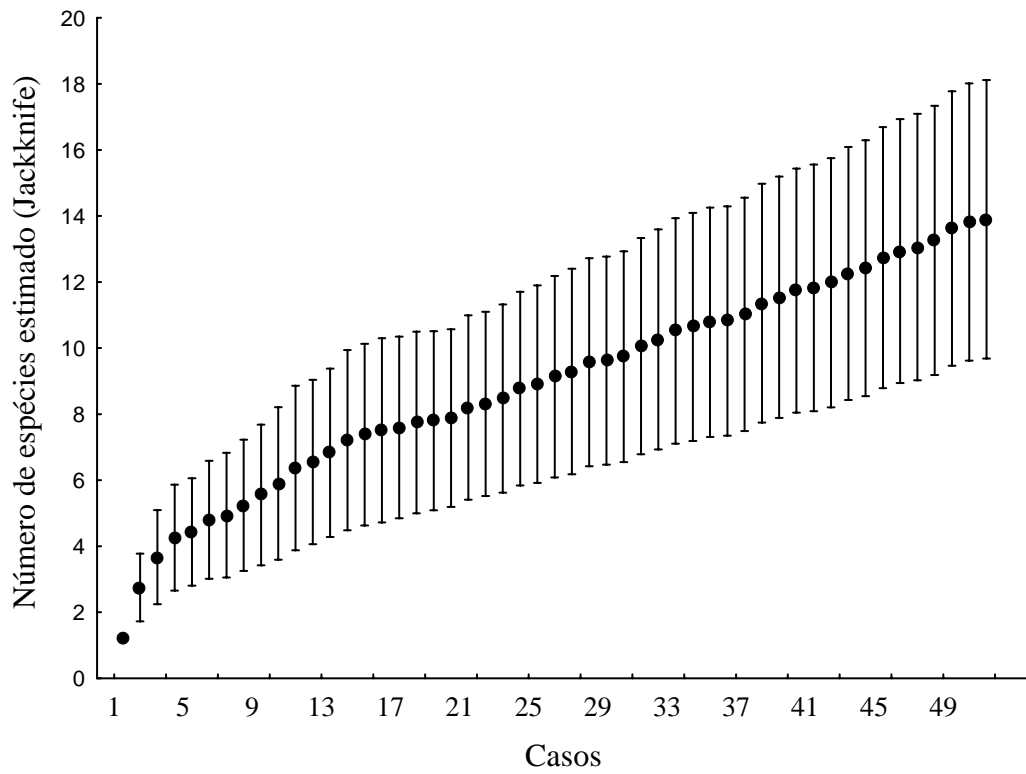


**Figura 6: Comparação do número de espécies de abelhas estimado pelo método Jackknife para cada sistema de cultivo (Sistema Agroflorestal – SAF e Sistema Convencional – SC). As barras representam o intervalo de confiança de 95%.**

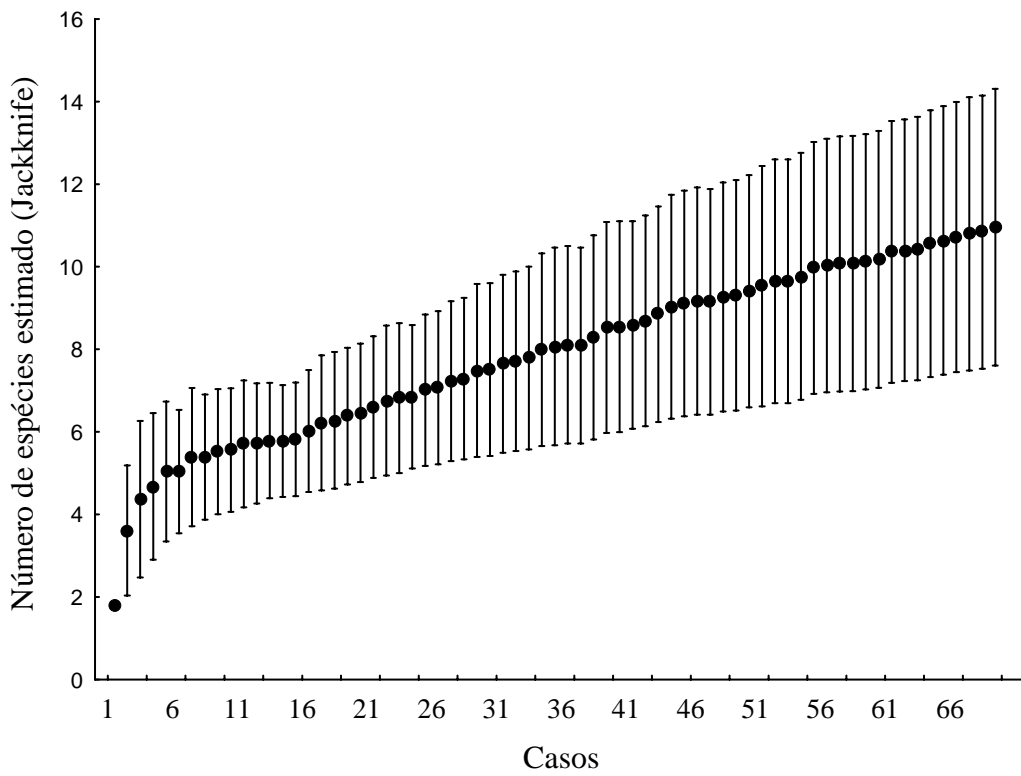


**Figura 7: Comparação do número de espécies de abelhas estimado pelo método Jackknife para cada propriedade amostrada. As barras representam o intervalo de confiança de 95%.**

A



B



**Figura 8: Comparação do número de espécies de abelhas estimado pelo método Jackknife para os SAF (A) e SC (B) de cultivo de café. As barras representam o intervalo de confiança de 95%.**

## DISCUSSÃO

As curvas do coletor estimadas pelo método Jackknife mostram que o número de amostras foi insuficiente para estimar o total de espécies que estão visitando o café. Isso, no entanto, não invalida uma comparação do número de espécies com um esforço padronizado, que não mostrou diferenças entre os sistemas de cultivo. Fica também evidente que para estimar o total de espécies ali presente é necessário aumentar o número de amostras em diferentes floradas. Entretanto, dada a padronização das coletas, os resultados podem ser utilizados na comparação da composição e abundância da fauna de abelhas presentes nos sistemas estudados.

Interessante mencionar que embora o delineamento experimental tendesse a uma correlação entre áreas muito próximas compostas pelos cinco pares de culturas com SAF e SC, os gráficos da estimativa de espécies por propriedade e de abundância das espécies melhor representadas nos sistemas mostram que na maior parte das vezes as propriedades próximas apresentam uma diversidade distinta. Tal fato sugere que características físicas do sistema de cultivo bem como as condições e recursos que proporcionam são fatores determinantes da fauna de abelhas em cada propriedade.

Como sugerido por Roubik em 1989, percebe-se uma dominância de abelhas sociais, capazes de recrutar indivíduos da colônia para a coleta de recursos florais. Este é um aspecto importante sobre o ponto de vista da abundância de indivíduos da mesma espécie coletados por amostra e contribui sobremaneira para justificar a importância de espécies como *Apis mellifera* na polinização do café embora não exista fidelidade na coleta de recursos florais (Pacheco et al., 1985). Segundo estudos realizados por Malerbo-Souza & Nogueira-Couto (1997), *Apis mellifera* domina o ambiente (88,9% das visitas) coletando principalmente néctar nas flores e contribuindo com um aumento de frutificação de 38,79% quando a planta permanece em contato com insetos polinizadores.

Dentre as espécies amostradas pode-se dizer que a maioria nidifica em troncos de árvores ou constrói ninhos aéreos, exceto as espécies *Schwarziana quadripunctata*, *Bombus atratus* e *Augochloropsis patens* que nidificam no solo ou em barrancos. Dentre essas espécies *Schwarziana quadripunctata* e *Bombus atratus* aparecem em maior número nos sistemas convencionais o que pode ser associado ao fato dos solos de sistemas agroflorestais apresentarem alta umidade o que prejudica o desenvolvimento das larvas

nos ninhos (Michener, 1979). Quanto a *Augochloropsis patens*, foi coletado apenas um indivíduo no sistema agroflorestal.

*Apis mellifera* e *Trigona spinipes* foram as espécies dominantes em toda a amostragem e suas abundâncias relativas não diferiram quanto ao sistema de cultivo. Estas são espécies bastante comuns, exploram uma enorme diversidade de recursos florais e constroem ninhos em ocos de árvore e aéreos. Tais espécies são bastante comuns em ambientes pouco preservados, como áreas em estágios sucessionais iniciais e bordas de mata, onde a alta incidência luminosa propicia dominância de espécies vegetais pioneiras formando verdadeiras manchas de recurso na paisagem (Murcia, 1995).

Comparando as espécies *Apis mellifera* e *Trigona spinipes*, *Schwartziana quadripunctata* e *Trigona hyalina*, são mais restritivas quanto aos recursos florais explorados e aos locais de nidificação. *Schwartziana quadripunctata* constrói ninhos no solo e *Trigona hyalina* constrói ninhos aéreos. Estas espécies apresentaram maior abundância nos sistemas convencionais e tal abundância veio acompanhada de uma alta variação entre propriedades, fator explicado pelas características locais que podem inclusive estar associadas à presença de ninhos dessas espécies próximos aos cafezais e às condições ambientais. A mesma variação não é observada nas áreas de cultivo agroflorestal, onde possivelmente características como umidade, temperatura e ventos variem menos. Para muitas espécies, principalmente de abelhas pequenas, a intensidade e direção do vento são fatores determinantes na exploração dos recursos o que pode determinar as rotas de exploração de recursos florais (Pyke, 1984).

O padrão de distribuição das espécies de maneira geral é semelhante para os dois sistemas de cultivo, apresentando uma ou duas espécies dominantes, algumas espécies intermediárias e as espécies raras, padrão mais comum para a maioria das comunidades de organismos tropicais (Magurran, 1988; Magurran & Henderson, 2003) e típico de habitats pouco preservados. Espera-se que as espécies raras apareçam em maior número no sistema agroflorestal onde a maior heterogeneidade de habitats propiciada primeiramente pela maior diversidade vegetal contribui com disponibilidade de recursos, como acontece para comunidades de formigas (Armbrecht et al., 2005; Perfecto & Vandermeer, 2002). A maior variedade de espécies vegetais, inclusive de espécies herbáceas, nos sistemas agroflorestais deve contribuir ainda para uma menor dispersão dos indivíduos na paisagem em busca de recursos, uma vez que os diferentes períodos de floração das espécies presentes disponibilizam recursos florais ao longo de

boa parte, se não todo o ano, principalmente quando nos referimos às espécies generalistas.

Além das espécies aqui mencionadas, espécies dos gêneros *Chloralictus* e *Xylocopa* bem como a espécie *Melipona quadrifasciata* foram encontradas visitando flores de café no Brasil (Carvalho & Krug, 1996; McGregor, 1976).

Os resultados apresentados neste capítulo tratam de variações em pequena escala espacial influenciando a diversidade de abelhas. Eles sugerem que diferenças na diversidade e disponibilidade de recursos bem como nas características físicas ambientais interferem na estabilidade do sistema quanto à abundância das espécie. Os sistemas agroflorestais mostraram-se mais estáveis ao contrário dos sistemas convencionais em que a abundância de indivíduos parece depender mais de outros componentes da paisagem. Alguns trabalhos (Stoner & Joern, 2004; Tschardt et al., 2005) sugerem ainda que as diferenças quanto a disponibilidade de recursos, aspectos físicos e a paisagem em que estão inseridas podem ser importantes na determinação da diversidade de abelhas, fato que não pôde ser comprovado devido à insuficiência amostral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandratos,N., 1999. World food and agriculture: Outlook for the medium and longer term. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 96:5908-5914 pp.
- Allen-Wardell,G., Bernhardt,P., Bitner,R., Burquez,A., Buchmann,S., Cane,J., Cox,P.A., Dalton,V., Feisinger,P., Ingram,M., Inouye,D., Jones,C.E., Kennedy,K., Kevan,P., Koopowitz,H., Medellin,R., Medellin-Morales,S., Nabhan,G.P., Pavlik,B., Tepedino,V., Torchio,P., and Walker,S., 1998. The potential consequences of pollinator declines on the conservation of biodiversity and stability of food crop yields. Conservation Biology, 12:8-17 pp.
- Altieri,M.A., 1987. The scientific basis of alternative agriculture. Westview Press, Inc., Boulder, Colorado.
- Altieri,M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agriculture Ecosystems & Environment, 74:19-31 pp.
- Araújo,V.A., Antonini,Y., and Araújo,A.P.A., 2006. Diversity of Bees and their Floral Resources at Altitudinal Areas in the Southern Espinhaço Range, Minas Gerais, Brazil. Neotropical Entomology, 35:30-40 pp.
- Armbrrecht,I., Rivera L., and Perfecto,I., 2005. Reduced Diversity and Complexity in the Leaf-Litter Ant Assemblage of Colombian Coffee Plantations. Conservation Biology, 19:897-907 pp.
- Balmford,A., Bruner,A., Cooper,P., Costanza,R., Farber,S., Green,R.E., Jenkins,M., Jefferiss,P., Jessamy,V., Madden,J., Munro,K., Myers,N., Naeem,S., Paavola,J., Rayment,M., Rosendo,S., Roughgarden,J., Trumper,K., and Turner,R.K., 2002. Ecology - Economic reasons for conserving wild nature. Science, 297:950-953 pp.
- Batista,M.A., Ramalho,M., and Soares,A.E.E., 2003. Nesting sites and abundance of Meliponini (Hymenoptera: Apidae) in heterogeneous habitats of the Atlantic Rain Forest, Bahia, Brazil. Lundiana, 4:19-23 pp.
- Beekman,M., Sumpter,D.J.T., Seraphides,N., and Ratnieks,F.L.W., 2004. Comparing foraging behaviour of small and large honey-bee colonies by decoding waggle dances made by foragers. Functional Ecology, 18:829-835 pp.

- Bhatia,R., Gupta,D., Chandel,J.S., and Sharma,N.K., 1995. Relative abundance of insect visitors on flowers of major subtropical fruits in Himachal Pradesh and their effect on fruit set. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 65:907-912 pp.
- Burkey,T.V., 1989. Extinction in nature reserves: the effect of fragmentation and the importance of migration between reserve fragments. *Oikos*, 50:75-81 pp.
- Camargo,J.M.F., 1970. Ninhos e biologia de algumas espécies de Meliponídeos (Hymenoptera: Apidae) da região de Porto Velho, Território de Rondônia, Brasil. *Revista de Biologia Tropical*, 16:207-209 pp.
- Cardoso, I. M.; Carvalho, A. F.; Bonfim, V. R.; Souza, H. N. & Gjorup, D. F. (2004), Experimentação participativa com sistemas agroflorestais por agricultores familiares. *Anais do 2º Congresso Brasileiro de Extensão Universitária*, Belo Horizonte, Universidade Federal de Viçosa e Centro de Tecnologias Alternativas.
- Carvalho and Krug, 1996. Coffee. In: *Agriculture Research Service (Editor), Agricultural Handbook*. United States Department of Agriculture, pp. 162-164.
- Carvalho,C.A.L., Marchini,L.C., and Ros,P.B., 1999. Fontes de pólen utilizadas por *Apis mellifera* L. e algumas espécies de Trigonini (Apidae) em Piracicaba (SP). *Bragantia*, 58:49-56 pp.
- Charnov,E.L., 1976. Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology*, 9:129-136 pp.
- Collevatti,R.G., Amaral,M.E.C., and Lopes,F.S., 1997. Role of pollinators in seed set and a test of pollen limitation hypothesis in the tropical weed *Triumfetta semitriloba* (Tiliaceae). *Revista de Biologia Tropical*, 45:1401-1407 pp.
- Collevatti,R.G., Schoereder,J.H., and Campos,L.A.O., 2000. Foraging behavior of bee pollinators on the tropical weed *Triumfetta semitriloba*: Flight distance and directionality. *Revista Brasileira de Biologia.*, 60:29-37 pp.
- Colwell, R. K., 2000. Estatistical estimation of species richness and shared species from samples (EstimateS). Ref Type: Computer Program

- Colwell,R.K. and Coddington,J.A., 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. Phil. Trans. R. Soc. London, 345:101-118 pp.
- Costanza,R., d'Arge,R., de Groot,R., Farber,S., Grasso,M., Hannon,B., Limburg,K., Naeem,S., O'Neill,R.V., Paruelo,J., Raskin,R.G., Sutton,P., and van den Belt,M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, 387:253-260 pp.
- Daily,G.C., 1999. Developing a Scientific Basis for Managing Earth's Life Support Systems. Conservation Ecology, 3:1-15 pp.
- De Marco,P.Jr. and Coelho,F.M., 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. Biodiversity and Conservation, 13:1245-1255 pp.
- Fearnside,P.M., 1988. Jari at age 19: lessons for Brazil's silvicultural plans at Carajás. Interciencia, 13:12-24 pp.
- Gascon,C., Lovejoy,T.E., Bierregaard,R.O., Malcolm,J.R., Stouffer,P.C., Vasconcelos,H.L., Laurance,W.F., Zimmerman,B., Tocher,M., and Borges,S., 1999. Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants. Biological Conservation, 91:223-229 pp.
- Heard,T.A., 1999. The role of stingless bees in crop pollination. Annual Review of Entomology, 44:183-206 pp.
- Heithaus,E.R., 1974. The role of plant-pollinator interactions in determining community structure. Annual Missouri Botanical Garden, 61:675-691 pp.
- Ish-Am,G. and Eisikowitch,D., 1998. Low attractiveness of avocado (*Persea americana* Mill.) flowers to honeybees (*Apis mellifera* L.) limits fruit set in Israel. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 73:195-204 pp.
- Kearns,C.A., Inouye,D.W., and Waser,N.M., 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant- pollinator interactions. Annual Review of Ecology and Systematics, 29:83-112 pp.

- Keddy,P.A. and Lee,H.T., 1993. Choosing indicators of ecosystem integrity: wetlands as a model system. In: S.Woodley, J.Kay, and G.C.Francis (Editors), Ecological integrity and the management of ecosystems. St. Lucie Press VL -, pp. 61-79.
- Kevan,P. and Viana,B.F., 2003. The global decline of pollination services. Biodiversity, 4:3-8 pp.
- Klein,A.M., Steffan-Dewenter,I., and Tschardt,T., 2003. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. Journal of Applied Ecology., 40:837-845 pp.
- Kremen,C., Williams,N.M., Bugg,R.L., Fay,J.P., and Thorp,R.W., 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. Ecol Letters, 7:1109-1119 pp.
- Kremen,C., Williams,N.M., and Thorp,R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 99:16812-16816 pp.
- Magurran,A.E., 1988. Ecological Diversity and its Measurement. Cambridge University Press, London.
- Magurran,A.E. and Henderson,P.A., 2003. Explaining the excess of rare species in natural species abundance distributions. Nature, 422:714-716 pp.
- Malerbo-Souza,D.T. and Nogueira-Couto,R.H., 1997. Atrativo para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). Mensagem Doce, 44:6-11 pp.
- Manzoorulhaq Rafieuldin,M. and Ghaffar,A., 1978. Effect of insect pollination on fruit bearing in kinnow mandarin (*Citrus reticulata*), and physical and chemical properties of fruit. Journal of Apicultural Research, 17:47-49 pp.
- Masood,E. and Garwin,L., 1998. Costing the Earth: when ecology meets economics. Nature, 395:426-427 pp.
- Matson,P.A., Parton,W.J., Power,A.G., and Swift,M.J., 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. Science, 277:504-509 pp.

- McGregor,S.E., 1976. Insect pollination of cultivated crop plants. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., -411 pp.
- Moreti,A.C., Silva,R.M.B., Silva,E.C.A., Alves,M.L.T.M., and Otsuk,I.P., 1996. Aumento na produção de sementes de girassol (*Helianthus annuus*) pela ação de insetos polinizadores. Scientia Agricola, 53:2-3 pp.
- Murcia,C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trens in Ecology and Evolution, 10:58-62 pp.
- Nogueira-Neto,P., 1970. A criação de abelhas indígenas sem ferrão. São Paulo, 1-365 pp.
- Pacheco,I.A., Kageyama,P.Y., Berti Filho,E., and Wiendl,F.M., 1985. Efeito de colméias de *Apis mellifera* L. em pomar de sementes de *Eucalyptus saligna* Smith. IPEF, 29:11-17 pp.
- Perfecto,I. and Vandermeer,J., 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. Conservation Biology, 16:174-182 pp.
- Perfecto,I., Vandermeer,J., Mas,A., and Soto-Pinto,L., 2005. Biodiversity, yield and shade coffee certification. Ecological Economics, 54:435-446 pp.
- Philpott,S.M. and Dietsch,T., 2003. Coffee and conservation: a global context and the value of farmers involvement. Conservation Biology, 17:1844-1846 pp.
- Pyke,G.H., 1984. Optimal foraging theory: a critical review. Annual Review of Ecology and Systematics, 15:553-575 pp.
- Ramalho,M., Kleinert-Giovannini,A., and Imperatriz-Fonseca,V.L., 1990. Important bee plants for stingless bees (*Melipona* and *Trigonini*) and Africanized honeybees (*Apis mellifera*) in neotropical habitats: a review. Apidologie, 21:469-488 pp.
- Ricketts,T.H., 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. Conservation Biology, 18:1262-1271 pp.

- Ricketts, T.H., Daily, G.C., Ehrlich, P.R., and Michener, C.D., 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101:12579-12582 pp.
- Roubik, D.W., 1993. *Ecology and natural history of tropical bees*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Roubik, D.W. and Ackerman, J.D., 1989. Long-term ecology of euglossine orchid-bee (Apidae: Euglossini) in Panama. *Oecologia (Berlin)*, 73:321-333 pp.
- Roubik, D.W., 2002. Tropical agriculture: The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417:708 pp.
- Stoner, K.J.L. and Joern, A., 2004. Landscape vs. local habitat scale influences to insect communities from tallgrass prairie remnants. *Ecological Applications*, 14:1306-1320 pp.
- Taura, H.M. and Laroca, S., 1991. Abelhas altamente sociais (Apidae) de uma área restrita em Curitiba (Brasil): distribuição dos ninhos e abundância relativa. *Acta Biologica Paranaense*, 20:85-101 pp.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matsons, P.A., Naylor, R., and Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418:671-677 pp.
- Tilman, D. and Kareiva, P., 1997. *Spatial Ecology: the role of space in population dynamics and interpecific interactions*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Trewavas, A.J., 2001. The Population/Biodiversity Paradox. *Agricultural Efficiency to Save Wilderness. Plant Physiology*, 125:174-179 pp.
- Tscharntke, T., Klein, A.M., and Kruess, A., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8:857-874 pp.
- Vaissiere, B., Rodet, G., Cousin, M., Botella, L., and Grossa, J., 1996. Pollination effectiveness of honey bee (Hymenoptera: Apidae) in a Kiwifruit Orchard. *Horticultural Entomology*, 89:453-461 pp.

- Vandermeer,J. and Perfecto,I., 2006. A keystone mutualism drives pattern in a power function. *Science*, 311:1000-1002 pp.
- Vandermeer,J. and Perfecto,I., 2007. The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation. *Conservation Biology*, 21:274-277 pp.
- Vicens,N. and Bosch,J., 2000. Pollinating Efficacy of *Osmia cornuta* and *Apis mellifera* (Hymenoptera: Megachilidae, Apidae) on Red Delicious Apple. *Environmental Entomology*, 29:235-240 pp.
- Westerkamp,C. and Gottsberger,G., 2002. The Costly Crop Pollination Crisis. In: P.Kevan and V.L.Imperatriz-Fonseca (Editors), *Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature*. Ministry of Environment, Brasília, pp. 51-56.
- Wille,A., 1983. Biology of the stingless bees. *Annual Review of Entomology.*, 28:41-64 pp.
- Zar,J.H., 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1-663 pp.

## CAPÍTULO II

### IMPORTÂNCIA DA POLINIZAÇÃO BIÓTICA NA PRODUTIVIDADE DO CAFEZAL EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

#### INTRODUÇÃO

Do ponto de vista do conceito de integridade biótica (Karr & Dudley, 1981; Angermeier & Karr, 1994), consideramos que ecossistemas são conjuntos funcionais compostos por elementos e processos (Keddy & Lee, 1993). Os elementos são as espécies biológicas e os processos, ou funções, são os mecanismos de funcionamento do ecossistema. Quando funções naturais de um ecossistema podem ser, secundariamente, utilizadas em processos produtivos humanos, são denominadas serviços do ecossistema (Fearnside, 1988; Costanza *et al.*, 1997; Masood & Garwin, 1998; Altieri, 1999; Daily, 1999). Estes serviços envolvem processos biológicos, geológicos e químicos (Kearns *et al.*, 1998) e podem ser representados pela ciclagem de nutrientes, a regulação de gases e de águas, a regulação climática, o controle biológico, os refúgios populacionais, os recursos genéticos, a beleza cênica explorada no ecoturismo e a polinização.

Das angiospermas atuais, estimadas em 250.000 espécies, cerca de 90% são polinizadas por animais, especialmente insetos (Costanza *et al.*, 1997; Kearns *et al.*, 1998; Chichilnisky & Heal, 1998). Dentre os principais insetos polinizadores estão as abelhas, que embora não sejam os únicos polinizadores existentes, apresentam características que as tornam altamente eficientes na polinização tais como a organização e vida em sociedade que se associa ao instinto de armazenagem de pólen para garantir o desenvolvimento da prole, alto período de atividade e pouco desperdício.

A quantificação e avaliação dos serviços do ecossistema restringem-se a alguns poucos trabalhos com estimativas que giram em torno de 33 trilhões de dólares/ano (Costanza *et al.* 1997) e sugerem uma relação custo benefício para a conservação desses serviços de 1 para 100 (Balmford *et al.*, 2002; Costanza *et al.*, 1997).

A ecologia dos serviços do ecossistema é pouco conhecida, limitando nossa habilidade em entender seu valor e em planejar sua conservação e manejo (Palmer *et al.*, 2004), o que poderia funcionar como incentivo à conservação da biodiversidade. Isso,

no entanto, exige um aprofundamento do conhecimento da história natural das interações ecológicas que ocorrem em sistemas onde a presença de atividades humanas tende a ser dominante, como os agroecossistemas, por exemplo.

A conversão de florestas bem como a expansão da agricultura têm transformado a paisagem em todo o planeta, resultando na perda de biodiversidade e causando danos aos serviços do ecossistema (Achard et al., 2002; Balmford et al., 2002; Chapin & Zavaleta, 2000). Embora mudanças no uso da paisagem possam afetar ecológica e economicamente os serviços do ecossistema, seus efeitos sobre os aspectos socioeconômicos são pouco explorados.

Dentre os serviços prestados pelo ecossistema está a polinização da qual depende a reprodução da maioria das espécies vegetais. Seu efeito sobre a comunidade de plantas vai desde a formação de frutos e sementes até a manutenção da variabilidade genética proporcionada pelo cruzamento entre plantas (Heithaus, 1974; Kevan & Viana, 2003). Estimativas sugerem que seu valor para a agricultura global gira em torno de 200 bilhões de dólares ao ano (Kearns et al., 1998). A população humana e os animais domesticados por ela dependem da polinização em aproximadamente 1/3 dos alimentos utilizados, direta ou indiretamente, o que segundo estimativas de Costanza et al. (1997) equivalem a 112 bilhões de dólares por ano.

O café (*Coffea arabica*) pertence à família Rubiaceae e caracteriza-se como um arbusto ou árvore pequena com uma altura aproximada de 3 metros. O caule principal é ereto e dele partem ramos secundários repletos de folhas opostas. As flores brancas pentâmeras são perfumadas e surgem em grande profusão na porção axial das folhas. Cada cluster pode apresentar de duas a vinte flores. Suas flores são tubulares, pentâmeras e apresentam cinco estames e um estigma. O pólen é liberado logo após a abertura da flor quando o estigma se torna receptivo. Em dias de sol as flores se abrem logo pela manhã liberando uma pequena quantidade de pólen que pode ser transportado pelo vento ou por insetos garantindo o processo de polinização. Em dias nublados pode ocorrer alta polinização das flores caso estas não se abram. Dois dias após a abertura ou fertilização das flores fechadas, observa-se a queda de partes florais deixando na planta o ovário que irá se transformar em um fruto. Embora esta espécie auto-compatível seja potencialmente polinizada pelo vento e por gravidade, estudos recentes têm mostrado que a produção de frutos aumenta de 15 a 50% com a polinização por insetos, principalmente abelhas (De Marco & Coelho, 2004; Klein et al., 2003b; Ricketts et al., 2004; Ricketts, 2004; Roubik, 2002a; Roubik, 2002b).

Roubik (2002b) verificou que as abelhas africanas são dominantes na visitação das flores de café em sistema agroflorestal no Panamá e que 36% da produção total é controlada por esta espécie, capaz de gerar um aumento de 49% na produção da cultura e de 25% em ganho de massa do fruto. Resultado semelhante foi encontrado no Brasil com 38,79% de aumento na produção (Malerbo-Souza et al., 2003).

Estudos mais recentes também demonstraram que existe uma relação entre a distância de fragmentos de vegetação nativa e a vantagem advinda do serviço que o ecossistema presta à cultura (Klein et al., 2003c; Kremen et al., 2002; Ricketts et al., 2004), isso porque grande parte das espécies de abelhas, principalmente as sociais, utilizam os fragmentos de vegetação nativa para construir seus ninhos e explorar muitos recursos. Em seus estudos sobre a polinização de café em sistemas agroflorestais Klein et al.(2003c) verificaram que o número de espécies de abelhas sociais diminui com a distância dos fragmentos enquanto o número de espécies solitárias aumenta com a intensidade de luz. De Marco & Coelho (2004) verificaram que cultivos convencionais próximos a fragmentos (distância < 1 Km) produzem, em média, 14,6% a mais quando comparados a sistemas distantes. Ricketts et al.(2004) verificaram que este aumento corresponde a 20% na Costa Rica. Segundo Klein et al (2003a), tanto a riqueza de espécies de abelhas quanto a produção de frutos diminui com o aumento da distância de fragmentos florestais, fato possivelmente relacionado a diversidade de espécies sociais que devido a sua capacidade de recrutamento exercem importante papel na exploração dos recursos florais.

Num contexto regional a diversidade de polinizadores no café é determinada pelas práticas de manejo da cultura e pela qualidade dos habitats adjacentes (Klein et al., 2003c). Atualmente pode-se encontrar práticas de manejo de cafezais que variam desde monoculturas a pleno sol até as tradicionais policulturas sombreadas que em muito se assemelham aos fragmentos de vegetação nativa. O café sombreado é um dos diversos tipos de agroecossistema que tem recebido atenção especial das organizações conservacionistas nos últimos anos. Neste sistema o café cresce sob uma copa estrutural e floristicamente rica que abriga uma alta diversidade de espécies da flora e da fauna (Perfecto et al., 2005). Klein et al. (2003c) mostraram uma relação positiva entre a diversidade de espécies de abelhas e a produtividade de *Coffea canephora*. A heterogeneidade associada a tais sistemas disponibiliza uma maior diversidade de recursos para muitos organismos. Segundo Perfecto et al. (2003) quanto mais rústico o

sistema de cultivo maior a sua capacidade em manter uma biodiversidade semelhante a dos ambientes naturais.

Outro aspecto importante relacionado aos sistemas agroflorestais está nas mudanças dos fatores ambientais relacionados principalmente a fertilidade do solo, disponibilidade de água e luz e temperatura. Perez et al.(2004) avaliaram as características do solo em sistema de cultivo agroflorestal e convencional na Zona da Mata mineira e concluíram que o SAF promoveu maior recuperação dos solos pobres em nutrientes e erodidos, incrementou os teores de COT (Carbono Orgânico Total), matéria orgânica leve-livre, substâncias húmicas e frações de carbono orgânico, resultando, portanto, em uma melhoria da qualidade do solo em relação às propriedades químicas e à matéria orgânica. Segundo Almeida et al.(2007) o SAF apresenta ainda condições de atividade microbiana similares às encontradas em área de mata nativa, com um potencial de ciclagem de Carbono e Nitrogênio microbiano superior quando comparado ao cultivo a pleno sol.

A produção do café está ainda associada à eficiência no uso da radiação fotossinteticamente ativa (Barradas & Fanjul, 1986). Moraes et al.(2006) em seu trabalho sobre a caracterização microclimática e a produtividade de cafezais verificaram que na camada 0–10 cm de profundidade os solos de agroflorestas são mais úmidos, o que juntamente com menores oscilações na temperatura e com a menor intensidade luminosa leva a uma produção de frutos maiores em virtude da maturação mais lenta. Entretanto, as plantas sombreadas emitem menos ramos plagiotrópicos, com menor número de nós por ramo e poucos nós com frutos, o que resulta na redução da produção de café.

Logo, cabe ressaltar que embora os sistemas agroflorestais apresentem características que favorecem uma maior diversidade de espécies eles são menos lucrativos do ponto de vista econômico comparado às monoculturas a pleno sol (Gobbi, 2000).

No que se refere à qualidade dos habitats adjacentes, Priess et al (2007), baseado em dados de Klein et al. (2003b; 2003c), desenvolveram modelos para analisar o efeito de diferentes cenários de uso da paisagem na polinização e produção de café em sistemas agroflorestais na Indonésia. Segundo esses autores, em apenas 375m de distância da borda dos fragmentos, 50% do benefício da polinização é perdido, com conseqüente perda média na produção de 12%. Eles assumem ainda que os fragmentos suportem uma fração significativa da diversidade de polinizadores e que o efeito da área

dos fragmentos é menor que o da distância de isolamento. Dependendo da magnitude e do local da conversão da floresta, espera-se um declínio contínuo da polinização com uma redução de produção acima de 18% nos próximos 20 anos. Os valores ecológico e econômico podem ser preservados se os fragmentos de floresta forem mantidos na paisagem.

Kremen et al. (2004) apresentaram resultados semelhantes quando avaliaram o serviço de polinização prestado por abelhas nativas através das taxas de deposição de pólen em flores de melancia (*Citrullus lanatus*). O que eles encontraram foi uma relação positiva da deposição de pólen com a proporção de habitat natural na paisagem vizinha à cultura. O mesmo aconteceu com a estabilidade do serviço de polinização que variou menos entre áreas de cultivo com maiores proporções de habitat natural.

O objetivo deste capítulo é testar as seguintes hipóteses referentes a características locais relacionadas a produtividade dos sistemas: (1) *Apis mellifera* contribui com a polinização de *Coffea arabica* aumentando a produção de frutos, (2) A visita de polinizadores aumenta a proporção de frutos produzidos por flor de café e (3) O efeito da polinização sobre a produtividade do cafezal é maior em áreas com sistema de cultivo agroflorestal.

## **METODOLOGIA**

### **Papel da espécie *Apis mellifera* como polinizador efetivo do café**

Dentre os visitantes florais temos aqueles que apenas coletam recursos na flor sem tocar as partes reprodutivas da mesma, não contribuindo com o processo reprodutivo e aqueles que efetivamente contribuem para a formação de frutos carregando o pólen de antera a estigma mediando o processo reprodutivo. Aqui, verificamos a eficiência da espécie *Apis mellifera* no processo de polinização. Os estudos se concentraram em *Apis mellifera* por esta ser a espécie dominante na exploração do recurso e por seu potencial como polinizador já verificado em outros trabalhos (Malerbo-Souza et al., 2003; Roubik, 2002a).

Em um experimento de única visita alguns botões florais foram isolados com sacos de organza e após abertura da flor os sacos foram gradativamente retirados. Este tipo de material impossibilita a entrada de grãos de pólen garantindo que a flor isolada não tenha sido polinizada. Após a primeira visita realizada pelo visitante de interesse, a flor foi novamente isolada até o período de frutificação, quando foi verificada ou não a formação do fruto. A formação do fruto sugere que a espécie visitante foi eficiente no processo de polinização e permite identificar seu potencial de contribuição biológico e econômico. O experimento de primeira visita foi realizado em apenas uma propriedade durante a floração do mês de novembro de 2007 e teve um tamanho amostral correspondente a 30 flores visitadas.



A



B

**Figura 1: Planta em período de floração (A) e experimento de primeira visita com flor isolada após contato com um indivíduo da espécie *Apis mellifera* (B).**

## **Produtividade do café e práticas agroecológicas**

O estudo foi realizado em cinco propriedades com sistema de cultivo do tipo convencional (SC) e em cinco do tipo agroflorestal (SAF) no município de Araponga, Minas Gerais. O sistema de cultivo convencional caracteriza-se pela presença de arbustos de *Coffea arabica* a pleno sol, enquanto o sistema de cultivo agroflorestal caracteriza-se pela sua alta diversidade florística com pelo menos dois estratos (arbóreo, arbustivo e vegetação rasteira). Cada propriedade correspondente a este sistema apresenta diferenças na riqueza e abundância de espécies arbóreas utilizadas.

Em cada uma das propriedades foram marcados 10 arbustos de café distribuídos uniformemente nas fileiras, desconsiderando-se 5m externos para evitar o efeito de borda na produção (Matiello, 1986). Em cada arbusto foram marcados dois ramos a aproximadamente 1m de altura. Um deles foi envolvido com tela de malha (1,5 mm) que impossibilitou o contato das flores com possíveis polinizadores, mas permitiu a passagem dos grãos de pólen transportados abioticamente, e o outro ramo permaneceu livre para a visita dos polinizadores às flores, caracterizando um experimento pareado (Figura 2). Essa metodologia já foi empregada com sucesso em estudos anteriores (De Marco & Coelho, 2004; Klein et al., 2003c).

Nos ramos marcados foram realizadas contagens do número de botões florais no período de floração e posteriormente a contagem do número de frutos no período de frutificação permitindo estimar o número de flores produzidas por propriedade, bem como a proporção de frutos produzidos por flor em cada ramo e a variação nesse descritor em relação ao contato com os polinizadores e o sistema de produção.



A



B

**Figura 2: Experimento de polinização e produtividade mostrando os ramos do café marcados e o experimento pareado com e sem visita de polinizadores (A e B).**

### **Análise dos dados**

Na análise da importância de *Apis mellifera* como espécie polinizadora apenas foi verificado o percentual de frutificação das flores visitadas. Já as análises do número de flores e da proporção de frutos produzidos no experimento em relação à visita de polinizadores e aos sistemas de cultivo foi realizada utilizando o método de Análise de Variância Hierárquica de Medida Repetida (Zar, 1999). Essa análise é a mais adequada ao delineamento experimental que inclui um experimento pareado (com e sem visita de polinizadores, componente de medida repetida) e três escalas de efeitos independentes; a planta, a propriedade e o sistema de cultivo (componente hierárquico). Nesse estudo cada propriedade foi considerada uma unidade amostral para a hipótese testada e a análise hierárquica é considerada a melhor forma de tratar problemas de pseudoreplicação (plantas amostradas dentro da mesma propriedade) em experimentos observacionais no campo (Hurlbert, 1984; Underwood, 1997). O delineamento por medida repetida para comparar o efeito dos visitantes florais permite controlar efeitos como a umidade e os nutrientes do solo, que podem interferir na produtividade de cada planta, aumentando a robustez dos resultados nesse tipo de experimento.

## RESULTADOS

### **Papel da espécie *Apis mellifera* como polinizador efetivo do café**

Das 30 flores que receberam a visita de *Apis mellifera*, 13 formaram frutos, o que representa uma eficiência de pelo menos 43,3% no processo de polinização, visto que algumas flores são naturalmente perdidas no intervalo entre a floração e a frutificação. Em condições naturais, verificadas através dos dados de campo coletados, observamos que em média 51% das flores produzidas pela planta formam frutos, o que permite dizer que *Apis mellifera* é uma espécie importante nesse processo.

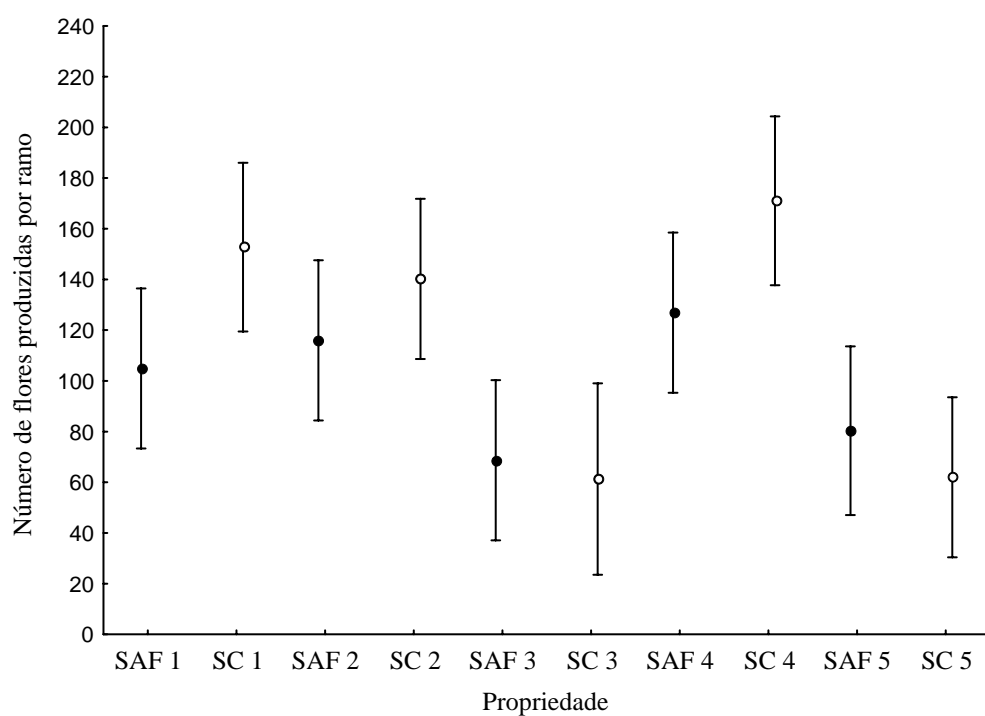
O período de atividade das abelhas no café foi das 6 às 18 horas, intensificando-se das 12 às 15 horas e tanto para a coleta de néctar como de pólen essas abelhas demoram de 1 a 3 segundos na flor.

### **Produtividade do café e práticas agroecológicas**

O número de flores produzidas por ramo diferiu de uma propriedade para outra dentro dos diferentes sistemas de cultivo ( $F=5,857$ ;  $gl=8$ ;  $p<0,01$ ), entretanto as análises mostram que o número de flores produzidas por ramo em uma planta de café independe do sistema de cultivo utilizado ( $F=3,012$ ;  $gl=1$ ;  $p=0,08$ ) (Figura 3).

Os dados de proporção de frutos produzidos por flor apresentaram variâncias homogêneas nos tratamentos com ( $F=1,593$ ;  $gl=80$ ;  $p=0,131$ ) e sem ( $F=1,779$ ;  $gl=80$ ;  $p=0,085$ ) a visita de polinizadores. A análise hierárquica mostrou que embora existam pequenas variações quanto à produtividade em cada propriedade, não houve diferença entre os sistemas convencional (SC) e agroflorestal (SAF) de cultivo. O fator realmente efetivo é a presença dos polinizadores. Ramos livres para a visita de polinizadores produziram maior número de frutos por flor comparados aos ramos sem contato com polinizadores, o que demonstra ser a polinização um processo importante na produtividade do café, aumentando em média em 5% a produção (Tabela 1, Figura 4).

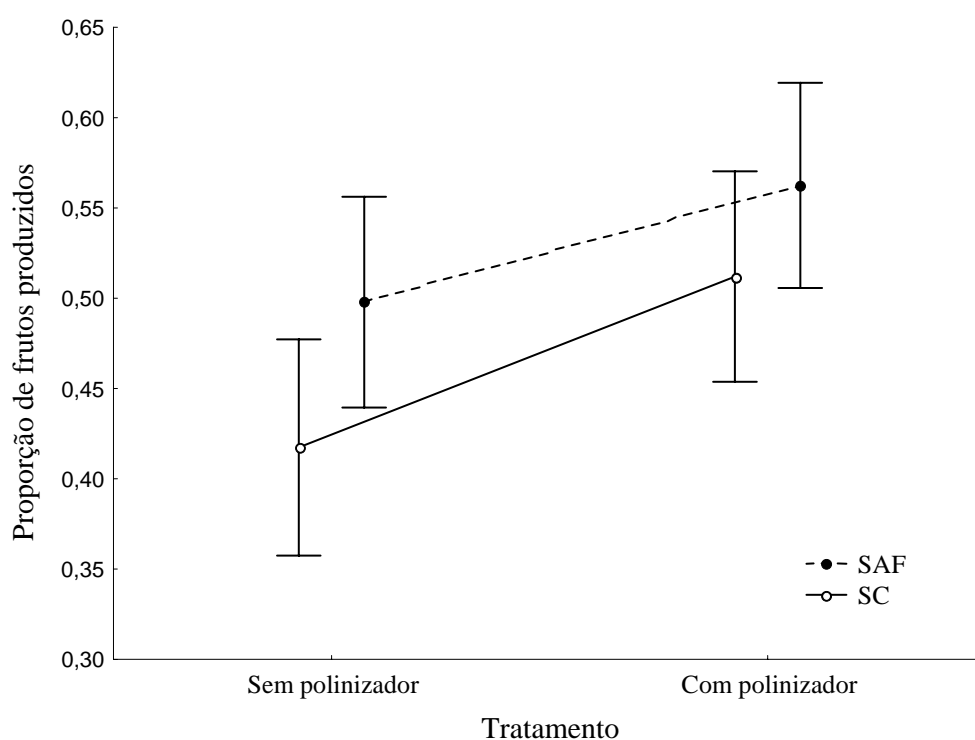
A Figura 5 traz a média e o intervalo de confiança da proporção de frutos produzidos por flor nos tratamentos com e sem a presença de polinizadores e nele é possível observar as pequenas diferenças entre propriedades.



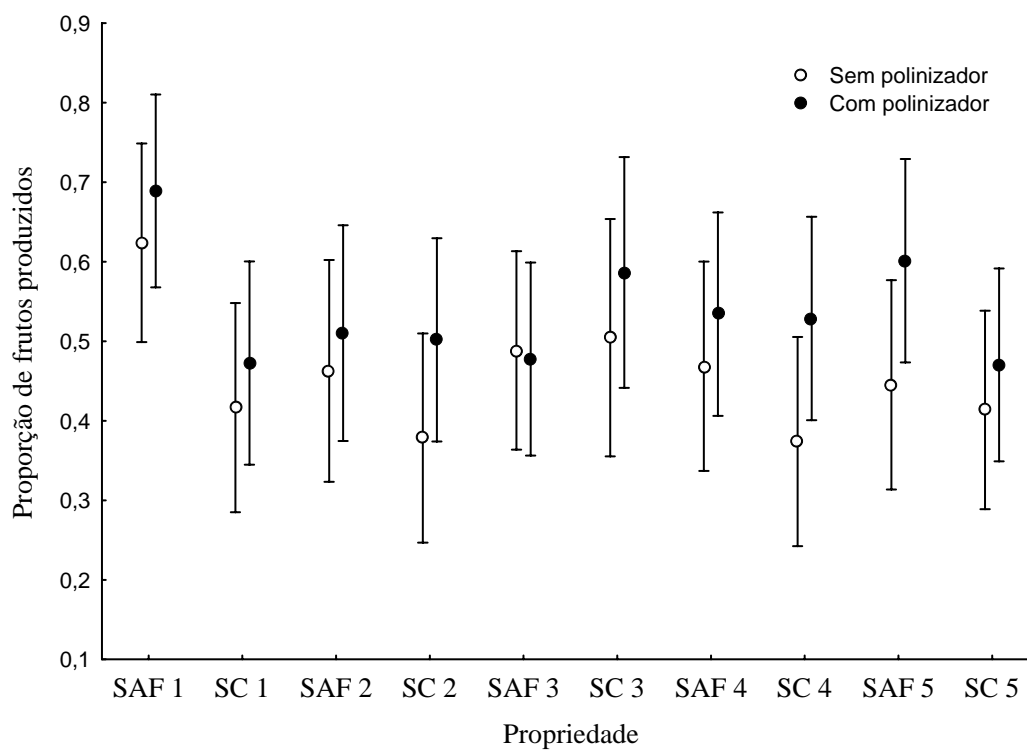
**Figura 3: Média e intervalo de confiança (0,95) do número de flores produzidas por ramo em cada propriedade dos sistemas de cultivo Agroflorestal (SAF) e Convencional (SC).**

**Tabela 1: Resultados da análise hierárquica de medida repetida para verificar a relação de produtividade *versus* local, sistema e tratamento (com polinizador e sem polinizador)**

	F	gl	p
Propriedade (Sistema de cultivo)	1,185	8	0,318
Sistema de cultivo	3,413	1	0,068
Tratamento (com e sem polinizador)	13,708	1	<b>&lt; 0,01</b>
Tratamento * Propriedade (Sistema de cultivo)	0,618	8	0,760
Tratamento * Sistema de cultivo	0,484	1	0,488



**Figura 4: Proporção de frutos produzidos por tratamento Com e Sem polinizadores nos sistemas de cultivo Agroflorestal (SAF) e Convencional (SC). As barras representam o intervalo de confiança de 95% .**



**Figura 5: Média e intervalo de confiança (0,95) da proporção de frutos produzidos por tratamento Com e Sem polinizadores em cada propriedade.**

## DISCUSSÃO

Como verificado anteriormente por outros autores, *Apis mellifera* é a espécie dominante na exploração dos recursos florais e desempenha um papel importante na formação de frutos (Malerbo-Souza et al., 2003; Ramalho et al., 1990; Roubik, 2002a). Seu caráter generalista, suas colônias populosas e o recrutamento de outros indivíduos fazem desta espécie um polinizador importante. Embora seu forrageamento esteja relacionado principalmente à coleta de néctar (98,2%) (Malerbo-Souza & Nogueira-Couto, 1997), os indivíduos acabam por transportar grãos de pólen de uma flor a outra, seja na mesma planta ou entre plantas diferentes. Levando-se em consideração o tamanho corporal das espécies visitantes e a morfologia da flor, nenhuma das demais espécies coletadas deve ser excluída da comunidade de abelhas possíveis polinizadoras de café, uma vez que se capazes de tocar as partes reprodutivas da flor acidentalmente transportarão consigo alguns grãos de pólen.

O experimento pareado mostra claramente a importância da presença dos polinizadores na produtividade da cultura, o que representa um aumento de em média 5% na formação de frutos. Sua produção abundante de flores tem papel importante por aumentar a disponibilidade de grãos de pólen no ambiente facilitando a polinização pelo vento e por gravidade, o que aliado à rica fonte de néctar funcionam como um grande atrativo para espécies visitantes capazes de efetuar a polinização (Collevatti et al., 2000; Veeresh et al., 1993). Logo, como verificado para muitas culturas (McGregor, 1976), os polinizadores desempenham um papel importante contribuindo para o aumento de produtividade da planta.

Se considerarmos que em uma propriedade de um hectare podem ser plantados 4000 pés de café no espaçamento de 2,5m x 1m e que um cafezal de aproximadamente 5 anos de idade produz em média 4680 grãos por pé de café (dados de coleta), teremos uma produção de 18.720.000 grãos correspondentes a 176,56 sacas de café. Assim, um aumento médio de 5% associado ao serviço de polinização nestas áreas refere-se 8,8 sacas a mais de café para o produtor por hectare caso a mata seja mantida.

Se o valor de uma saca de café é, hoje no mercado, de aproximadamente R\$245,00 (<http://www.abic.com.br>), esse produtor tem um ativo de R\$ 45.413,20 ao ano com a produção de café. Nestes termos, o valor da polinização como serviço do

ecossistema para culturas próximas às matas nativas seria de R\$ 2.156,00 por hectare ao ano.

Tem-se observado uma variação razoavelmente grande quanto à contribuição da polinização para o aumento de produtividade da cultura. Os 5% de aumento aqui encontrados associado aos 14,6% (De Marco & Coelho, 2004) e aos 20% (Ricketts et al., 2004) ilustram tal variação, que pode ser atribuída a uma série de fatores e que sugere que este serviço pode apresentar uma significância econômica ainda maior. Dentre esses fatores podemos citar a diversidade local de polinizadores, a atratividade da cultura proporcionada pela concentração de flores ricas em pólen e néctar e a proximidade de apiários, variáveis relacionadas ao efeito da paisagem, bem como ao uso de agrotóxicos, de capina e varrição, variáveis relacionadas ao manejo da cultura. Além disso, muitos outros serviços do ecossistema estão associados à presença de fragmentos florestais nas propriedades o que agrega valor maior ainda à conservação dessas pequenas reservas de biodiversidade.

Embora os sistemas agroflorestais propiciem uma série de condições ambientais que favorecem o aumento de produtividade, tais como proteção do solo contra erosão, enriquecimento do solo com matéria orgânica e nutrientes, retenção de umidade (Cardoso et al., 2003b; Kass et al., 1997; Moraes et al., 2006; Roose & Ndayizigiye, 1997), potencial de ciclagem de C e N microbiano superior (Almeida et al., 2007), grande número de esporos indicando alta incidência de micorrizas (Cardoso et al., 2003a) e alta biodiversidade (Armbrecht et al., 2005; Harvey & Villalobos, 2007; Klein et al., 2002), não foram constatadas diferenças quanto aos sistemas de cultivo. Entretanto, a probabilidade associada à hipótese nula de que sistemas agroflorestais e convencionais apresentam produtividade igual do ponto de vista estatístico foi de apenas 6%, um indicativo de que a coleta de um maior número de amostra seria conveniente para aumentar o poder do teste.

Resultado diferente foi observado por Moraes et al. (2006), que verificou uma menor produção de grãos em sistemas agroflorestais. Em parte isso se deve ao sombreamento das plantas que emitem menos ramos plagiotrópicos, com menor número de nós por ramo e poucos nós com frutos, o que resulta na redução da produção de café. Por outro lado ocorre a produção de frutos maiores em virtude da maturação mais lenta (Moraes et al., 2006).

Importante lembrar que deve existir ainda nesses sistemas uma competição entre as espécies arbóreas e o café principalmente por nutrientes e luz, aspecto ainda pouco estudado, mas relevante na escolha das espécies arbóreas consorciadas e no delineamento estrutural do cultivo. Entretanto, cabe ressaltar que além da produção de café o agricultor que opta por sistemas agroflorestais normalmente retira deste uma série de outros bens produzidos pelas espécies consorciadas que muitas vezes são importante fonte de renda para a economia familiar. Caso de espécies como o abacate, a mandioca, fruteiras e algumas espécies utilizadas na produção de produtos farmacêuticos.

De acordo com Perfecto et al.(2005) a crise no mercado de café é uma ótima oportunidade para explorar alternativas de mercado, o que associado a crise dos polinizadores fortalece a necessidade de uma otimização agrícola baseada no balanço entre produção e preservação da biodiversidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achard,F., Eva,H.D., Stibig,H.J., Mayaux,P., Gallego,J., Richards,T., and Malingreau,J.P., 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*, 297:999-1002 pp.
- Almeida,E.F., Polizel,R.H.P., Gomes,L.C., Xavier,F.A.S., and Mendonça,E.S., 2007. Microbial biomass under agroforestry system in the zona da mata region, MG-Brazil. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2:739-742 pp.
- Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems & Environment* 74:19-31
- Angermeier, P. L and Karr, J. R. 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *Bioscience* 44:690-697.
- Armbrecht,I., Rivera,L., and Perfecto,I., 2005. Reduced diversity and complexity in the leaf-litter ant assemblage of Colombian coffee plantations. *Conservation Biology*, 19:897-907 pp.
- Balmford,A., Bruner,A., Cooper,P., Costanza,R., Farber,S., Green,R.E., Jenkins,M., Jefferiss,P., Jessamy,V., Madden,J., Munro,K., Myers,N., Naeem,S., Paavola,J., Rayment,M., Rosendo,S., Roughgarden,J., Trumper,K., and Turner,R.K., 2002. Ecology - Economic reasons for conserving wild nature. *Science*, 297:950-953 pp.
- Barradas,V.L. and Fanjul,L., 1986. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 38:101-112 pp.
- Cardoso,I.M., Boddington,C., Janssen,B.H., Oenema,O., and Kuyper,T.W., 2003a. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58:33-43 pp.
- Cardoso,I.M., Janssen,B.H., Oenema,O., and Kuyper,T.W., 2003b. Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. *Agroforestry Systems*, 58:55-64 pp.

- Chapin,F.S. and Zavaleta,E., 2000. Consequenses of changing biodiversity. *Nature*, 405:234-242 pp.
- Chichilnisky, G. and Heal, G. 1998. Economic returns from the biosphere. *Nature* 391:629-630.
- Collevatti,R.G., Schoereder,J.H., and Campos,L.A.O., 2000. Foraging behavior of bee pollinators on the tropical weed *Triumphetta semitriloba*: Flight distance and directionality. *Revista Brasileira de Biologia.*, 60:29-37 pp.
- Costanza,R., d'Arge,R., de Groot,R., Farber,S., Grasso,M., Hannon,B., Limburg,K., Naeem,S., O'Neill,R.V., Paruelo,J., Raskin,R.G., Sutton,P., and van den Belt,M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387:253-260 pp.
- Daily, G. C. 1999. Developing a Scientific Basis for Managing Earth's Life Support Systems. *Conservation Ecology* 3:1-15.
- De Marco,P.Jr. and Coelho,F.M., 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13:1245-1255 pp.
- Fearnside, P. M. 1988. Jari at age 19: lessons for Brazil's silvicultural plans at Carajás. *Interciencia* 13:12-24.
- Gobbi,J.A., 2000. Is biodiversity-friendly coffee financially viable? An analysis of five different coffee production systems in western El Salvador. *Ecological Economics*, 33:267-281 pp.
- Harvey,C.A. and Villalobos,J.A.G., 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation*, 16:2257-2292 pp.
- Heithaus,E.R., 1974. The role of plant-pollinator interactions in determining community structure. *Annual Missouri Botanical Garden*, 61:675-691 pp.
- Hurlbert,S.H., 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54:187-211 pp.

- Karr, J. R., and Dudley, L. A.. 1981. Ecological perspective in water quality goals. *Environmental Management* 5:55-68.
- Kass, D.C.L., SylvesterBradley, R., and Nygren, P., 1997. The role of nitrogen fixation and nutrient supply in some agroforestry systems of the Americas. *Soil Biology & Biochemistry*, 29:775-785 pp.
- Keddy, P. A and Lee, H. T.. 1993. Choosing indicators of ecosystem integrity: wetlands as a model system. Pages 61-79 in S. Woodley, J. Kay, and G. C. Francis editors. *Ecological integrity and the management of ecosystems*. St. Lucie Press VL.
- Kearns, C.A., Inouye, D.W., and Waser, N.M., 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant- pollinator interactions. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 29:83-112 pp.
- Kevan, P. and Viana, B.F., 2003. The global decline of pollination services. *Biodiversity*, 4:3-8 pp.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., Buchori, D., and Tschardtke, T., 2002. Effects of land-use intensity in tropical agroforestry systems on coffee flower-visiting and trap-nesting bees and wasps. *Conservation Biology*, 16:1003-1014 pp.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., and Tschardtke, T., 2003a. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90:153-157 pp.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., and Tschardtke, T., 2003b. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270:955-961 pp.
- Klein, A.M., Steffan-Dewenter, I., and Tschardtke, T., 2003c. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *J. Applied Ecology*, 40:837-845 pp.
- Kremen, C., Williams, N.M., Bugg, R.L., Fay, J.P., and Thorp, R.W., 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecological Letters*, 7:1109-1119 pp.

- Kremen,C., Williams,N.M., and Thorp,R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99:16812-16816 pp.
- Malerbo-Souza,D.T. and Nogueira-Couto,R.H., 1997. Atrativo para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Mensagem Doce*, 44:6-11 pp.
- Malerbo-Souza,D.T., Nogueira-Couto,R.H., Couto,L.A., and Souza,J.C., 2003. Atrativo para as abelhas *Apis mellifera* e polinização em café (*Coffea arabica* L.). *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science*, 40:272-278 pp.
- Masood, E. and Garwin, L. 1998. Costing the Earth: when ecology meets economics. *Nature* 395:426-427.
- Matiello,J.B., 1986. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: A.B.C.P.Rena (Editor), *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, pp. 1-11.
- McGregor,S.E., 1976. *Insect pollination of cultivated crop plants*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., -411 pp.
- Moraes,H., Caramori,P.H., Ribeiro,A.M.A., Gomes,J.C., and Koguishii,M.S., 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil . *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:763-770 pp.
- Palmer,M., Bernhardt,E., Chornesky,E., Collins,S., Dobson,A., and Duke,C., 2004. Ecology for a crowded planet. *Science*, 304:1251-1252 pp.
- Perez,A.M.M., Jucksch,I., Mendonca,E.S., and Costa,L.M., 2004. Impactos da implementação de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo. *Agropecuária Técnica*, 25:25-36 pp.
- Perfecto,I., Mas,A., Dietsch,T., and Vandermeer,J., 2003. Conservation of biodiversity in coffee agroecosystems: a tri-taxa comparison in southern Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 12:1239-1252 pp.

- Perfecto,I., Vandermeer,J., Mas,A., and Soto-Pinto,L., 2005. Biodiversity, yield and shade coffee certification. *Ecological Economics*, 54:435-446 pp.
- Priess,J.A., Mimler,M., Klein,A.M., Tschardtke,T., and Steffan-Dewenter,I., 2007. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Application*, 17:407-417 pp.
- Ramvalho,M., Kleinert-Giovannini,A., and Imperatriz-Fonseca,V.L., 1990. Important bee plants for stingless bees (*Melipona* and *Trigonini*) and Africanized honeybees (*Apis mellifera*) in neotropical habitats: a review. *Apidologie*, 21:469-488 pp.
- Ricketts,T.H., 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18:1262-1271 pp.
- Ricketts,T.H., Daily,G.C., Ehrlich,P.R., and Michener,C.D., 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101:12579-12582 pp.
- Roose,E. and Ndayizigiye,F., 1997. Agroforestry, water and soil fertility management to fight erosion in tropical mountains of Rwanda. *Soil Technology*, 11:109-119 pp.
- Roubik,D.W., 2002a. Feral African bees augment neotropical coffee yield. In: P.Kevan and V.L.Imperatriz-Fonseca (Editors), *Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature*. Ministry of Environment, Brasília, pp. 255-266.
- Roubik,D.W., 2002b. Tropical agriculture: The value of bees to the coffee harvest. *Nature*, 417:708 pp.
- Underwood,A.J., 1997. *Experiments in Ecology: Their logical design and interpretation using analysis of variance*. Cambridge University Press, Cambridge, 1-504 pp.
- Veeresh,G.K., Shaanker,R.U., and Ganeshiah,K.N., 1993. *Pollination in Tropics*. International Union for the study of Social Insects - Indian Chapter, Department of Entomology, University of Agricultural Sciences, Bangalore.
- Zar,J.H., 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1-663 pp.

## **CAPÍTULO III**

### **O EFEITO DA PAISAGEM SOBRE A PRODUTIVIDADE DOS CAFEZAIS**

#### **INTRODUÇÃO**

A fragmentação de habitats é definida como um processo no qual uma extensão de território é transformada em um conjunto de manchas (fragmentos) ou áreas isoladas por uma matriz de habitat diferente do original (Fahrig, 2003). Sob este aspecto, uma paisagem pode ser qualitativamente classificada como um contínuo ou como fragmentada. Quantitativamente, no entanto, uma paisagem fragmentada pode apresentar uma série de parâmetros que caracterizam a estrutura da paisagem. Os principais parâmetros de interesse nesse caso são (1) a redução do habitat, (2) o aumento do número de fragmentos, (3) a redução do tamanho dos fragmentos e (4) o aumento do isolamento entre fragmentos, e representam a base da maioria das medidas quantitativas da fragmentação (Fahrig, 2003).

Atualmente, a paisagem que se observa na Zona da Mata de Minas Gerais é fruto do desmatamento de extensas áreas de Mata Atlântica para a expansão agrícola e o desenvolvimento de áreas urbanas, compondo assim uma paisagem formada por fragmentos florestais imersos em uma matriz agrário-urbana. A estrutura dessa paisagem deve determinar a capacidade de movimentação de populações de animais, a dispersão de frutos em plantas e conseqüentemente o fluxo gênico. Dessa forma, a persistência dessas populações pode estar diretamente ligada às características da paisagem, incluindo o grau de resistência à dispersão causada pela nova matriz.

Estudos na escala da paisagem têm mostrado um efeito negativo da perda de habitats naturais sobre as comunidades de vários grupos de insetos incluindo abelhas (principais polinizadores existentes), vespas, formigas, moscas, besouros, borboletas e mariposas (Kruess & Tscharntke, 1994; Steffan-Dewenter et al., 2002; Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003; Steffan-Dewenter, 2003). Taki & Kevan (2007) estudaram o efeito da perda de habitat sobre a estrutura da comunidade de plantas e insetos e descobriram que tal perda gera uma tendência para a ocorrência de espécies de insetos generalistas e o mesmo não aconteceu com as plantas. Os autores sugerem que nas

interações planta-polinizador, os insetos são mais sensíveis e/ou rápidos que as plantas na resposta a perda de habitat, o que implica em uma grande vulnerabilidade dos insetos no sistema.

Muitas plantas nativas presentes nos fragmentos das florestas tropicais são polinizadas por insetos (Bawa, 1990; Liow et al., 2001) mas o uso destes fragmentos como fonte de polinizadores para culturas agrícolas presentes na matriz tem sido muito pouco explorado. Exceções são os trabalhos que demonstram a importância dos polinizadores presentes nesses fragmentos para as culturas de café (*Coffea* sp.) (De Marco & Coelho, 2004; Klein et al., 2003b; Klein et al., 2003c; Ricketts et al., 2004; Ricketts, 2004), atemóia (*Annona squamosa*, *Annona cherimola*), macadâmia (*Macadamia integrifolia*) e lichia (*Dimocarpus longan*) (Blanche et al., 2006) e laranja (*Citrus paradisi*) (Chacoff & Aizen, 2006).

Existe ainda uma relação entre a distância de fragmentos de vegetação nativa e a vantagem advinda do serviço de polinização que o ecossistema presta à cultura (Klein et al., 2003c; Kremen et al., 2002; Ricketts et al., 2004), isso porque grande parte das espécies de abelhas, utilizam os fragmentos de vegetação nativa para construir seus ninhos e explorar recursos das flores. Em seus estudos sobre a polinização de café em sistemas agroflorestais Klein et al.(2003c) verificaram que o número de espécies de abelhas sociais diminui com a distância dos fragmentos enquanto o número de espécies solitárias aumenta com a intensidade de luz. De Marco & Coelho (2004) verificaram que cultivos próximos a fragmentos (distância < 1 Km) produzem, em média, 14,6% a mais quando comparados a sistemas distantes. Ricketts et al.(2004) verificaram que este aumento corresponde a 20% na Costa Rica. Segundo Klein et al (2003a), tanto a riqueza de espécies de abelhas quanto a produção de frutos diminui com o aumento da distância de fragmentos florestais, fato possivelmente relacionado a diversidade de espécies sociais que devido a sua capacidade de recrutamento exercem importante papel na exploração dos recursos florais. Resultado semelhante foi encontrado por Chacoff & Aizen (2006) para culturas de *Citrus paradisi*. A frequência de visitantes nas flores desta espécie diminuiu com o aumento da distância de fragmentos e a fauna de visitantes perdeu em diversidade. O número de indivíduos de *Apis mellifera*, espécie mais abundante, também sofreu redução a distâncias superiores a 500 m da borda dos fragmentos. Esse efeito da distância sugere que variáveis relacionadas à ecologia da paisagem como a permeabilidade da matriz à dispersão dos polinizadores podem ser essenciais neste tipo de estudo.

Entretanto, outros estudos têm ainda enfatizado a importância do habitat local para as comunidades de insetos (Collinge, 1996; Collinge, 2000; Collinge, 2001; Taki et al., 2007). A paisagem e o habitat local são aspectos que interferem na comunidade de maneira distinta e dependem do organismo, da estação do ano, do ecossistema e da complexidade das interações entre eles (Stoner & Joern, 2004; Tschardt et al., 2005). Taki et al. (2007) estudaram comunidades de vespas que usam ninhos armadilha e constataram que a comunidade é mais afetada pela complexidade do habitat local, indicada pela riqueza de espécies de plantas floridas, do que pela perda de florestas naturais. Perfecto & Vandermeer (2002) verificaram que em uma paisagem com fragmentos de vegetação nativa e sistemas convencionais (matriz de baixa qualidade) e orgânicos (matriz de alta qualidade) de cultivo de café, não existem diferenças quanto à riqueza de espécies de formigas entre a vegetação nativa e a matriz de alta qualidade, entretanto estas diferem da matriz de baixa qualidade.

Ainda que os recursos florais sejam essenciais também para as espécies de abelhas, a maioria delas depende de árvores vivas para construir seus ninhos, enquanto uma minoria nidifica no solo ou constrói ninhos aéreos (Wille, 1983), o que torna os fragmentos florestais um habitat essencial para muitas espécies. Logo, no contexto de uma paisagem fragmentada, matriz, fragmentos e a área de transição entre estes ambientes assumem papel importante para a conservação das espécies.

Murphy & Lovett-Doust (2004) incluem nessa discussão o fato de que a matriz afeta fortemente os processos que ocorrem nos fragmentos através (1) da redução ou aumento das taxas de dispersão e colonização, (2) provendo habitats sub-ótimos alternativos e (3) agindo como fonte de espécies invasoras. Essa influência da matriz no processo de colonização dos fragmentos foi observada para comunidades de aves e morcegos presentes em fragmentos florestais e áreas de cabruca na Bahia (Faria et al., 2006). Para Jules et al. (2003) a matriz representa um ambiente dinâmico, principalmente em se tratando do componente agrícola, e os vários tipos de matriz podem provocar diferentes respostas nas comunidades alterando a disponibilidade de recursos para os polinizadores e a dispersão de sementes e herbívoros. Modificações na matriz propiciam oportunidades de redução do grau de isolamento entre os fragmentos e do risco de extinção de populações presentes nessa paisagem (Ricketts, 2001).

O objetivo deste capítulo é identificar variáveis relacionadas à ecologia da paisagem importantes na preservação do serviço de polinização. Nossas análises partem das seguintes hipóteses: (1) Quanto maior é a proporção de mata ao redor dos cafezais

maior é sua produtividade e (2) Quanto menos fragmentada a paisagem ao redor da cultura maior a produtividade da cultura.

## **METODOLOGIA**

### **A produtividade da cultura**

Esta etapa do trabalho faz uso dos dados de produtividade das culturas mencionadas no capítulo anterior, município de Araponga – MG, bem como de dados publicados em 2004 por De Marco & Coelho, que desenvolveram o trabalho utilizando a mesma metodologia no município de Viçosa – MG. Os municípios apresentam características distintas quanto a sua ocupação e uso do solo, representando uma amostragem mais diversificada da paisagem. O município de Viçosa tem uma maior proporção de área com pastagens degradadas comparado com a região de Araponga que conta com a presença do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro, que representa uma grande área com cobertura vegetal preservada.

Segundo o IBGE/2007, o município de Araponga possui uma população de 8.029 habitantes distribuídos em 304 km<sup>2</sup>. Seu PIB gira em torno das atividades de serviços (12.484 mil reais), agropecuária (8.955 mil reais) e indústria (1.258 mil reais). Já o município de Viçosa possui uma população de 70.404 habitantes distribuídos em 299 km<sup>2</sup>. Seu PIB gira em torno das atividades de serviços (215.534 mil reais), indústria (80.346 mil reais) e agropecuária (12.739 mil reais). A cidade tem ainda como característica marcante o crescimento desordenado do setor imobiliário, impulsionado pelas unidades de ensino superior presentes na cidade, que atraem grande número de estudantes para a região.

Nos dois municípios o que se tem na verdade é um conjunto de fragmentos de mata inseridos em uma matriz agrícola composta basicamente por áreas de cultivo de café, milho, feijão, banana, goiaba e manga, além das áreas de pastagem.

Os dados de produtividade utilizados nesta análise referem-se à diferença entre a proporção de frutos produzidos entre os tratamentos com e sem o polinizadores, caracterizando uma medida do aumento de produtividade proporcionado pela visita dos polinizadores e não por outros fatores que pudessem interferir no processo, tais como as características de solo e umidade de cada local.

## **A imagem de satélite**

A proporção de floresta ao redor de cada propriedade foi estimada a partir da classificação por de imagem Landsat 5 da região. A imagem Landsat classificada foi obtida com o Instituto Estadual de Florestas – IEF, fruto de um trabalho do estudo da paisagem do estado de Minas Gerais que teve início em 2003.

As imagens foram adquiridas pelo IEF junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os dados foram coletados pelos sensores TM e ETM +, que se encontram a bordo dos últimos satélites da serie Landsat, e a seleção das mesmas foi feita levando em consideração a qualidade das imagens e uma quantidade de nuvens mínima ou nula quando possível. O mapa da flora nativa e dos reflorestamentos de Minas Gerais foi gerado a partir de imagens acerca do ano de 2003 com correção deste em 2005/2006. O IEF utilizou ainda no processo de classificação, uma base de dados contendo curvas de nível fornecidas pela SEMAD para dar suporte ao mapeamento da vegetação.

As informações de campo foram obtidas mediante incursões aéreas, utilizando o helicóptero do IEF, realizadas para retratar amostras das diversas formações vegetais da área e para verificar a acurácia do trabalho. Equipamentos de videografia, fotografia digital e GPS foram montados na aeronave para a coleta de dados.

Depois de ter feito todo o pré-processamento das imagens (tratamento das imagens, georeferenciamento, re-amostragem, remoção de nuvens e mosaico), procedeu-se a classificação da ocupação do solo utilizando um conjunto composto de 14 variáveis (bandas 3, 4, 5, 6 e 7 do inverno, índices Tasseled Cap da primavera, inverno e verão, bem como classes de altitude do terreno). O método de classificação foi supervisionado e o algoritmo classificador utilizado foi a árvore de decisão.

As classes das floras nativas e reflorestamentos, definidas para o presente mapeamento foram: Campo (de altitude, limpo e sujo), Campo Rupestre, Cerrado (denso e ralo), Cerradão, Vereda, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila, Eucalipto e Pinus. Após a classificação das imagens, classes como pastagem, solo exposto, áreas urbanas e outras, foram agrupadas em uma única classe denominada outros. Por fim cada zona de mapeamento foi interpretada visualmente para correção de possíveis erros de classificação (Figura 1).

## A cobertura vegetal e medidas de fragmentação da paisagem

Usando como base as imagens cedidas pelo IEF e cada ponto amostral (cultivo de café) georreferenciado, foram delimitados círculos (*buffers*) de 50, 100, 250, 500 e 1000 m de raio tomando como centro cada ponto amostral (Figura 2). Dentro de cada *buffer* criado foi calculada a área de mata (Floresta Estacional Semidecidual) presente, para isso foi utilizado o software ArcView 3.2. As variáveis referentes à proporção de mata em círculo correspondem a: Variável 1 (área de mata no buffer de 50m), Variável 2 (área de mata no buffer de 100m), Variável 3 (área de mata no buffer de 250m), Variável 4 (área de mata no buffer de 500m) , Variável 5 (área de mata no buffer de 1000m). O critério utilizado na escolha das distâncias referente ao raio de cada círculo diz respeito a habilidade de vôo das abelhas visitantes de flores de café. Tais espécies podem utilizar os fragmentos de mata como local para nidificação e transpor a matriz do habitat para coletar recursos nos cafezais quando estes estão floridos. O uso deste tipo de análise visa avaliar em qual escala de distância (de 50 a 1000m) o efeito da mata pode ser sentido, servindo para avaliar o papel da dispersão dos polinizadores na paisagem.

Além disso, foram calculadas várias medidas de fragmentação da paisagem dentro de cada *buffer* de 1000m utilizando o programa FRAGSTATS. Tal procedimento foi utilizado para identificar que variáveis referentes à fragmentação da paisagem afetam a produtividade da cultura. As medidas de fragmentação utilizadas no trabalho foram: 1) PD, Densidade de fragmentos - número de manchas correspondentes a fragmentos dividido pelo total da área em  $m^2$ ; 2) TE, Total de borda em metros - soma do comprimento (m) de todo o segmento de borda dos fragmentos na paisagem; 3) ED, Densidade de borda - soma do comprimento (m) de todo o segmento de borda dos fragmentos dividido pela área total da paisagem ( $m^2$ ); 4) PROX\_MN, Média do índice de proximidade a 500m de raio - valor médio da soma da área dos fragmentos ( $m^2$ ) dividido pelo quadrado das distâncias do fragmento mais próximo entre o fragmento e o fragmento focal; 5) CA, Área total dos fragmentos; 6) NP, Número de fragmentos; 7) LSI, Índice de forma da paisagem – comprimento total de borda na paisagem dado em número de células dividido pelo comprimento mínimo de borda possível em número de células quando a paisagem consiste em um único fragmento; 8) PARA\_MN, Média perímetro-área – média da razão entre o perímetro (m) e a área ( $m^2$ ) ; 9) LPI, Índice do

maior fragmento– área(m<sup>2</sup>) do maior fragmento da paisagem dividido pela área total(m<sup>2</sup>) da paisagem;10) COHESION, Índice de coesão dos fragmentos – mede a conectividade física dos fragmentos.

## Análises de dados

A abordagem para as análises desse estudo estão baseadas no reconhecimento da estrutura espacial explícita da paisagem e de seu efeito sobre os processos ecológicos de interesse (Metzger, 1999). Assim, a polinização de uma flor será resultado de processos que ocorrem no nível da flor, do ramo, da planta, da propriedade, do sistema de cultivo e da paisagem.

Associado às divergências de opinião quanto ao método de teste de hipóteses nulas, criticado pelo seu caráter estatístico e não biológico (Quinn & Dunham, 1983), ocorreu nos últimos anos o aumento do uso de ferramentas alternativas em análises na escala da paisagem, incluindo métodos de estatística Bayesiana e seleção de modelos explicativos baseados em teoria da informação (especialmente o “Akaike information criterion”, AIC). Esta é uma tentativa dos macroecologistas de interpretar dados complexos através de MAMs (“Minimum Adequate Models” – modelos adequados mínimos) que se baseiam na descrição de fenômenos de interesse através de variáveis explicativas que representam uma grande proporção da variância, e não necessariamente baseada no significado dessas variáveis em comparações com hipóteses nulas (Diniz et al., 2003; Rodriguez et al., 2006).

A lógica do teste pelo AIC é que não há hipótese sendo testada. Ao contrário, o teste permite que se determine qual modelo é o mais correto e quando. O teste pode ser usado para comparar qualquer tipo de modelo: lineares, não lineares, aninhados e não aninhados. A base teórica matemática do método de Akaike é bastante complexa; combina a teoria da máxima verossimilhança, a teoria da informação e o conceito de entropia da informação.

O cálculo do AIC é feito através da seguinte fórmula:

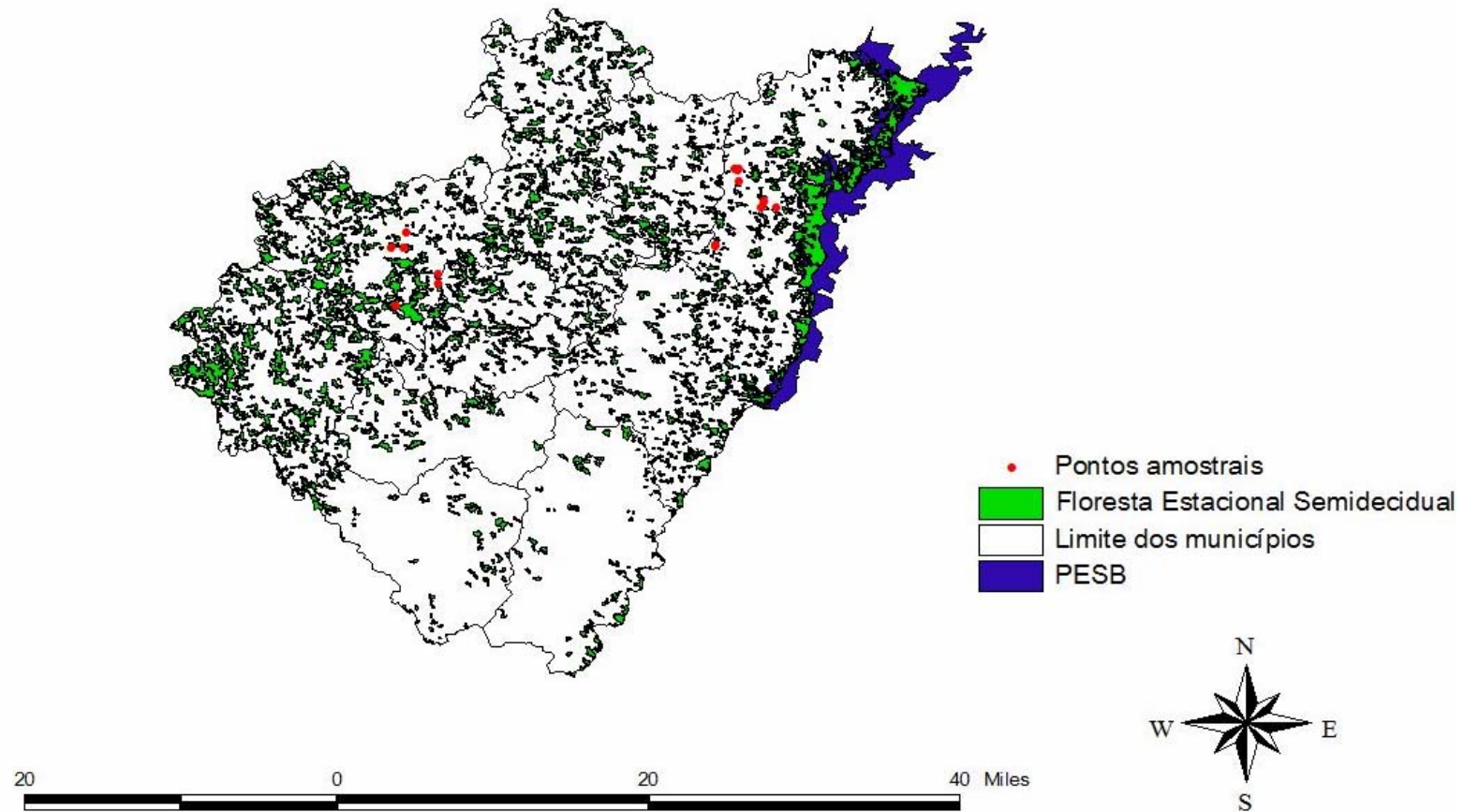
$$AIC = -2 \ln[\mathcal{L}(\theta/x)] + 2K,$$

Onde,  $\ln[\mathcal{L}(\theta/x)]$  é a função de verossimilhança e  $K$  é o número de parâmetros livres.

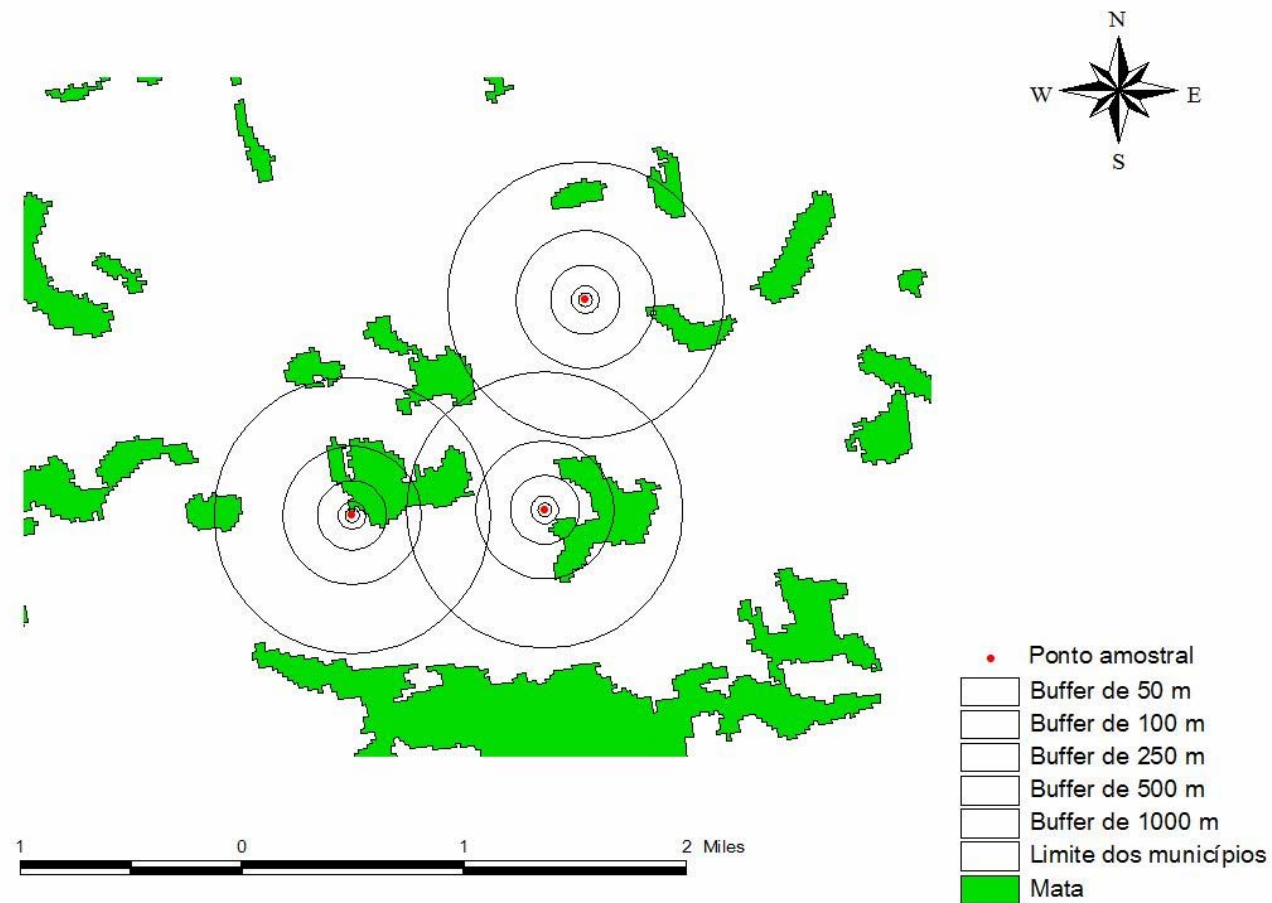
O AICc corresponde ao critério de informação Akaike corrigido para quando o número de observações for menor que dez vezes o número de parâmetros e delta AICc à diferença entre os AIC de duas equações com número diferente de parâmetros. O AICwi

representa o peso de cada modelo e é uma evidência de que determinado modelo é a melhor escolha.

Fenômenos ecológicos em escala espacial frequentemente geram autocorrelação espacial em dados biológicos, o que pode ser visto como um problema para a análise dos dados ou como uma oportunidade de entender processos biológicos relacionados à estrutura espacial do fenômeno (Legendre, 1993). Para identificar qual o efeito da proporção de mata ao redor da cultura e das variáveis descritivas da paisagem sobre a produtividade do café foi utilizado o programa SAM (Rangel et al., 2006), que escolheu os melhores modelos (MAMs) baseado no critério de informação Akaike na presença de autocorrelação espacial através de mínimos quadrados ordinários da regressão (OLS) (Diniz-Filho et al., 2008). Nesses modelos, valores de delta AIC menores que 3 são considerados adequados para os processos analisados.



**Figura 1: Mapa da região de trabalho contendo os pontos amostrais distribuídos nos municípios de Viçosa e Araponga, as áreas de Floresta Estacional Semidecidual e o Parque Estadual da Serra do Brigadeiro.**



**Figura 2: Esquema dos *Buffers* criados para calcular a proporção de mata (Floresta Estacional Semidecidual) ao redor de cada ponto amostral. As linhas de dentro para fora representam o aumento da distância a partir da cultura de café.**

## RESULTADOS

### Efeito da área de mata sobre produtividade do café

Sete modelos explicativos gerados são adequados, apresentando valores de delta AIC menores que três. O melhor modelo corresponde àquele que apresentar menor valor de AICc. O AICw representa o peso de cada modelo e é uma evidência de que determinado modelo é a melhor escolha. Baseado nos critérios acima mencionados pode-se dizer que o melhor modelo é o 18 que, inclui como variáveis explicativas a área de mata nos *buffers* de 100 e 250m. Este modelo sugere que tais variáveis são capazes de explicar aproximadamente 30% da variação dos dados e que a autocorrelação ou dependência entre as amostras não é um fator relevante (Moran's I = -0,063) (Tabela 1).

**Tabela 1: Modelos mínimos adequados (MANs) obtidos pelo método AIC para a relação entre a área de mata no *buffer* e a produtividade da cultura com as variáveis explicativas,  $R^2$ , AIC e Moran's I.**

Modelo	Variáveis	$R^2$	AICc	Delta AICc	AICc wi	Moran's I
18	2, 3	0,306	-36,7	0,000	0,218	0,063
22	2, 4	0,265	-35,827	0,872	0,141	0,063
17	2	0,113	-35,724	0,976	0,134	0,075
1	1	0,043	-34,584	2,116	0,076	0,078
31	5	0,011	-34,084	2,616	0,059	0,08
29	4	0,001	-33,943	2,757	0,055	0,075
25	3	0,001	-33,94	2,759	0,055	0,062

A tabela a seguir representa qual é em média a relação das variáveis explicativas apresentadas por todos os modelos válidos encontrados. Nela podemos observar a importância de cada variável no processo. A última coluna da tabela apresenta o valor de p encontrado pelo método de teste de hipóteses nulas referente à regressão simples entre a área de mata em cada *buffer* e a produtividade da cultura. Esta análise foi incluída apenas a título de comparação (Tabela 2).

**Tabela 2: Média dos parâmetros estimados pelos 31 modelos OLS (mínimos quadrados ordinários) gerados usando o  $AIC_{wi}$ . O valor de p apresentado na última coluna refere-se à análise pelo método de teste de hipóteses nulas.**

Variável	Importância	Coefficiente	Coefficiente Padrão	Erro Padrão	t	p
Constant	-	0,095	0	0,023	4,159	< 0,01
<i>Buffer</i> 50m	0,205	<.001	0,208	<.001	2,055	0,05
<i>Buffer</i> 100m	0,658	<.001	0,865	<.001	2,564	<b>0,02</b>
<i>Buffer</i> 250m	0,389	<.001	-0,691	<.001	-2,917	<b>0,01</b>
<i>Buffer</i> 500m	0,306	<.001	-0,508	<.001	-3,323	<b>&lt; 0,01</b>
<i>Buffer</i> 1000m	0,182	<.001	-0,054	<.001	-0,597	0,32

A Tabela 3 e a mostra como se comportam as variáveis explicativas no melhor modelo e através dela pode-se perceber um relação positiva entre a área de mata no *buffer* de 100m (Figura 3) e a produtividade e uma relação negativa entre a área de mata no *buffer* de 250m e a produtividade da cultura.

**Tabela 3: Parâmetros estimados pelo melhor modelo OLS (mínimos quadrados ordinários) de acordo com o AIC<sub>c</sub>.**

Variável	Coefficiente	Coefficiente Padrão	Erro Padrão	t	p
Constant	0,101	0,000	0,019	5,420	<0,01
<i>Buffer</i> 100m	<b>&lt;0,001</b>	1,148	<0,001	2,570	0,02
<i>Buffer</i> 250m	<b>&lt;0,001</b>	-0,949	<0,001	-2,126	0,05

#### Efeito da paisagem sobre produtividade do café

Quanto às medidas de fragmentação da paisagem e sua relação com a produtividade da cultura, foram obtidos cinco modelos válidos. O modelo 9 é o que melhor ilustra o fenômeno embora sua capacidade de explicar as variações sejam muito baixas (menor que 1%). A autocorrelação ou dependência entre as amostras não é um fator relevante (Moran's I = -0,055) (Tabela 4).

**Tabela 4: Modelos mínimos adequados (MANs) obtidos pelo método AIC para a relação entre as medidas de fragmentação da paisagem e a produtividade da cultura com as variáveis explicativas, R<sup>2</sup>, AIC e Moran's I .**

Modelo	Variáveis	R <sup>2</sup>	AICc	Delta AICc	AICc wi	Moran's I
9	2	0,008	-34,051	0,000	0,196	0,095
13	3	0,006	-34,01	0,041	0,192	0,078
15	4	0,005	-34,007	0,044	0,191	0,056
1	1	0,002	-33,95	0,101	0,186	0,071
6	1, 3	0,019	-31,503	2,548	0,055	0,228

A tabela a seguir representa qual é em média a relação das variáveis explicativas apresentadas por todos os modelos válidos encontrados. Nela podemos observar a importância de cada variável no processo. A última coluna da tabela apresenta o valor de p encontrado pelo método de teste de hipóteses nulas referente à regressão simples entre a medida de fragmentação e a produtividade da cultura. Esta análise foi incluída apenas a título de comparação (Tabela 5).

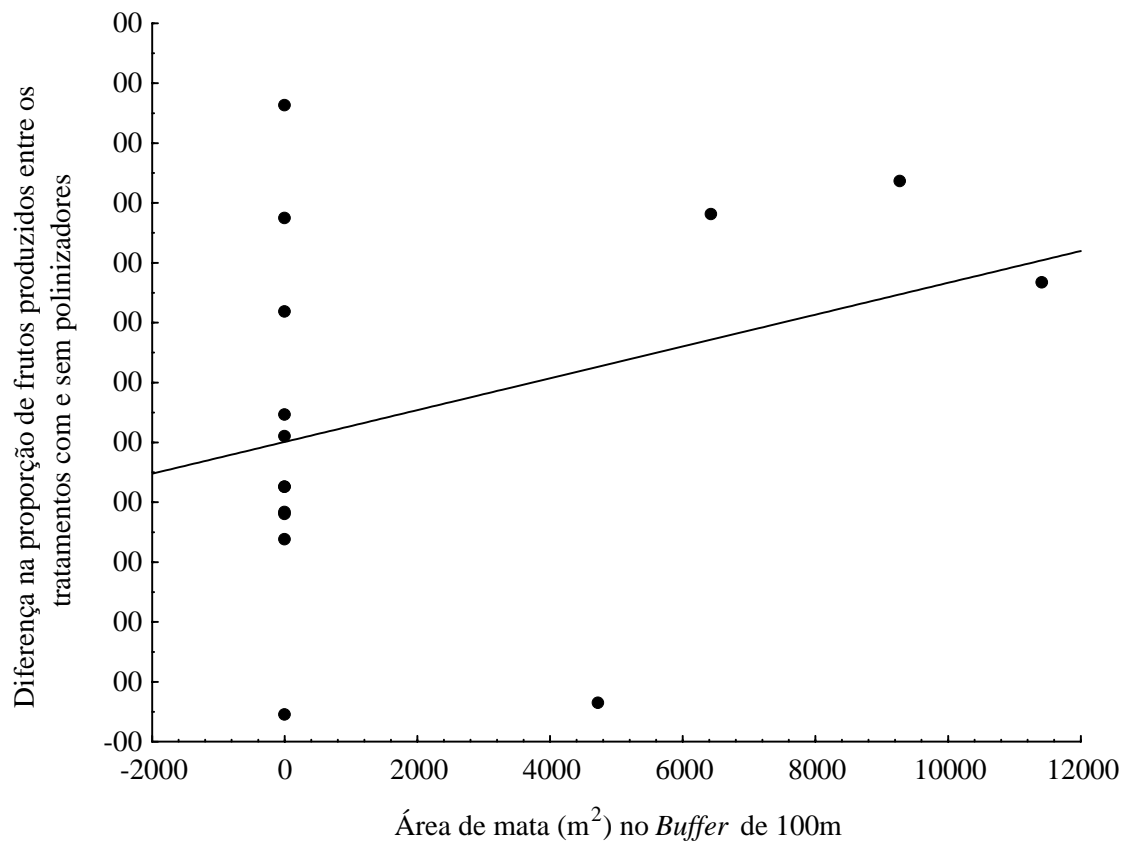
**Tabela 5: Média dos parâmetros estimados pelos 31 modelos OLS gerados usando o  $AIC_{wi}$ . O valor de p apresentado na última coluna refere-se a análise pelo método de teste de hipóteses nulas.**

Variável	Importância	Coefficiente	Coefficiente Padrão	Erro Padrão	t	p
Constant	-	0,077	0,000	0,049	1,585	0,11
PD	0,317	<0,001	-0,190	<0,001	-1,243	0,17
TE	0,310	<0,001	0,135	<0,001	1,305	0,16
ED	0,334	<0,001	0,253	<0,001	1,641	0,10
PROX_MN	0,297	-0,002	-0,084	0,002	-0,993	0,23

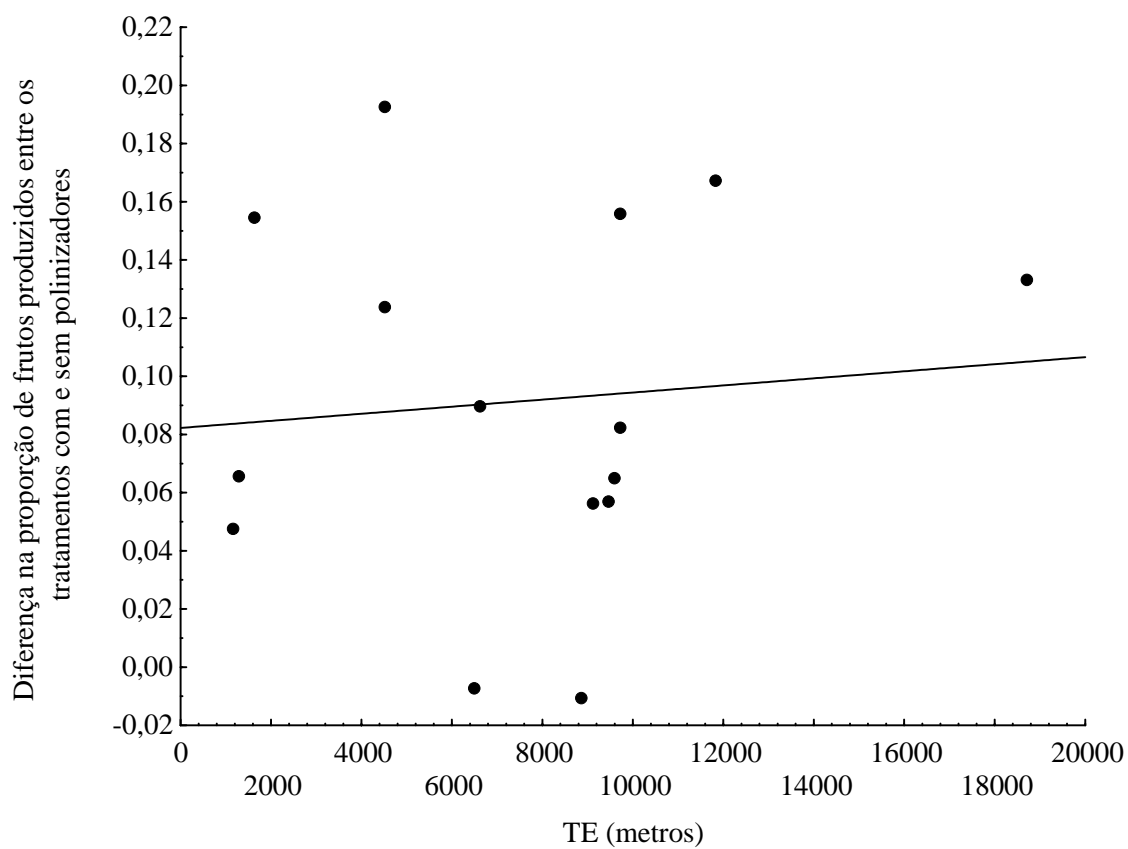
A tabela 6 e a Figura 4 mostram como se comporta a variável explicativa no melhor modelo e através dela pode-se perceber uma relação positiva entre o comprimento total de borda dos fragmentos e a produtividade da cultura, ou seja, quanto mais borda maior a produtividade da cultura.

**Tabela 6: Parâmetros estimados pelo melhor modelo OLS de acordo com o AIC<sub>c</sub>.**

Variável	Coefficiente	Coefficiente Padrão	Erro Padrão	t	p
Constant	0,082	0,000	0,032	2,549	0,02
TE	<0,001	0,091	<.001	0,331	0,36



**Figura 3: Relação entre a área de mata presente nos *buffer* de 100 metros e o aumento de produtividade da cultura propiciado pela presença dos polinizadores**



**Figura 4: Relação entre o total de borda (m) dos fragmentos presentes no *buffer* de 1000m e o aumento de produtividade da cultura propiciado pela presença dos polinizadores.**

## DISCUSSÃO

Outros autores observaram anteriormente uma relação entre a distância dos fragmentos de vegetação nativa e a vantagem advinda do serviço de polinização que o ecossistema presta à cultura (Klein et al., 2003c; Kremen et al., 2002; Ricketts et al., 2004; Ricketts, 2004). De Marco & Coelho (2004) assim como Ricketts et al. (2004) desenvolveram seus trabalhos avaliando o efeito da presença de fragmentos a uma distância máxima de 1 Km sobre a produtividade de cafezais e verificaram que os polinizadores presentes em tais fragmentos contribuem, em média, com 14,6% e 20% para o aumento da produção de frutos, respectivamente. Para Klein et al (2003a), tanto a riqueza de espécies de abelhas quanto a produção de frutos diminui com o aumento da distância de fragmentos florestais, fato possivelmente relacionado com a diversidade de espécies sociais que, devido a sua capacidade de recrutamento exercem importante papel na exploração dos recursos florais.

Outra variável relevante para o aumento de produtividade da cultura diz respeito à área dos fragmentos. Segundo Kremen et al.(2004) a estabilidade e previsibilidade dos serviços de polinização aumentam com o aumento das áreas de habitat natural, proporcionando uma relação positiva entre a taxa de deposição de pólen e a proporção de habitat natural. Seus modelos prevêem que para que um produtor de melancias obtenha produção satisfatória sobre o ponto de vista quali-quantitativo sua propriedade deveria estar localizada em uma área contendo habitat natural proporcionalmente maior ou igual a 40% a 2,4 Km de raio ou maior ou igual a 30% a um raio de 1,2 Km.

Os resultados aqui apresentados sugerem algo um pouco mais complexo que leva em consideração à distância e a área dos fragmentos, mas que encontra na matriz aspectos que ajudam a entender seus mecanismos. O que se observa é um aumento da produtividade quanto maiores os fragmentos posicionados a até 100m de distância e uma redução da produtividade quanto maiores os fragmentos posicionados a distâncias superiores a 250m. Embora a área dos fragmentos posicionados nos *buffers* de 50m não esteja incluída no melhor modelo explicativo esta apresenta relação positiva com o aumento de produtividade, que possivelmente não tenha sido relevante para o modelo devido ao grande número de amostras caracterizadas pela ausência de fragmentos neste raio.

Uma hipótese para explicar esse resultado lança mão da interação entre escalas locais e regionais na determinação da presença de espécies de abelhas visitantes. Os resultados fortemente sugerem que a presença de floresta muito próxima (menos de 100m) têm um efeito positivo provavelmente pela presença de espécies na borda imediata da cultura. O interface cultura-mata pode facilitar a presença de ninhos e o forrageio mais imediato nessas circunstâncias. As causas de uma diminuição de produtividade com a maior proporção de matas a mais de 250m é mais difícil de explicar.

Se sairmos do universo das hipóteses propostas (relação entre cultura agrícola e fragmento de floresta) e voltarmos à paisagem real, observamos que a paisagem não se restringe aos fragmentos dentro de cada *buffer* tratado e à propriedade em questão. Perceberemos que a matriz dentro de cada *buffer* pode apresentar outras fontes de recursos, inclusive outras áreas de cultivo de café. O que na verdade ocorre é que quando aumentamos a distância dos fragmentos à cultura, aumentamos também a ocorrência de outras fontes de recursos possivelmente tão atrativas aos polinizadores quanto aquela na qual mensuramos a produtividade. Baseado na teoria do forrageamento ótimo (Charnov, 1976) espera-se que as abelhas residentes em determinado fragmento busquem recurso na fonte mais rica e próxima, que não necessariamente diz respeito à propriedade estudada. Assim como outros organismos as abelhas otimizam o forrageamento visitando locais com alta disponibilidade de recursos, muitas flores com néctar e próximas do ninho. Isso é ainda mais interessante para as espécies sociais, capazes de interferir no comportamento das companheiras através do recrutamento para coleta de recursos (Pyke, 1978).

Klein et al.(2003c) verificaram que o número de espécies de abelhas sociais diminui com a distância dos fragmentos enquanto o número de espécies solitárias aumenta com a intensidade de luz. Resultado semelhante foi encontrado por Chacoff & Aizen (2006) para culturas de *Citrus paradisi*. A frequência de visitantes nas flores desta espécie diminuiu com o aumento da distância de fragmentos e a fauna de visitantes perdeu em diversidade. O número de indivíduos de *Apis mellifera*, espécie mais abundante, também sofreu redução a distâncias superiores a 500 m da borda dos fragmentos. Tais resultados contribuem com a explicação acima e reforçam a importância da permeabilidade da matriz (Townsend & Levey, 2005) que juntamente com a teoria do forrageamento ótimo ajudam a explicar como e porque as abelhas se movimentam na paisagem em busca de recursos.

Argumento semelhante pode ser usado para explicar o efeito de borda. Existem três tipos de efeito de borda nos fragmentos, (1) os abióticos, envolvendo mudanças nas condições ambientais resultado da proximidade da matriz, (2) os efeitos biológicos diretos, que envolvem mudanças na distribuição e abundância das espécies, causado diretamente pelas condições físicas e (3) os efeitos biológicos indiretos, que envolvem mudanças nas interações entre organismos tais como o parasitismo, a predação e a polinização (Murcia, 1995). A borda caracteriza-se como um ambiente propício para espécies generalistas como *Apis mellifera* e *Trigona spinipes* por apresentarem maiores limites de tolerância quanto às variações físicas. A alta incidência de luz e o contato com a matriz tornam este ambiente semelhante às áreas sucessionais, dominados por algumas poucas espécies de plantas mais tolerantes que quando floridas atraem grande número de visitantes. Sendo assim a borda pode abrigar uma série de espécies capazes de aí construir seus ninhos o que juntamente com o aumento da superfície de contato fragmento matriz deve facilitar a movimentação desses organismos em busca de recursos.

A estrutura da paisagem depende de uma série de fatores associados principalmente às características de cada ecossistema e ao desenvolvimento econômico, o que permite diferentes respostas quanto à distância percorrida pelos polinizadores na paisagem e sua contribuição para produção das diversas culturas, embora a otimização dos recursos seja a principal ferramenta para explicar tal processo.

Assim, a paisagem representa um ambiente dinâmico no qual os vários tipos de matriz podem provocar diferentes respostas nas comunidades. A preservação de fragmentos de vegetação nativa presentes nas Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal bem como os diversos tipos de matriz são essenciais na conservação de espécies e dos serviços do ecossistema. Faz-se necessário uma política de uso da paisagem, com incentivos à conservação e ao uso de técnicas de manejo sustentáveis que busquem um equilíbrio entre a produção e a conservação. Neste aspecto os serviços do ecossistema podem funcionar como ferramenta importante no convencimento dos detentores das propriedades rurais, principais responsáveis pela conservação.

Nesse sentido nossos resultados apontam para a importância da presença de remanescentes nas proximidades do café, aliado a um manejo de áreas sucessionais, o que deve contribuir para a conservação do serviço de polinização em paisagens rurais. Nossos

resultados também apontam para efeitos em escala muito pequena, que necessariamente refletem fenômenos dentro das propriedades. Isso coloca em xeque algumas propostas de ordenamento territorial em discussão no Brasil, que sugerem a criação de reservas legais cooperativas, dispostas longe das propriedades originais. O proprietário pagaria para poder converter toda a sua área em atividade agrícola e as áreas de reserva estariam estabelecidas em outras propriedades. A implementação dessa proposta levaria a uma diminuição considerável do serviço de polinização, e à luz de nossos dados, a presença da reserva legal dentro de cada propriedade é fator determinante para os serviços de ecossistema.

Assim, o efeito da proximidade de fragmentos de mata à cultura associado à área desses fragmentos contribui sobremaneira com a economia do agricultor, que além do ganho em produção propiciado pela polinização agrega valor ao seu produto quando preserva nesses fragmentos uma série de outros serviços do ecossistema contribuindo para um desenvolvimento sustentável.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

No decorrer deste trabalho foram realizadas ações junto à comunidade de agricultores do município de Araponga que consistiram no acompanhamento dos experimentos pelos produtores e em três encontros denominados “Café com Ciência”. Tais atividades representaram a participação do agricultor na construção do conhecimento sobre o serviço de polinização e tiveram como objetivo principal convencer o produtor das reais contribuições geradas pelos polinizadores para a cultura de café. Visto o efeito dos polinizadores sobre o aumento da produção de café e a importância de características da paisagem nesse processo esperamos que a participação do produtor na avaliação da importância dos fragmentos de mata da região possa gerar uma mudança de atitude quanto à conservação e exploração sustentável da paisagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bawa,K.S., 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21:399-422 pp.
- Blanche,K.R., Ludwig,J.A., and Cunningham,S.A., 2006. Proximity to rainforest enhances pollination and fruit set in orchards. *Journal of Applied Ecology*, 43:1182-1187 pp.
- Chacoff,N.P. and Aizen,M.A., 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology*, 43:18-27 pp.
- Charnov,E.L., 1976. Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology*, 9:129-136 pp.
- Collinge,S.K., 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning*, 36:59-77 pp.
- Collinge,S.K., 2000. Effects of grassland fragmentation on insect species loss, colonization, and movement patterns. *Ecology*, 81:2211-2226 pp.
- Collinge,S.K., 2001. Spatial ecology and biological conservation. *Biological Conservation*, 100:1-2 pp.
- De Marco,P.Jr. and Coelho,F.M., 2004. Services performed by the ecosystem: forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation*, 13:1245-1255 pp.
- Diniz,J.A.F., Bini,L.M., and Hawkins,B.A., 2003. Spatial autocorrelation and red herrings in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography*, 12:53-64 pp.
- Diniz-Filho,J.A.F., Rangel,T.F.L.V., and Bini,L.M., 2008. Model Selection and Information Theory in Geographical Ecology. *Global Ecology and Biogeography*.

- Fahrig,L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*,34:487-515 pp.
- Faria,D., Laps,R.R., Baumgarten,J., and Cetra,M., 2006. Bat and bird assemblages from forests and shade cacao plantations in two contrasting landscapes in the Atlantic Forest of southern Bahia, Brazil. *Biodiversity and Conservation*, 15:587-612 pp.
- Jules,E.S. and Shahani,P., 2003. A broader ecological context to habitat fragmentation: Why matrix habitat is more important than we thought. *Journal of Vegetation Science*, 14:459-464 pp.
- Klein,A.M., Steffan-Dewenter,I., and Tscharntke,T., 2003a. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American Journal of Botany*, 90:153-157 pp.
- Klein,A.M., Steffan-Dewenter,I., and Tscharntke,T., 2003b. Fruit set of highland coffee increases with the diversity of pollinating bees. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270:955-961 pp.
- Klein,A.M., Steffan-Dewenter,I., and Tscharntke,T., 2003c. Pollination of *Coffea canephora* in relation to local and regional agroforestry management. *Journal of Applied Ecology*., 40:837-845 pp.
- Kremen,C., Williams,N.M., Bugg,R.L., Fay,J.P., and Thorp,R.W., 2004. The area requirements of an ecosystem service: crop pollination by native bee communities in California. *Ecological Letters*, 7:1109-1119 pp.
- Kremen,C., Williams,N.M., and Thorp,R.W., 2002. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99:16812-16816 pp.
- Kruess,A. and Tscharntke,T., 1994. Habitat fragmentation, species loss, and biological control. *Science*, 264:1581-1584 pp.
- Legendre,P., 1993. Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology*, 74:1659-1673 pp.

- Liow,L.H., Sodhi,N.S., and Elmqvist,T., 2001. Bee diversity along a disturbance gradient in tropical lowland forests of south-east Asia. *Journal of Applied Ecology*., 38:180-192 pp.
- Metzger,J.P., 1999. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71:435-463 pp.
- Murcia,C., 1995. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10:58-62 pp.
- Murphy,H.T. and Lovett-Doust,J., 2004. Context and connectivity in plant metapopulations and landscape mosaics: does the matrix matter? *Oikos*, 105:3-14 pp.
- Perfecto,I. and Vandermeer,J., 2002. Quality of agroecological matrix in a tropical montane landscape: Ants in coffee plantations in southern Mexico. *Conservation Biology*, 16:174-182 pp.
- Pyke,G.H., 1978. Optimal foraging in bumblebees and coevolution with their plants. *Oecologia (Berlin)*, 36:281-293 pp.
- Quinn,J.F. and Dunham,A.E., 1983. On hypothesis testing in ecology and evolution. *American Naturalist*, 122:602-617 pp.
- Rangel,T.F.L.V., Diniz-Filho,J.A.F., and Bini,L.M., 2006. Towards an integrated computational tool for spatial analysis in macroecology and biogeography. *Global Ecology and Biogeography*, 15:321-327 pp.
- Ricketts,T.H., 2001. The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *American Naturalist*, 158:87-99 pp.
- Ricketts,T.H., 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology*, 18:1262-1271 pp.
- Ricketts,T.H., Daily,G.C., Ehrlich,P.R., and Michener,C.D., 2004. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101:12579-12582 pp.

- Rodriguez,M.A., Lopez-Sanudo,I.L., and Hawkins,B.A., 2006. The geographic distribution of mammal body size in Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 15:173-181 pp.
- Steffan-Dewenter,I. and Kuhn,A., 2003. Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270:569-575 pp.
- Steffan-Dewenter,I., Munzenberg,U., Burger,C., Thies,C., and Tscharntke,T., 2002. Scale-dependent effects of landscape context on three pollinator guilds. *Ecology*, 83:1421-1432 pp.
- Steffan-Dewenter,I., 2003. Importance of Habitat Area and Landscape Context for Species Richness of Bees and Wasps in Fragmented Orchard Meadows. *Conservation Biology*, 17:1036-1044 pp.
- Stoner,K.J.L. and Joern,A., 2004. Landscape vs. local habitat scale influences to insect communities from tallgrass prairie remnants. *Ecological Applications*, 14:1306-1320 pp.
- Taki,H. and Kevan,P., 2007. Does habitat loss affect the communities of plants and insects equally in plant–pollinator interactions? Preliminary findings. *Biodiversity and Conservation*,16(11):3147-3161
- Taki,H., Viana,B.F., Kevan,P., Silva,F.O., and Buck,M., 2008. Does forest loss affect the communities of trap-nesting wasps (Hymenoptera: Aculeata) in forests? Landscape vs. local habitat conditions. *Journal of Insect Conservation*, 12(1): 15-21
- Townsend,P.A. and Levey,D.J., 2005. An experimental test of whether habitat corridors affect pollen transfer. *Ecology*, 86:466-475 pp.
- Tscharntke,T., Klein,A.M., and Kruess,A., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. *Ecology Letters*, 8:857-874 pp.
- Wille,A., 1983. Biology of the stingless bees. *Annual Review of Entomology.*, 28:41-64 pp.