



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DIANA CARLA DE OLIVEIRA SANTANA LIMA

**ANÁLISE ESPACIAL DE POPULAÇÕES NATURAIS DE *DIPTERYX*
ALATA VOGEL: SUBSÍDIO PARA COLETA DE SEMENTES**

Ilha Solteira

2016

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DIANA CARLA DE OLIVEIRA SANTANA LIMA

**ANÁLISE ESPACIAL DE POPULAÇÕES NATURAIS DE *DIPTERYX*
ALATA VOGEL: SUBSÍDIO PARA COLETA DE SEMENTES**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes

Co-orientador: Prof. Dr. Alan Rodrigo Panoso

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- L732a Lima, Diana Carla de Oliveira Santana.
Análise espacial de populações naturais de *Dipteryx alata* vogel: subsídio para coleta de sementes / Diana Carla de Oliveira Santana Lima. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2016
68 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2016
- Orientador: Mário Luiz Teixeira de Moraes
Co-orientador: Alan Rodrigo Panoso
Inclui bibliografia
1. Baru. 2. Distribuição espacial. 3. Índice de moran. 4. Sistema de informações geográficas.

FOLHA DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE ESPACIAL DE POPULAÇÕES *Dipteryx alata* Vogel:
SUBSÍDIOS PARA COLETA DE SEMENTES

AUTORA: DIANA CARLA DE OLIVEIRA SANTANA LIMA
ORIENTADOR: MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES
CO-ORIENTADOR: ALAN RODRIGO PANOSSO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA,
especialidade: SISTEMAS DE PRODUÇÃO pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MARIO LUIZ TEIXEIRA DE MORAES
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Profa. Dra. DANIELA SILVIA DE OLIVEIRA CANUTO
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

PROFESSOR TITULAR CÂMILA REGINA SILVA BALERONI RECCO
Curso de Agronomia / Faculdades Integradas Stella Maris de Andradina

Ilha Solteira, 29 de agosto de 2016

“A satisfação reside no esforço, não apenas no resultado final obtido.

O esforço de toda a jornada é a plena vitória. ”

Mahatma Gandhi

DEDICATÓRIA

À minha amada mãe, Aparecida Delfino de Lima, a qual sempre dedicou sua vida por mim me fornecendo sempre todo amparo e ao meu querido e amado irmão, Juan Lima de Andrade, ambos são a fonte de minha força e as razões da minha Vida.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me dar força, para enfrentar e superar todas as dificuldades, para alcançar meus objetivos, por sempre iluminar meu caminho e por me mostrar através de pessoas que o amor, amizade e o companheirismo são os principais pilares da vida.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) pelo apoio e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP – Processo nº 2012/18747-2) pela disponibilização de seus recursos para o desenvolvimento do projeto.

Ao Prof. Dr. Mario Luiz Teixeira de Moraes pela orientação, por todo conhecimento a mim repassado, pela paciência, pelo esforço e por toda confiança depositada em mim.

Ao Prof. Dr. Alan Rodrigo Panosso pela co-orientação, pelos ensinamentos e por todos conselhos.

Ao professor e amigo José Ricardo Pitanga Negrão por toda ajuda prestada.

À Selma Maria Bozzite Moraes por toda ajuda e disponibilidade em sempre atender meus pedidos e a Marcela Aparecida de Moraes por toda ajuda.

Ao José Cambuim, por todo incentivo, por toda dedicação nessa etapa tão importante da minha Vida, e por sempre acreditar em mim. Certamente foi uma das peças mais importantes nesse processo. Desde a coleta de dados até a tão esperada conclusão. Gostaria de deixar registrado aqui toda minha Gratidão e Felicidade de saber que tenho seu apoio.

À toda família Cambuim, que já considero minha família. Por sempre me acolher e me ajudar.

Ao Alexandre Marques da Silva, por toda ajuda prestada na coleta de dados e em todo o desenvolvimento do trabalho, pelos ensinamentos e por toda dedicação.

Ao meu querido namorado Aldo Renan, também meu grande amigo, por todo seu amor, por toda sua dedicação, por sempre estar pronto a me ajudar e, acima de tudo, por sempre estar presente em momentos muito importantes em minha vida.

A todos meus amigos, pela amizade e pelo incentivo durante meu mestrado. E em especial, gostaria de agradecer a Silvia Palotti Polizel, que de forma inesperada se tornou uma grande amiga e que não mediu esforços para me ajudar, sempre me incentivando e me encorajando.

Aos meus familiares que, mesmo distantes, sempre me deram a força em toda essa jornada.

A todos, minha eterna e sincera gratidão!

RESUMO

O padrão de distribuição espacial de espécies arbóreas é um dos fatores de grande importância para o entendimento das interações ecológicas ocorridas em uma população ou comunidade florestal, sendo vital para a compreensão de como determinada espécie utiliza dos recursos disponíveis para se estabelecer e reproduzir em um determinado espaço. A interpretação dos resultados das análises espaciais de espécies arbóreas em conjunto com a análise do solo, fornece subsídios significativos para a compreensão desses fenômenos e para indicação de indivíduos para programas de conservação genética e fomento florestal. Neste contexto, o objetivo do trabalho foi subsidiar a coleta de sementes para conservação *ex situ* de seis populações naturais de *Dipteryx alata*, com base na distribuição espacial, utilizando o Índice de Moran associado a um sistema de informação geográfica, na estatística descritiva dos caracteres silviculturais das árvores matrizes e na caracterização dos ambientes de ocorrência, empregando um interpolador determinístico (IDW) para espacializar os atributos químicos do solo. Essas populações estão localizadas nos municípios de Paulo de Faria/SP, Campina Verde/MG, Ituiutaba/MG, Brasilândia/MS, Campo Grande/MS e Itarumã/GO. Todas as populações tiveram um crescimento superior a 45 cm em relação ao caráter DAP (Diâmetro à Altura do Peito). Levando em consideração que o caráter DAP tem uma maior correlação dendrocronológica a idade estimada dessas populações naturais estaria no intervalo entre 40 e 63 anos. No que se refere ao cálculo do I Moran, as populações de Ituiutaba e Itarumã, apresentaram padrão de distribuição espacial aleatório, apontando alta variabilidade entre seus indivíduos, deste modo a coleta de sementes para a conservação *ex situ* desta espécie nessas amostras seriam preferencialmente indicadas. Em relação aos solos analisados, em sua maioria, a distribuição espacial dos atributos indicou uma elevada acidez e uma baixa concentração dos teores de matéria orgânica. A presença de árvores matrizes em diferentes classes de matéria orgânica e pH, é um indicativo que as populações estudadas apresentam capacidade de adaptação em diferentes condições edáficas.

Palavras-chave: Baru. Caracteres silviculturais. Conservação *ex situ*. Distribuição espacial. Índice de Moran. Sistemas de Informações Geográficas. Interpolador determinístico.

ABSTRACT

The spatial distribution pattern of tree species is one of the most important factors for the understanding of the ecological interrelationships occurring in a population or community forestry, it is vital to the understanding of how a certain species uses the resources available to establish and reproduce in a given space. Interpretation of the results of the spatial analysis of tree species provides significant subsidies for the understanding of these phenomena and indication of individuals for genetic conservation programs and forest promotion. In this context, the objective of the work was to study the spatial distribution of six natural populations of arborea specie baru (*Dipteryx alata* Vogel.) using the Moran index associated with a Geographic Information System and descriptive statistics of their silvicultural attributes. These populations are located in the municipalities of Paulo de Faria/SP, Campina Verde/MG, Ituiutaba/MG, Brasilândia/MS, Campo Grande/MS e Itarumã/GO. All populations had a growth over 45 cm in relation to the DAP (Diameter at Breast Height) attribute. Taking into account that the DAP attribute has a higher dendrochronological correlation, the estimated age of these natural populations would be in the range between 40 and 63 years. As regards the calculation of Moran index, populations of Ituiutaba and Itarumã presented random spatial distribution pattern, pointing high variability among its individuals, so the collection of seeds for ex situ conservation of this species in these samples would be preferably indicated. Regarding the analyzed soils, mostly, the spatial distribution of attributes indicated a high acidity and a low concentration of organic matter content. The presence of mother trees in different classes of organic matter and pH, is an indication that the populations studied have adaptability in different soil conditions.

Keywords: Baru. Silvicultural characters. Ex situ conservation. Spatial distribution. Moran index. Geographic information systems. Interpolator deterministic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de distribuição da espécie <i>Dipteryx alata</i> no Bioma Cerrado.	19
Figura 2 - Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica.....	26
Figura 3 - Localização das áreas de estudo.	31
Figura 4 . Distâncias em quilômetros entre as populações de <i>Dipteryx alata</i>	32
Figura 5 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Paulo de Faria (POP-PF).....	34
Figura 6 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Campina Verde (POP-CV).....	34
Figura 7 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Ituiutaba (POP-BA).....	35
Figura 8 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Brasilândia (POP-BR).....	35
Figura 9 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Campo Grande (POP-CG)	36
Figura 10 - População de <i>Dipteryx alata</i> em Itarumã (POP-MA)	36
Figura 11 - Exemplo de representação do resultado estatístico da Autocorrelação espacial global.	39
Figura 12 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Paulo de Faria, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	43
Figura 13 . Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Brasilândia, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	43
Figura 14 . Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Ituiutaba, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	44
Figura 15 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Itarumã, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	44
Figura 16 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Campina Verde, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	45
Figura 17 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de <i>Dipteryx alata</i> de Campo Grande, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.....	45
Figura 18 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Paulo de Faria.	48
Figura 19 . Distribuição de frequência para classes de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Paulo de Faria.	48
Figura 20 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Paulo de Faria.	49
Figura 21 - Distribuição espacial da concentração pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Paulo de Faria	49

Figura 22 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Ituiutaba.....	50
Figura 23 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Ituiutaba.....	50
Figura 24 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Ituiutaba.....	51
Figura 25 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Ituiutaba.....	52
Figura 26 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Itarumã.....	53
Figura 27 - Distribuição de frequência para classes pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Itarumã.....	53
Figura 28 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Itarumã.....	54
Figura 29 - Distribuição espacial dos valores de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Itarumã.....	54
Figura 30 . Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campo Grande.....	55
Figura 31 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campo Grande.....	55
Figura 32 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campo Grande.....	56
Figura 33 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campo Grande.....	57
Figura 34 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campina Verde.....	58
Figura 35 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campina Verde.....	58
Figura 36 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campina Verde.....	59
Figura 37 - Distribuição espacial dos valores de pH na população de <i>Dipteryx alata</i> de Campina Verde.....	60
Figura 38 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de <i>Dipteryx alata</i> de Brasilândia.....	61

Figura 39 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de *Dipteryx alata* de
Brasilândia..... 61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das amostragens das populações de <i>Dipteryx alata</i> e suas localizações.	33
Tabela 2. Estatística descritiva para os caracteres altura, diâmetro a altura do peito (DAP) e diâmetro médio da copa (DMC) para seis populações de <i>Dipteryx alata</i> .	41
Tabela 3. Estatística Descritiva para os teores matéria orgânica (MO) e pH nas populações de <i>Dipteryx alata</i> .	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	Considerações gerais sobre a espécie	18
3.2	Conservação genética <i>ex situ</i>	20
3.3	Análise espacial	21
3.4	Dependência espacial.....	23
3.5	Autocorrelação espacial global.....	23
3.6	Índice de Moran (I).....	24
3.7	Sistemas de informações geográficas	24
3.8	Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo.....	27
3.9	Métodos de interpolação	28
3.10	Inverso da distância ponderada	29
4	MATERIAL e MÉTODOS	31
4.1	Material	31
4.2	Métodos.....	37
4.2.1	<i>Caracterização silvicultural das árvores matrizes</i>	37
4.2.2	<i>Autocorrelação espacial</i>	37
4.2.3	<i>Atributos químicos do solo</i>	39
4.2.4	<i>Interpolador determinístico (IDW)</i>	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1	Estatística descritiva dos caracteres silviculturais.....	41
5.2	Índice de Moran Global	42
5.3	Espacialização dos atributos químicos do solo.....	46
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
7	CONCLUSÕES.....	64
	REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior Bioma da América do Sul, considerado como um *hotspots* mundial de biodiversidade, apresentando extrema abundância de espécies endêmicas e sofre uma excepcional perda de habitat. Este bioma é constituído por um conjunto de fitofisionomias determinadas pela ação do fogo, clima, disponibilidade de água e nutrientes, topografia, latitude e o substrato onde se envolvem (RIBEIRO; WALTER, 1998). Além disso, a localização geográfica do Cerrado propicia seu contato com praticamente todos os grandes biomas de continente sul americano, fazendo com que essa região apresente uma paisagem com inclusões de formações florestais em meio a formações savânicas e campestres, ocorrendo assim, uma enorme variação fitofisionômica em escalas espaciais diversas devido aos fatores heterogêneos presentes no ambiente (EITEN, 1994; OLIVEIRA FILHO; RATTER, 2002).

Pesquisas que ampliem o conhecimento das espécies do Cerrado podem ajudar na preservação do Bioma, tanto na disponibilização de alternativas de renda pela utilização dos recursos naturais disponíveis, com o manejo econômico sustentável de suas áreas, quanto na demonstração dos benefícios nutricionais do fruto, o que justificaria a conservação e o melhoramento genético das espécies e posteriores cultivos econômicos.

Das espécies nativas do cerrado, o baru (*Dipteryx alata* Vog.), destaca-se pela amplitude de ocorrência e por convivência pacífica com o modelo de exploração praticado pelas populações rurais, em que as plantas são preservadas na abertura de pastos (CORRÊAS et al., 2000).

D. alata apresenta um fruto com potencial que possibilita transformar atividades locais em meios de subsistência. O uso de frutos nativos na fabricação de alimentos e bebidas é interessante para popularizar as espécies, agregando-lhes valor e gerando empregos, embora não seja suficiente para conter o desmatamento. Em longo prazo, o uso do baru nas áreas a serem recuperadas como reservas legais e de proteção ambiental, margens de rios e córregos favorecerá a sua conservação e a manutenção de outras espécies associadas (SANO et al., 2004). Como a exploração se dá por extrativismo, e são ainda insuficientes as informações sobre a biologia e manejo do baru, é indispensável a realização de estudos que contribuam para direcionar estratégias mais eficientes para sua domesticação, conservação e uso sustentável (SILVA et al., 1997).

O baru também apresenta grande importância ecológica e é classificado como espécie chave do Cerrado, pois seu fruto amadurece na seca e alimenta várias espécies da fauna dessa região, inclusive o gado (SANO et al., 2004). Estudos como os de Oliveira (1998) e Rocha et

al. (2002) têm mostrado variação genética nos caracteres de crescimento (diâmetro e altura), indicando que essa espécie tem grande potencial.

A variabilidade genética de uma espécie estrutura-se no espaço e no tempo, podendo ser observada em populações geograficamente distintas. A distribuição espacial dos genótipos em populações é parte integrante dos processos genéticos e pode ser analisada, utilizando a autocorrelação espacial (EPPERSON; ALLARD, 1989).

A distribuição espacial de uma espécie ou de populações é importante para conhecer os processos sucessionais e ecológicos que são fundamentais para a compreensão de um sistema florestal e, a partir disto, adotar medidas de manejo para preservação ou conservação da floresta (RODE et al., 2010). O padrão pontual na análise espacial ressalta a importância da variável a ser analisada no seu local de ocorrência. A primeira pergunta a ser respondida é se o padrão exibido é completamente aleatório, agrupado ou regular (CRESSIE, 1993). A segunda pergunta é qual a importância ecológica desse padrão. Por exemplo, ao se considerar a localização de espécies florestais em uma ocorrência natural, qual a significância biológica do padrão espacial dessas espécies.

Os indivíduos em uma população podem apresentar três padrões básicos de distribuição espacial: aleatório, agrupado e regular (LUDWIG; REYNOLDS, 1988, KREBS 1999). O padrão aleatório, em que a localização de um indivíduo não interfere na localização de outro da mesma espécie, se opõem ao padrão de distribuição agrupado (ou agregado), em que a presença de um recurso tem alta probabilidade de influenciar a localização dos indivíduos de uma mesma espécie, apresentando, assim, baixos índices de dispersão, neste tipo de distribuição os indivíduos ficam agregados nas partes mais favoráveis do habitat. No padrão regular (disperso) a população apresenta alto índice de dispersão e os indivíduos possuem distâncias uniformes e semelhantes uns dos outros (GREIG-SMITH, 1964, KERSHAW 1973, MUELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974, BARBOUR et al., 1987).

A dispersão de sementes é o processo inicial que gera a distribuição espacial de uma espécie. Para uma espécie cujos diásporos são dispersos pelo vento (anemocoria), seria esperada uma distribuição dos indivíduos ao acaso, uma vez que não há a deposição proposital de diásporos em determinados micro-sítios, a não ser que fatores ambientais interfiram. Por outro lado, para a autocoria seria esperada a deposição de diásporos em determinados micro-sítios, mais precisamente ao redor da planta-mãe. Tal padrão também seria esperado em espécies dispersas por animais (zoocoria), uma vez que muitas vezes há a deposição de diásporos em locais específicos. Caso fatores ambientais sejam mais importantes no estabelecimento das plântulas da espécie, padrões diferentes de distribuição espacial podem ser encontrados.

Os fragmentos florestais, bem como o solo, que comportam essas importantes espécies arbóreas devem ser muito bem caracterizados, a fim de propor planos de manejo para a conservação e manutenção desses recursos naturais. A possibilidade de que fatores do solo controlem a ocorrência das espécies em florestas tem a muito intrigado os pesquisadores, sendo os fatores químicos do solo os primeiros a serem estudados, dada a necessidade desse tipo de conhecimento. (SOLLINS, 1998).

Solos sob vegetação natural apresentam variabilidade em seus atributos químicos (MONTEZANO et al., 2006), resultante dos processos de formação e esta variabilidade varia, tanto no sentido horizontal como no vertical. Além da variabilidade natural do solo, as práticas agrícolas de manejo e uso das terras são fatores adicionais de variabilidade. A ação antrópica promove alterações nos atributos químicos do solo e, na maioria das vezes causa impacto ambiental negativo (SILVA et al., 2007). De acordo com Bayer e Mielniczuk (2008), sob vegetação natural a matéria orgânica do solo se encontra estável e, quando submetida ao uso agrícola, pode ocorrer redução acentuada no seu conteúdo.

As avaliações das alterações nas propriedades do solo, decorrentes de impactos da intervenção antrópica em fragmentos naturais, podem constituir importante instrumento para auxiliar no monitoramento da conservação ambiental, pois permitem caracterizar a situação atual, alertar para situações de risco e, por vezes, prever situações futuras, especialmente quando adotada como referência a vegetação nativa original. Apesar do expressivo volume de trabalhos sobre o efeito de diferentes sistemas de uso e manejo do solo, especialmente no Cerrado, ainda são escassos resultados em outros importantes biomas brasileiros, sobretudo daqueles que elucidam alterações provocadas pela substituição da floresta nativa por pastagem cultivada.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi caracterizar populações naturais de *Dipteryx alata* para subsidiar o processo de coleta de sementes para a conservação genética *ex situ* e utilização da espécie.

Objetivos específicos:

- I) Analisar os caracteres silviculturais das árvores matrizes.
- II) Verificar o padrão de distribuição espacial de cada população.
- III) Caracterizar os ambientes de ocorrência das populações.

3 REVISÃO DE LITERATURA

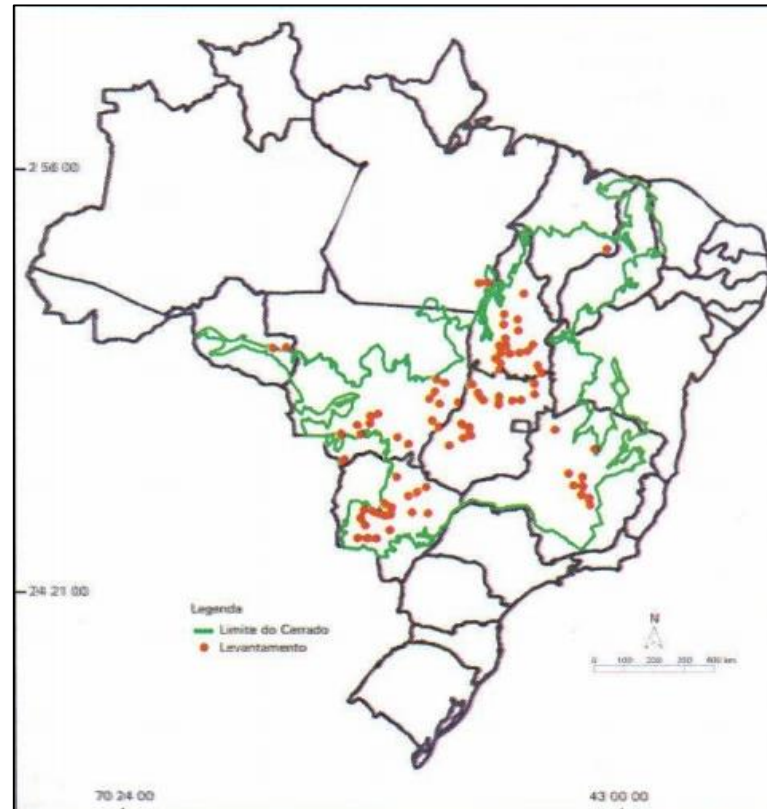
3.1 Considerações gerais sobre a espécie

As espécies de plantas nativas do cerrado têm-se destacado por apresentar potencial nutritivo com forte apelo sensorial e econômico, constituindo matéria-prima disponível para formulação de novos produtos alimentícios (HIANE et al., 1992). Das espécies nativas do cerrado, o baru (*Dipteryx alata* Vog.) destaca-se pela amplitude de ocorrência e por convivência pacífica com o modelo de exploração praticado pelas populações rurais, em que as plantas são preservadas na abertura de pastos (CORRÊA et al., 2000). No estado de São Paulo, o baru está na lista de espécies que correm o perigo de extinção e sua conservação genética vem sendo quase feita exclusivamente por populações-bases *ex situ* (SIQUEIRA et al., 1992).

O baru é uma espécie arbórea, pertencente à família Leguminosae-Faboidaceae, é conhecido como cumbaru, cumaru, coco-feijão, coco-de-anta, cumarurana, de acordo com a região. Trata-se de uma árvore perenifólia a levemente caducifólia (GUARIM NETO, 1986), com 5 a 10 metros de altura e 15 a 40 cm de diâmetro a altura do peito, podendo atingir até 20 metros de altura e 70 centímetros de diâmetro, na idade adulta.

A ocorrência da espécie apresenta distribuição irregular, com grande concentração em alguns pontos e ausência total em outros (LORENZI, 1992). No Brasil, o baru, está distribuído no Cerrado e na Floresta estacional semidecídua (Figura 1), nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Maranhão e São Paulo (PIO CORRÊA, 1984; LORENZI, 1998; ALMEIDA et al., 1998; DURIGAN et al., 2002). Já em escala global, o baru ocorre de forma natural na Bolívia (KILLEAN et al., 1993) e na Colômbia (RANGEL et al., 1997).

Figura 1 - Mapa de distribuição da espécie *Dipteryx alata* no Bioma Cerrado.



(RATTER et al., 1997)

Os solos de ocorrência natural do baru, são de fertilidade química média, secos, profundos ou não, calcários ou ácidos. Preferencialmente lateríticos, areno-argilosos com predominância da fração areia-grossa (FILGUEIRAS; SILVA, 1975).

De acordo com Pádua *et al.*, (1998), a espécie apresenta reprodução alógama, a qual geralmente incrementa o tamanho efetivo e reduz a subdivisão dentro das populações, sendo que o movimento de pólen aumenta a probabilidade de fluxo gênico à longa distância.

Segundo Macedo et al. (2000), em espécies que apresentam sincronia no florescimento, como é o caso do baru, o tamanho efetivo da população é aumentado, retardando a diferenciação, porém, os efeitos dependem da movimentação do agente polinizador entre as plantas. Caso a dispersão de pólen e sementes seja limitada, é provável que haja isolamento pela distância apesar da existência de um grande potencial para florescimento.

O baru possui grande potencial econômico, pois pode ser utilizado para diversos fins: alimentício, forrageiro, oleico, madeireiro e paisagístico, podendo, também, ser empregado em recuperação de áreas degradadas e plantio de enriquecimento de pastagens. Para a alimentação humana são utilizadas, tanto a polpa quanto a amêndoa do baru (ALMEIDA et al., 1998). A polpa é rica em proteínas, não servindo apenas para nutrir o gado, como também pode ser usada

ao natural, e sob forma de um doce conhecido localmente como “pé-de-moleque” (RIZZINI, 1971). A polpa do fruto também é empregada na culinária regional, e as sementes são consumidas puras, cruas ou cozidas, embora seja recomendável a torrefação das mesmas, devido à presença de um composto inibidor de tripsina nas sementes (TOGASHI, 1993; SILVA et al., 1994). Segundo Vallilo et al. (1990), tanto a polpa quanto a semente são altamente energéticas, nutritivas e ricas em minerais, principalmente o elemento potássio. Também destaca-se o potencial de utilização de ambas, tanto na indústria químico-farmacêutica, alimentícia como na de fertilizantes.

Segundo Oliveira e Rosado (2002), a espécie pode ser utilizada em sistema silvipastoris e na recuperação de pastagens, pois por se tratar de uma árvore perenifólia com copa frondosa, promove sombra para o gado, favorecendo, também, frutos para a sua alimentação nos períodos de estiagem.

A madeira do baru é própria para a construção de estruturas externas, como estacas, postes, obras hidráulicas, moirões, cruzetas e dormentes para construção naval e civil, como vigas, caibros, ripas, batentes de porta e janelas, tábuas e tacos, labris, forros e etc. (LORENZI, 1998). A espécie é recomendada para produção de madeira em longo prazo e para plantios de conservação genética (SIQUEIRA et al., 1993).

Pesquisas que ampliem o conhecimento das espécies do Cerrado podem ajudar na preservação do Bioma, tanto na disponibilização de alternativas de renda pela utilização dos recursos naturais disponíveis, por meio do manejo econômico sustentável das áreas de Cerrado, quanto na demonstração dos benefícios nutricionais do fruto, o que justificaria a conservação e o melhoramento genético das espécies e posteriores cultivos econômicos.

3.2 Conservação genética *ex situ*

Dentre as estratégias, está a conservação *ex situ*, que realiza a conservação de componentes da diversidade biológica fora de seu habitat natural (BRASIL, 2006). Tanto a conservação *in situ*, quanto a *ex situ*, buscam manter vivas populações com quantidade de indivíduos saudáveis e férteis em número razoável, de modo que se ampliem as chances de se conservar também a representatividade geográfica e genética de cada espécie, o que é fundamental para o intercâmbio e à eventual translocação de exemplares (*inter situ*) para ambientes nos quais as populações de tais espécies sejam raras ou escassas (HAWKES et al., 2000).

O objetivo da conservação *ex situ* consiste em manter amostras representativas das populações, com muitos alelos e combinações gênicas suficientes para que, após caracterizadas, avaliadas e multiplicadas, serem utilizadas no melhoramento genético ou em pesquisas correlatas (LLEIRAS, 1992; HAYWARD; HAMILTON, 1997).

A manutenção de populações *ex situ* tem-se revelado uma importante forma de intervenção na conservação da diversidade biológica, dado o crescente número de espécies ameaçadas de extinção. Os programas têm contribuído para a manutenção da variabilidade genética das populações, garantindo assim a permanência de espécies que de outra forma estariam indisponíveis para gerações futuras. As populações também podem servir como estoque de indivíduos para possíveis reintroduções ou aumento do tamanho de populações selvagens. Guerrant et al. (2004) ressaltam que as coleções *ex situ* devem ser geneticamente diversificadas para que contribuam para o êxito da conservação e tenham valor para restauração.

A conservação *ex situ* geralmente é motivada pela ação antrópica. O fator mais ameaçador à conservação da diversidade das espécies cultivadas é a introdução de cultivares novas, geralmente de alta produtividade, em substituição às variedades tradicionais, as quais são importantes fontes de genes pelo elevado poder adaptativo que apresentam para os diversos fatores de estresses ambientais. Outro fator importante é a destruição do habitat natural, como o que tem ocorrido com as florestas tropicais, cerrado, e outros biomas hoje em processo de degradação. Este processo de perda da variabilidade é conhecido como erosão genética (VALOIS et al., 2001).

3.3 Análise espacial

Segundo Bailey (1994, apud ROCHA, 2004) a definição de análise espacial consiste em uma ferramenta que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta. Incluindo funções básicas como consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse definidas, manipulação de mapas e a produção de alguns sumários estatísticos dessa informação; incorporando também funções como a investigação de padrões e relacionamentos dos dados na região de interesse, buscando, assim, um melhor entendimento do fenômeno e a possibilidade de se fazer previsões.

O objetivo da análise espacial é estudar a distribuição espacial de fenômenos, não apenas buscando uma percepção visual, mas testando hipóteses sobre o padrão observado: se é

aleatório, ou se os pontos estão regularmente distribuídos e se existe ou não correlação entre as diversas variáveis. O objeto de interesse é a própria localização espacial dos eventos em estudo.

Para Meneses (2003) a análise espacial apresenta duas vertentes principais, são elas: estatística espacial e geocomputação. A primeira gera modelos matemáticos de distribuição e correlação, os quais incorporam propriedades de significância e incerteza, resultantes da dimensão espacial. Já a geocomputação usa técnicas de redes neurais, busca heurística e autômatos celulares para explorar grandes bases de dados e gerar resultados empíricos (não exatos) melhores que as técnicas convencionais, mas com ampla aplicabilidade prática. Estes instrumentos de análise espacial proporcionam maior confiabilidade aos resultados de investigações sobre a realidade modelada (CÂMARA, 2000).

Os dados geográficos (ou dados georreferenciados) são dados espaciais cuja dimensão espacial está associada à sua localização na superfície da terra, em um determinado instante. Segundo Bertini (2003) as entidades geográficas estão no espaço geográfico e são objetos identificáveis no mundo real, com características espaciais e relacionamentos espaciais com outras entidades geográficas. O dado espacial descreve fenômenos associados a dimensões espaciais. A representação espacial de um objeto geográfico é a descrição de sua forma geométrica associada à posição geográfica. Os dados geográficos possuem as seguintes propriedades:

- Geométricas - representada pelas feições geométricas primitivas (ponto, linha, polígono), para as quais se estabelecem relacionamentos métricos em relação a um sistema de coordenadas.
- Topológicas: propriedades não-métricas, baseadas na posição relativa dos objetos no espaço, tais como conectividade, orientação (de, para), adjacência e contenção.

Segundo Câmara et al. (2002b) os modelos de inferência espacial são apresentados em três grupos, são eles:

- Padrões Pontuais e Eventos: fenômenos expressos através de ocorrências identificadas como pontos localizados no espaço, denominados processos pontuais. São exemplos: localização de espécies vegetais, localização de crimes e ocorrências de doenças.
- Superfícies Contínuas: Determinadas para estimar um conjunto de amostras, regularmente distribuídas ou não. Geralmente, este tipo de dados é resultante de levantamentos de recursos naturais, e que incluem mapas geológicos, topográficos, ecológicos, fitogeográficos e pedológicos.

- **Áreas com Contagens e Taxas Agregadas:** Utilizados para dados associados a levantamentos populacionais e censos. Por questões de confiabilidade desse estudo, esses dados são agregados em unidades de análise e delimitados por polígonos fechados.

3.4 Dependência espacial

Um conceito chave na compreensão e análise dos fenômenos espaciais é a dependência espacial. Essa noção parte do que Tobler (1979) chama de primeira lei da Geografia:

[...] todos os objetos relacionados no espaço são parecidos, porém objetos mais próximos se parecem mais de que objetos mais distantes [...].

Segundo Noel Cressie (1991), a dependência espacial está presente em todas as direções e fica mais fraca à medida em que aumenta a dispersão na localização dos dados. Este conceito está associado a localização relativa dos dados. Entretanto, tal ideia não enfatiza apenas o efeito da distância física, expressada em metros, mas também a distância tomada a partir das diferenças econômicas, sociais e políticas.

De maneira geral, pode-se afirmar que o conceito de dependência espacial é capaz de responder questionamentos como: Se encontrarmos uma poluição em um trecho de um lago, é provável que locais próximos a esta amostra também estejam poluídos, ou que a presença de uma árvore adulta inibe o desenvolvimento de outras, esta inibição diminui com a distância e após um determinado raio outras árvores grandes serão encontradas.

A dependência espacial, segundo as técnicas de geoestatística, é baseada na suposição de dependência entre as unidades amostrais. É esperado, segundo Vieira (2000), que pontos amostrais próximos sejam mais parecidos entre si do que aqueles separados por grandes distâncias.

3.5 Autocorrelação espacial global

Segundo Câmara et al. (2002) a expressão computacional do conceito de dependência espacial é a autocorrelação espacial. Esse termo foi derivado do conceito estatístico de correlação, utilizado para mensurar o relacionamento entre duas variáveis aleatórias. A preposição “auto” indica que a medida de correlação é realizada com a mesma variável aleatória, medida em locais distintos do espaço.

A autocorrelação espacial, pode ser estimada através de diferentes indicadores, todos baseados na mesma ideia, que consiste em verificar como varia a dependência espacial, a partir da comparação entre os valores de uma amostra e de seus vizinhos. O reconhecimento dos problemas gerados pela dependência espacial, foi abordado nos trabalhos de Student (1914) sobre métodos de estatística tradicionais, até alcançar os estudos de Moran (1948) e Geary (1954) que desenvolveram os primeiros índices formais para identificar a presença de autocorrelação espacial nos dados. (KREMPI, 2004).

A presença de autocorrelação espacial é medida usualmente por meio de estatísticas globais. Os indicadores globais constituem uma aproximação mais tradicional do efeito da dependência espacial, em que a estrutura geral de dependência fica resumida em um único valor. (KREMPI, 2004; LEMOS *et al.*, 2005a). Os indicadores mais comuns para medir a associação espacial são C de Geary, Getis-Ord Global, e I de Moran.

3.6 Índice de Moran (I)

O índice de Moran (I) é a ferramenta estatística mais utilizada para calcular a autocorrelação espacial. O indicador mede a correlação espacial de uma variável de interesse e é similar em vários aspectos ao índice de correlação de Pearson. (BOHÓRQUEZ; CEBALLOS, 2008; ALBUQUERQUE, 2009). Este índice é uma medida global da autocorrelação espacial, pois indica o grau de associação espacial presente no conjunto de dados.

Segundo Câmara *et al.*, (2002), este indicador é uma medida de correlação espacial usada para detectar afastamentos de uma distribuição espacial, o que permite observar a existência de padrões espaciais, isto é, permite detectar a similaridade entre os dados de primeira ordem. Os desvios em relação à média são multiplicados pelos desvios da vizinhança. O índice de Moran testa se os pontos/áreas vizinhas apresentam maior semelhança quanto ao indicador estudado do que o esperado em um padrão aleatório.

3.7 Sistemas de informações geográficas

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é uma ferramenta para análise e mapeamento de fenômenos espaciais, baseados em tecnologias computacionais. Esta tecnologia

integra as operações de consulta e análises estatísticas a um banco de dados com a visualização e análise geográfica oferecida pelos mapas.

Segundo Fitz (2008), o SIG é um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, que integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido. A terminologia SIG, justifica-se por se tratar de um sistema computacional que trabalha um número infinito de informações de cunho geográfico.

Os SIGs se tornaram um fenômeno em todo o mundo, sendo utilizados em campos diferenciados da sociedade. Burrough e McDonnell (1998) asseguram que tem havido grande pronunciamento por parte dos governos nacionais e internacionais sobre a importância da informação espacial na sociedade moderna para o planejamento, marketing e desenvolvimento da “sociedade da informação”.

São inúmeras as aplicabilidades dos SIG. Atualmente, há uma grande necessidade de gerenciar e organizar inúmeras informações. Tem-se constatado que o uso de geotecnologias para análise espacial tem crescido aceleradamente em todas as áreas compreendidas pelas ciências geográficas. A sua resposta rápida em espacializar informações de maneira precisa e diagnosticar problemas muito tem contribuído para dignificar sua importância em diversos setores.

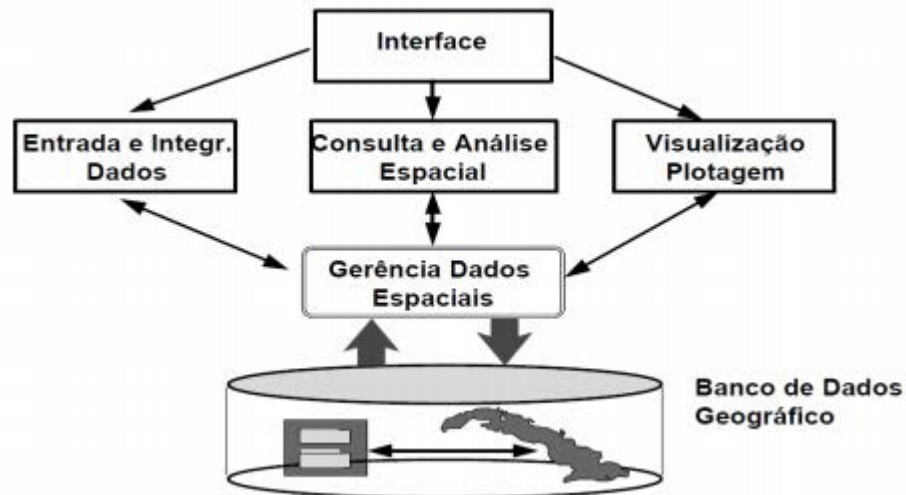
Para Konecny (2003), os Sistemas de Informação Geográfica são baseados nos dados que estão disponíveis em vários formatos:

- Os objetos espaciais são representados por identificadores. Eles podem relacionar se com pontos, linhas ou áreas administradas na forma de vetor. A identificação e organização desses objetos em coordenadas e forma vetorial são subdivididas em classes de recurso ou objeto. Isto inclui sua relação espacial ou topológica em duas ou três dimensões.
- Os dados em forma matriciais também estão incluídos. Em um pixel pode ser atribuído um código objeto, ou simplesmente consistir de níveis de cinza de uma imagem ou um modelo de elevação digital.
- Os vetores também estão ligados a informações não-gráficas especificando nomes de lugares e números de objetos, que em banco de dados pode ser ligada a uma grande variedade de atributos codificados ou alfanuméricos (por exemplo, proprietários de uma parcela, habitantes de uma residência, características de um recurso de utilidade, dados estatísticos para uma área definida).

A estrutura geral dos SIG, numa visão abrangente, é indicada por Câmara (2001) pelos seguintes componentes e pode ser visualizada na Figura 2:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Figura 2 - Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica



(CÂMARA, 2001)

Câmara *et al.* (2005) salienta as principais funções dos SIG:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de meio físico-biótico, de dados censitários, de cadastros urbano e rural, e outras fontes de dados como imagem de satélite e GPS;
- Oferecer mecanismos para combinar várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como consultar recuperar e visualizar o conteúdo da base de dados geográficos.

A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento dos SIG é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes nos Sistemas de Informação Geográfica (CÂMARA et al., 2005).

3.8 Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo

O estudo e o levantamento de atributos dos solos têm se tornado importante aliados na caracterização de ambientes, buscando um uso sustentável e a preservação dos recursos naturais do sistema solo-água-plantas, onde o entendimento e a compreensão da dinâmica destes atributos são feitos por meio de estudos estatísticos, mais precisamente a geoestatística.

Muitos trabalhos apontam que as discontinuidades do solo causam maiores mudanças na composição das espécies florestais (Paoli *et al* 2006). O uso de características edáficas como topografia, textura do solo ou qualquer variável como uma medida integrada de habitat simplifica a dinâmica de recursos abaixo do solo e leva a uma sub-estimativa da importância das propriedades edáficas na determinação da distribuição das espécies (Hall, 2004).

Os solos sob o bioma Cerrado, em sua maioria, apresentam propriedades que limitam o crescimento das raízes das plantas e exigem práticas de manejo adequadas. Trata-se de solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), com acidez elevada e com baixo teor de nutrientes, especialmente de fósforo. São, assim, solos com alto grau de intemperização e lixiviação, ocorrendo problemas de acidez e deficiência de nutrientes em todo perfil (LOPES, 1983; ADAMOLI et al., 1987; GOEDERT, 1989; SOUSA; LOBATO, 2004).

A variabilidade espacial dos atributos químicos é condicionada não só aos fatores de gênese do solo, mas também fatores temporais, diferentes cultivos e diferentes tratamentos dentro de uma mesma área aparentemente homogênea. Pode-se então dizer que cada solo tem suas características próprias e diferem entre si, com maior ou menor variabilidade espacial entre seus atributos, tornando evidente a necessidade de diferentes grades amostrais que demonstrem representatividade em cada área (KNOB, 2006). Estudos sobre a variabilidade espacial de atributos do solo vem sendo intensamente realizados, visando melhor analisar seu comportamento e sua distribuição no espaço.

O solo é um sistema extremamente heterogêneo, portanto conhecer sua variabilidade espacial é imprescindível, devendo ser considerado no momento da amostragem. Devido às

várias combinações a que estão sujeitos os elementos do solo e às constantes reações químicas que ocorrem na solução do solo, os atributos químicos apresentam maior variação do que os físicos e, conseqüentemente, necessitam de maior número de amostras para estimá-los dentro da mesma área (BECKETT; WEBSTER, 1971; JACOB; KLUTTE, 1976).

A dependência espacial dos atributos químicos pode mudar de atributo para atributo, portanto o número de amostras pode variar entre os diferentes atributos químicos do solo (SILVEIRA *et al.*, 2000). Confirmando esta afirmativa Souza *et al.* (2006) verificaram que com variação de 10% em torno da média, os valores dos atributos pH, matéria orgânica, CTC, podem ser obtidos utilizando-se de um número de subamostras inferior a 15. Enquanto que para os atributos H+Al e saturação por bases (V) é necessário um número de subamostras variando entre 15 a 30. Já para os atributos P, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ necessitam de um número de subamostras maior que 30.

Segundo Araújo *et al.* (2007), algumas características relativamente simples podem ser usadas para avaliar a qualidade do solo de forma bastante eficaz. Os parâmetros escolhidos para tal ponderação devem abranger atributos biológicos, químicos e físicos. Dentre os principais, de caráter prático, podem ser destacadas a matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica e a resistência à penetração. As avaliações conjuntas dessas propriedades podem ajudar a identificar o grau de alteração da qualidade do solo.

O estudo da variabilidade espacial dos atributos do solo surge como uma alternativa para visualizar, quantificar e descrever detalhadamente o comportamento das variáveis estudadas, por meio de um interpolador exato e preciso (UCHÔA *et al.* 2011; SANTI *et al.* 2012).

3.9 Métodos de interpolação

Os métodos de interpolação são utilizados com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial de um determinado atributo, baseado em dados amostrais situados numa localidade de interesse (JIMENEZ; DOMEQ, 2008).

A interpolação é um processo pelo qual uma função é aproximada através do reconhecimento dos seus valores num conjunto discreto de pontos. O objetivo é construir uma função interpoladora que faça a ligação entre pontos conhecidos, e que satisfaça certas

condições, como por exemplo: a função interpoladora não deve se afastar muito dos pontos da função que estão entre os valores dados.

A Interpolação é o método pelo qual se estimam valores de uma variável em área interior aos pontos de amostragem disponíveis, permitindo representar em mapa, de forma contínua, o comportamento de variáveis amostradas pontualmente (ANDRIOTTI, 2003). São conhecidos vários métodos de interpolação, e para cada situação a representação de uma variável se dá por meio de um método específico. Em outras palavras, o conhecimento do fenômeno estudado, suas características intrínsecas, irá embasar a correta interpretação ou aplicação de um determinado modelo.

Dentre os diversos métodos de interpolação, os mais utilizados são: Inverso da Distância Ponderada (IDW), Krigagem e métodos de vizinhos mais próximos.

3.10 Inverso da distância ponderada

O interpolador Inverso da Distância Ponderada ou *Inverse Distance Weighting* (IDW) é um método de interpolação multivariada usado para estimar valores desconhecidos baseado em valores conhecidos. Esse processo atribui valores a pontos desconhecidos utilizando um conjunto disperso de pontos conhecidos.

O IDW, realiza a estimativa da variável ao longo do espaço, ponderando pesos a cada um dos n pontos mais próximos, o que é função do inverso de uma potência da distância, ou seja, quanto mais próximo do ponto a ser estimado, maior o peso atribuído ao ponto amostrado (JIMENEZ; DOMEQ, 2008). Esse interpolador é largamente utilizado com o expoente dois, com bons resultados, e com o qual recebe a denominação de inverso do quadrado da distância (IQD).

Estudos realizados por Kravchenko e Bullock, (1999) demonstram que o interpolador IDW é mais fácil de se realizar, enquanto que a Krigagem consome mais tempo e é mais complicada de se aplicar.

Wollenhaupt *et al.* (1994), para mapear a disponibilidade de P e K no solo, demonstraram superioridade no método do inverso da distância. Também Gotway e Hartford (1996) mostraram maior eficiência de tal método no mapeamento do teor de matéria orgânica e NO_3^- no solo.

A fórmula para encontrar o valor interpolado μ para um dado ponto x é dada por:

$$\mu(x) = \frac{\sum_{k=0}^N w_k(x) \mu_k}{\sum_{k=0}^N w_k(x)} \quad (1)$$

$$w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p}$$

Trata-se de uma função simples onde x é um ponto a ser estimado;

x_k é um ponto conhecido;

d é uma determinada distância entre o ponto conhecido e o ponto a ser estimado;

N é o número total de pontos conhecidos e utilizados na interpolação;

p é um número real positivo, chamado de poder parâmetro.

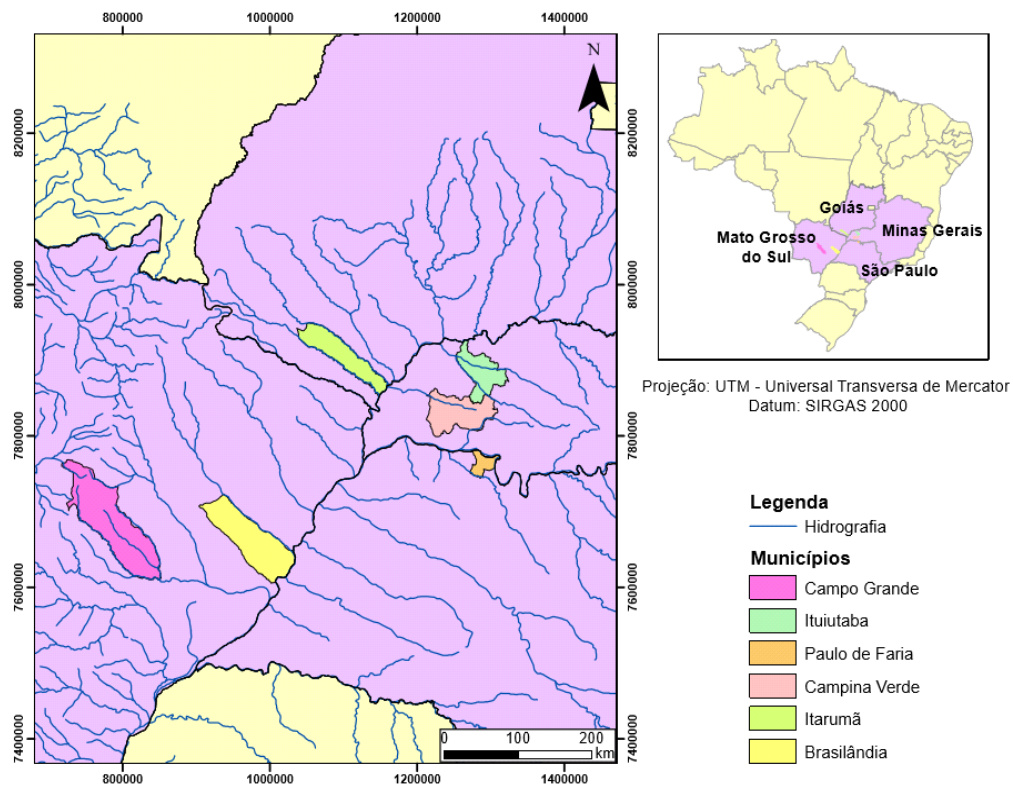
A medida que a distância aumenta, o peso desse valor em relação ao ponto a ser calculado diminui. Maiores valores de p irão atribuir uma maior influência para valores mais próximos ao ponto interpolado. Para $0 < p < 1$, $\mu(x)$ tende a ter picos ao longo da superfície interpolada entre os x_k pontos, enquanto que para $p > 1$, os picos são mais suaves. O mais comum é usar $p = 2$.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O trabalho foi realizado a partir de árvores matrizes presentes em seis populações naturais de *Dipteryx alata*, localizadas nos municípios de Paulo de Faria/SP, Campina Verde/MG, Ituiutaba/MG, Brasilândia/MS, Campo Grande/MS e Itarumã/GO (Figura 3).

Figura 3 - Localização das áreas de estudo.

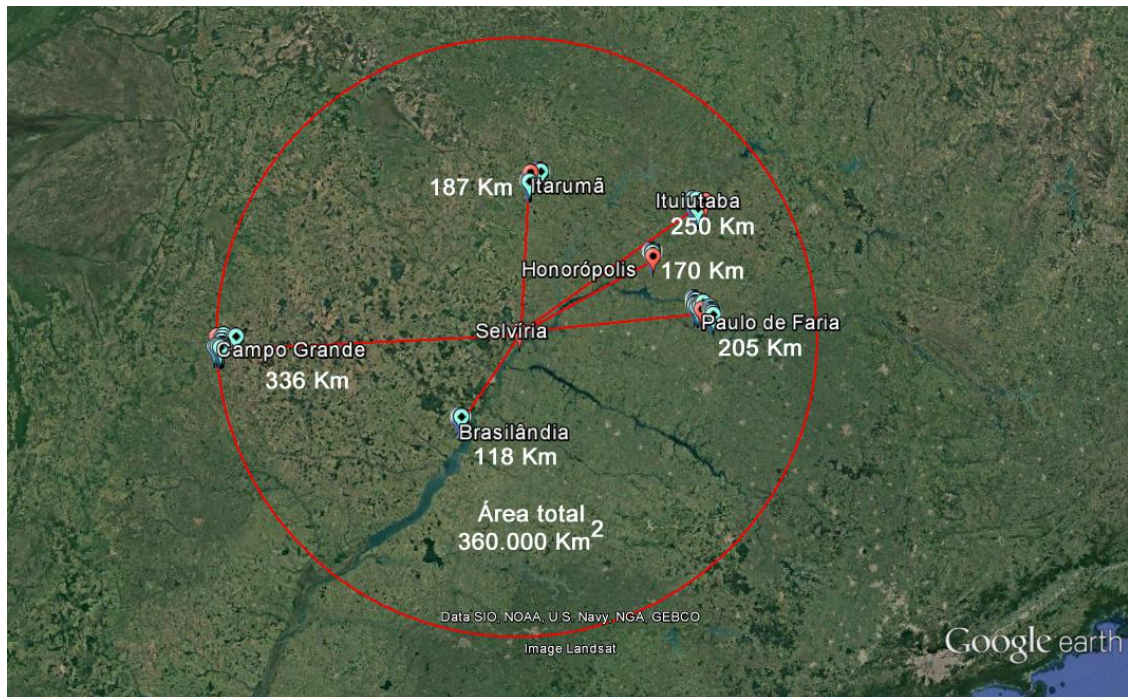


Fonte: Elaboração do autor.

As características dos municípios em que se localizam as populações de *D. alata* evidenciam diferenças quanto a altitude, vegetação, clima, solo, relevo e pluviosidade, o que é interessante quando se busca a representatividade genética de uma espécie arbórea.

Um dos fatores responsável por essa diferenciação entre os locais de estudo é a distância física em linha reta, obtida por meio do *software* Google Earth (Figura 4). As seis populações estão instaladas em forma de teste de progênies no município de Selvíria a uma altitude média de aproximadamente 330 metros. O baru ocorre em entre 110 metros a 1200 metros de altitude.

Figura 4. Distâncias em quilômetros entre as populações de *Dipteryx alata*.



Fonte: Elaboração do autor

As árvores matrizes georreferenciadas nas populações de estudo bem como o ambiente em que se encontravam estão descritos na Tabela 1.

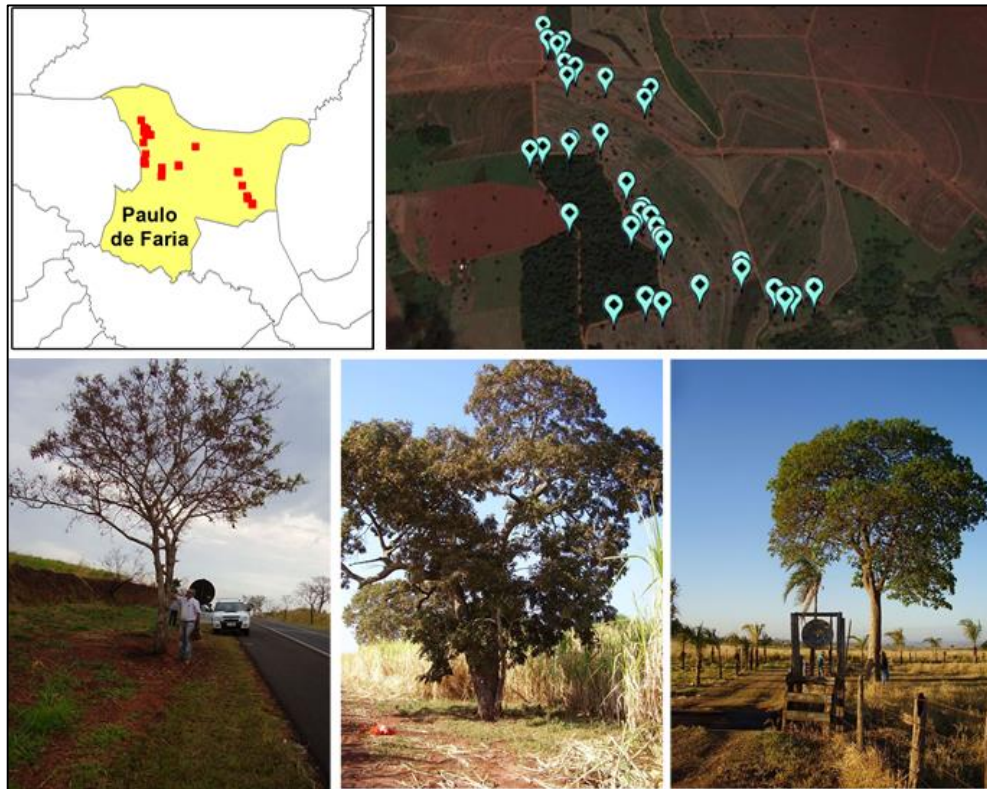
Tabela 1 - Descrição das amostragens das populações de *Dipteryx alata* e suas localizações.

População	Sigla	Árvores matrizes	Localização
Paulo de Faria/SP	POP-PF	61	Interior de pastagens, canaviais e margens de rodovia
Campina Verde/MG	POP-CV	47	Área de pastagens e coexistência de outras espécies arbóreas como <i>Myracrodruon urundeuva</i> , <i>Colubrina glandulosa</i> e <i>Hymenaea stigonocarpa</i> .
Ituiutaba/MG	POP-BA	42	Interior de pastagens e margens de rodovia
Brasilândia/MS	POP-BR	38	Interior de pastagens contornada por plantações de eucalipto
Campo Grande/MS	POP-CG	52	Entorno da área urbana
Itarumã/GO	POP-MA	29	Interior de pastagens

Fonte: Elaboração do autor.

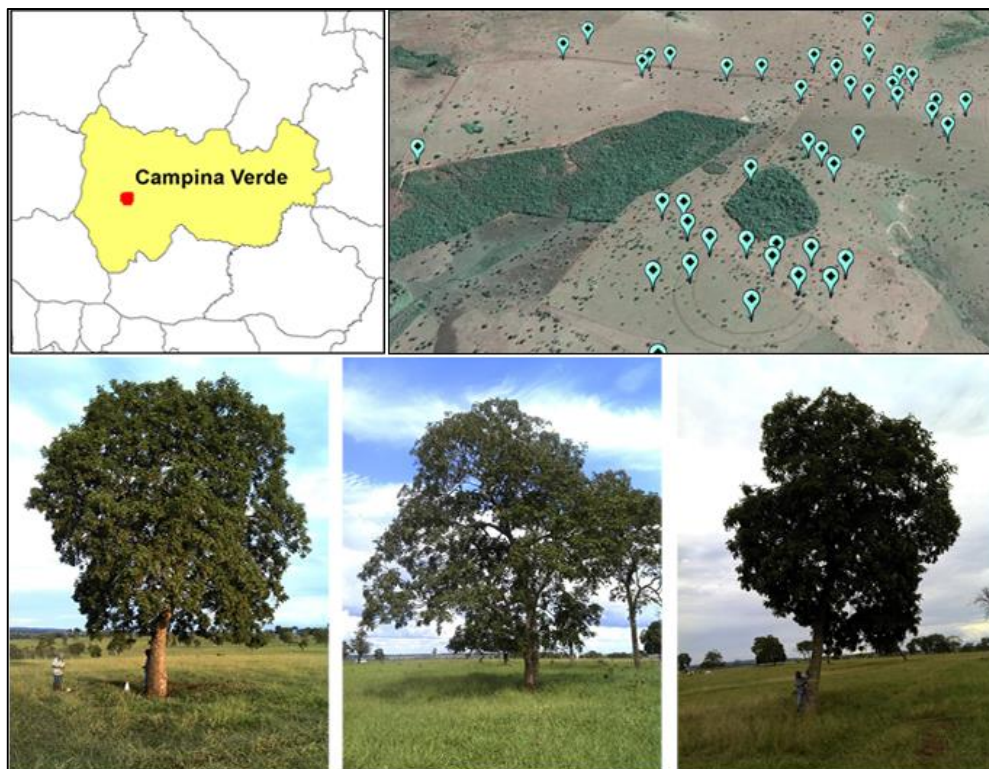
As Figuras 5, 6, 7, 8, 9 e 10 representam uma porção dos indivíduos coletados em cada população. Essas figuras foram constituídas pela combinação entre a base cartográfica de cada município, imagem de satélite e as imagens obtidas em campo.

Figura 5 - População de *Dipteryx alata* em Paulo de Faria (POP-PF)



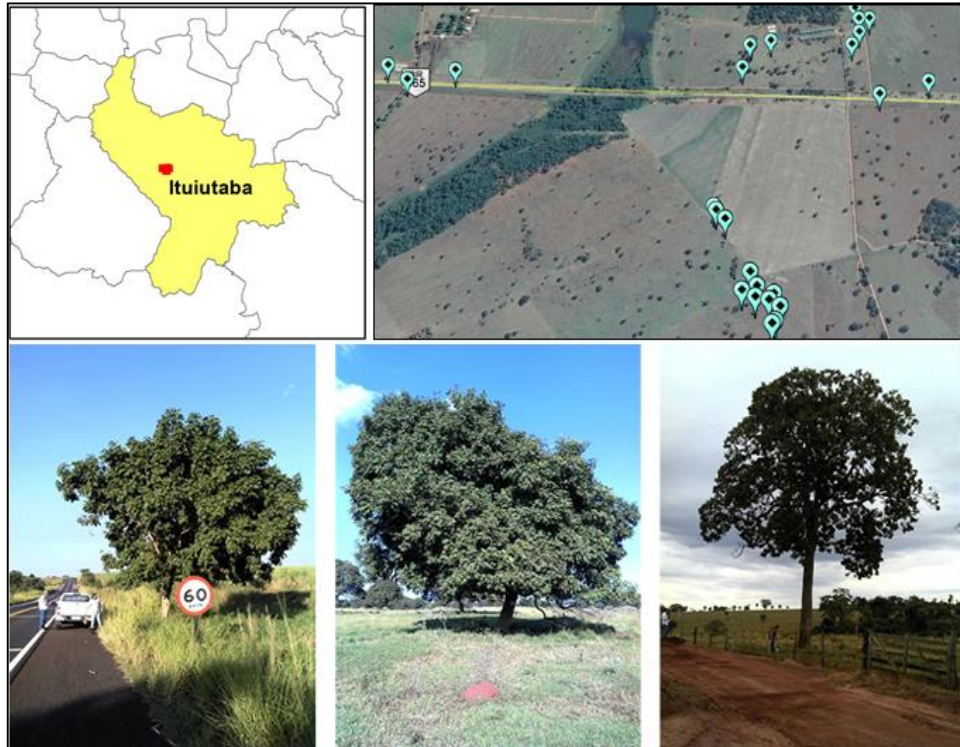
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 6 - População de *Dipteryx alata* em Campina Verde (POP-CV)



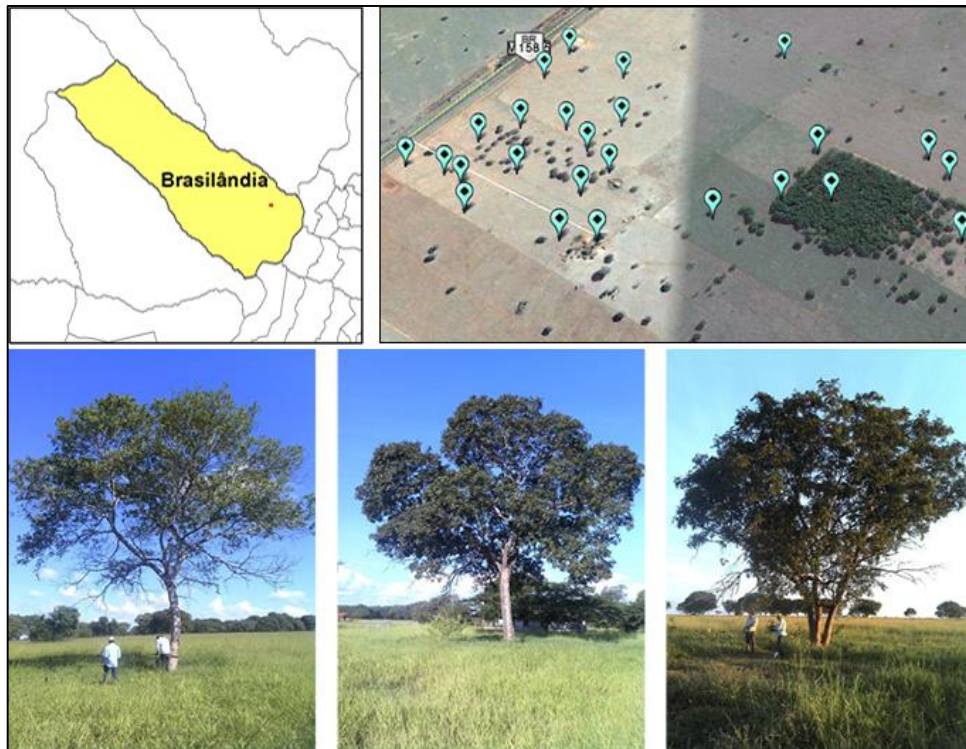
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 7 - População de *Dipteryx alata* em Ituiutaba (POP-BA)



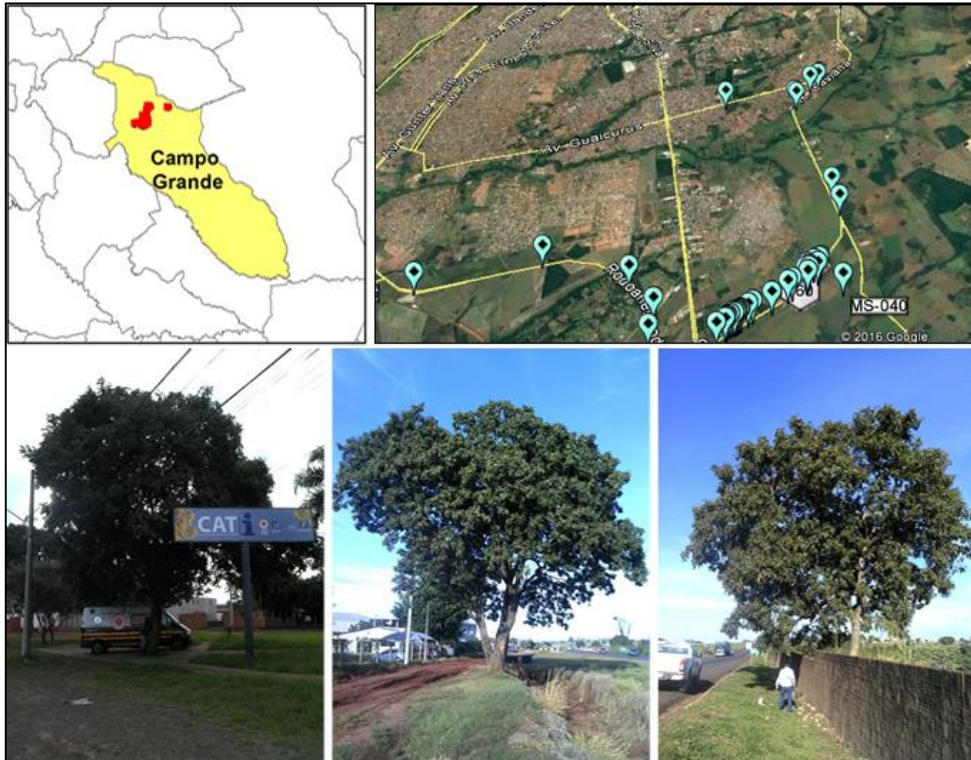
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 8 - População de *Dipteryx alata* em Brasilândia (POP-BR)



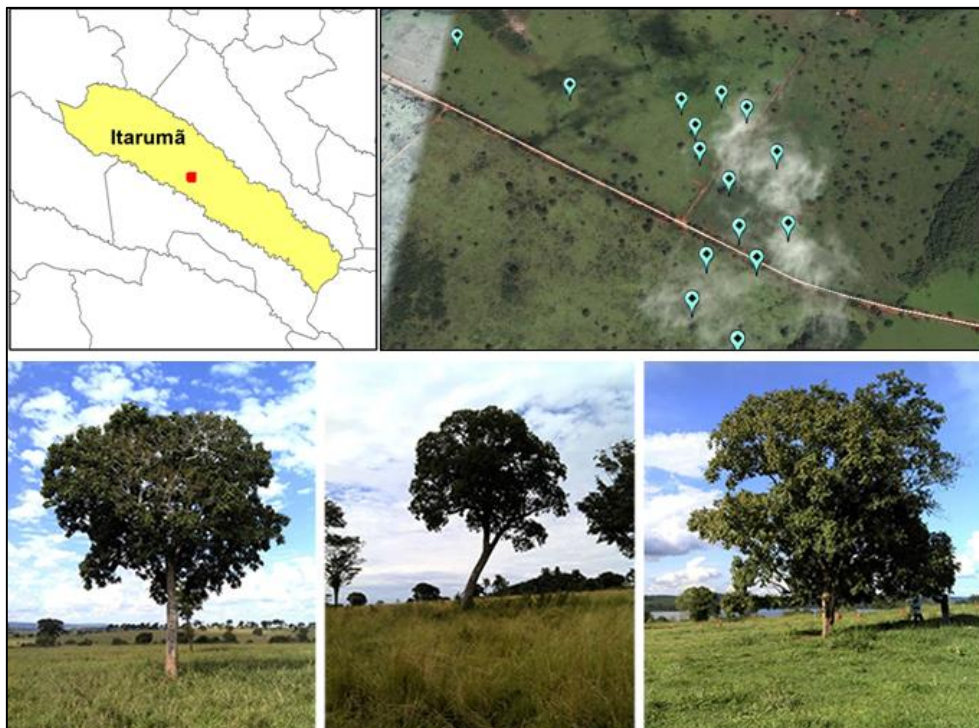
Fonte: Elaboração do autor.

Figura 9 - População de *Dipteryx alata* em Campo Grande (POP-CG)



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 10 - População de *Dipteryx alata* em Itarumã (POP-MA)



Fonte: Elaboração do autor.

Em cada localidade, além de dados sobre as árvores matrizes, foram coletadas amostras de solo com profundidade de 0,0-0,20 m, na projeção de cada árvore, para análise dos atributos químicos, pH e matéria orgânica.

4.2 Métodos

4.2.1 Caracterização silvicultural das árvores matrizes

Nas árvores matrizes das populações naturais de *D. alata* foram mensurados os caracteres, altura (ALT, m), utilizando-se um medidor de altura do tipo Forestor Vertex (CAMPOS e LEITE, 2006), o diâmetro à altura do peito (DAP, cm) com uma fita métrica e o diâmetro médio da copa (DMC, m), que foi obtido com uma trena. Com base nestes dados foram estimados os seguintes parâmetros: média (\hat{m}), variância (\hat{S}^2), desvio padrão (\hat{s}), coeficiente de variação (CV), assimetria (\hat{A}_3) e curtose (\hat{A}_4), para cada uma destas características, em que:

$$\hat{m} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad \hat{S}^2 = \frac{\sum (x_i - \hat{m})^2}{(n-1)} \quad \hat{s} = \sqrt{\hat{S}^2} \quad CV = \frac{100 \cdot \hat{s}}{\hat{m}} \quad (2)$$

$$\hat{A}_3 = \frac{\sum (x_i - \hat{m})^3}{n \cdot \hat{s}^3} \quad \hat{A}_4 = \frac{\sum (x_i - \hat{m})^4}{n \cdot \hat{s}^4}$$

Estas estimativas foram descritas por Andriotti (2003). Para a obtenção, destas estimativas, utilizou-se o programa SELEGEN (RESENDE, 2007).

4.2.2 Autocorrelação espacial

A distribuição espacial das árvores matrizes das seis populações naturais de *D. alata*, foi determinada a partir da estatística do I de Moran, a partir de seus caracteres quantitativos (ALT, DAP e DMC) e de suas coordenadas geográficas. As árvores matrizes foram georreferenciadas utilizando um receptor GPS (*Global Position System*) da marca Garmin MAP 62sc.

A estimativa do I de Moran (I) foi obtida com base na expressão citada por Camara *et al.* (2004):

$$I^{(k)} = \frac{\sum_{i \neq j}^n w_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad (3)$$

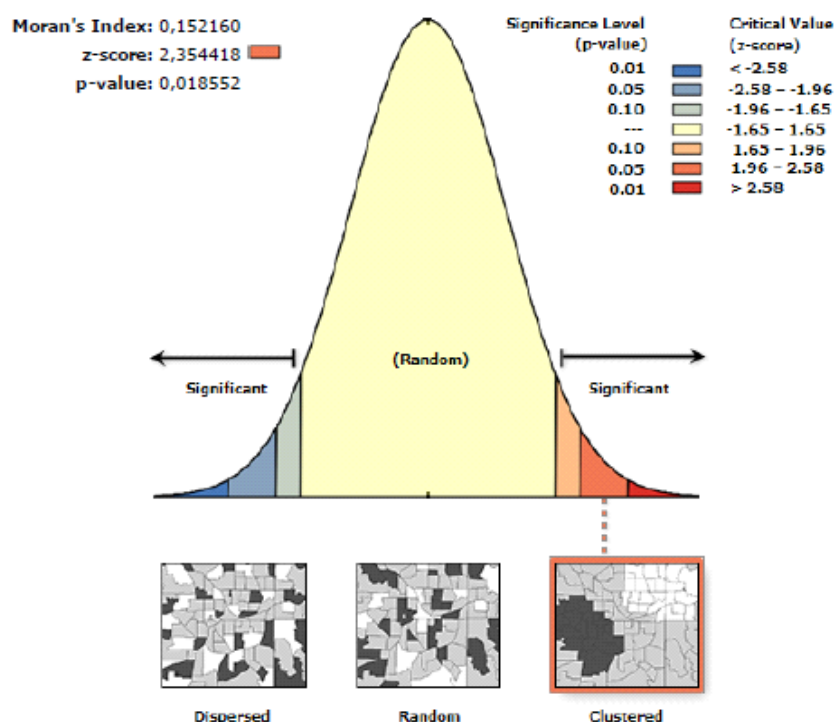
Onde n é o número de áreas, Z_i é o valor do atributo considerado na área, \bar{Z} é o valor médio do atributo na região de estudo, w_{ij} são os elementos da matriz normalizada de proximidade espacial e k é a ordem de vizinhança.

De uma forma geral, I varia entre -1 a +1, não estando, no entanto, restrito a esse intervalo. No caso de os valores da variável de estudo serem semelhantes entre localizações vizinhas, verifica-se uma autocorrelação positiva (valor de I é positivo), caso contrário a autocorrelação é negativa (valor de I é negativo). Se as observações estão distribuídas no espaço de forma aleatória, não existe efeito espacial, tendendo a autocorrelação para um valor próximo de zero (FUCKS *et al.*, 2004; WALLER; GOTWAY, 2004; O'SULLIVAN; UNWIN, 2010).

A técnica de autocorrelação espacial de I de Moran é uma estatística inferencial, ou seja, os seus resultados são sempre validados com base num teste de hipóteses que nos permite averiguar se o processo espacial que promoveu o padrão observado resulta de uma mudança aleatória (FUCKS *et al.*, 2004).

Neste contexto, para o cálculo da autocorrelação espacial o *software* utilizado foi o ArcGIS® versão 10.2 que após o cálculo do índice determina um *z-score* e um *p-value*, para verificar a significância estatística dos dados. O *p-value* e o *z-score* são medidas de significância estatística que nos indicam a rejeição ou não da hipótese nula, ambos associados à distribuição normal (Figura 11).

Figura 11 - Exemplo de representação do resultado estatístico da Autocorrelação espacial global.



Fonte: Elaboração do autor.

4.2.3 Atributos químicos do solo

Na análise do solo, foram coletadas amostras de 0,0-0,20 m em cada árvore de *D. alata*, com auxílio de um trado de caneca, com diâmetro interno de 0,08 m e altura de 0,20 m, constituindo um volume de $1,005 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, as quais após misturadas geraram uma amostra composta que foi analisada segundo metodologia descrita em Rajj *et al.* (2001). O solo foi seco ao ar e processado em moinho de solo com rotor vertical e martelos moveis (Marconi MA330), passado por peneira com malha de 2 mm, sendo as análises químicas realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos, Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Ilha Solteira.

O pH foi determinado em solução de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ por meio da potenciometria; o teor de H^+ Al foi determinado pelo método SMP utilizando potenciometria; Al trocável extraído por solução KCl 1 mol L^{-1} , determinado por titulometria com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. A matéria orgânica do solo foi determinada por meio do método colorimétrico (solução de $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $0,667 \text{ mol L}^{-1}$ + H_2SO_4 5 mol L^{-1}), a partir de espectrofotometria.

4.2.4 Interpolador determinístico (IDW)

O *software* utilizado para a confecção dos mapas e para a predição do interpolador determinístico IDW, foi o ArcGIS® versão 10.2. O interpolador neste caso, foi calculado com o expoente 2, conhecido como Inverso do Quadrado da Distância (IQD), descrito por Yamamoto (2001).

Esse interpolador apresenta vantagens quando comparado aos outros, pois ele não exige uma análise muito trabalhosa dos dados, tornando o processo menos oneroso. Em casos onde a estrutura de continuidade espacial é fraca, este interpolador apresenta resultados semelhantes à Krigagem (SOUZA et al., 2010). Ao contrário da Krigagem, que extrapola valores para fora da área de amostragem, o interpolador IDW apresenta limitações quanto a predição de valores, ou seja, ele calcula valores somente dentro da área amostrada.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estatística descritiva dos caracteres silviculturais

A média para o caráter altura variaram de 14,63 m (POP-BA) a 17,82 m (POP-MA), correspondendo a uma média geral de 16,01 m (Tabela 2). No que se refere ao incremento médio anual (IMA), desse caráter, Zaruma *et al.* (2015), trabalhando com três populações de *D. alata*, provenientes dos municípios de Brasilândia (MS), Campina Verde (MG) e Itarumã (GO) encontraram um IMA de 0,74 m, aos nove anos de idade. Em outro estudo, conduzido por Siqueira *et al.* (1993), com a mesma espécie de duas procedências Aquidauana (MS) e Campo Grande (MS), foi estimado um IMA de 0,80 m, aos oito anos de idade. Dessa forma, pode-se inferir que os indivíduos dessas populações naturais teriam de 18 a 24 anos de idade. Com base no coeficiente de variação, a população mais homogênea foi a POP-CV (17,41%) e a mais heterogênea a POP-BR (22,71%). Em relação a distribuição dos dados a maioria das populações apresentou uma distribuição do tipo simétrica e mesocúrtica. A única exceção foi a POP-PF, que apresentou assimetria negativa, mas quanto a curtose foi mesocúrtica.

Tabela 2 - Estatística descritiva para os caracteres altura, diâmetro a altura do peito (DAP) e diâmetro médio da copa (DMC) para seis populações de *Dipteryx alata*.

POP	ALTURA (m)				DAP (cm)				DMC (m)			
	\hat{m}	CV	\hat{A}_3	\hat{A}_4	\hat{m}	CV	\hat{A}_3	\hat{A}_4	\hat{m}	CV	\hat{A}_3	\hat{A}_4
PF	15,97	21,11	AN	M	58,04	32,18	S	M	13,06	23,50	S	M
BA	14,63	19,34	S	M	45,04	27,34	AP	L	13,07	18,91	S	M
MA	17,82	18,10	S	M	56,05	26,01	S	M	20,56	48,30	AP	L
CG	16,09	21,28	S	M	57,38	32,45	S	M	13,31	21,86	S	M
CV	16,08	17,41	S	M	52,43	22,90	S	M	16,09	16,40	S	M
BR	15,56	22,71	S	M	46,78	21,13	S	M	15,13	20,76	S	M

Nota: PF: Paulo de Faria; BA: Ituiutaba; MA: Iturama; CG: Campo Grande; CV: Campina Verde; BR: Brasilândia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

No que se refere ao crescimento em DAP, todas as populações apresentaram um crescimento superior a 45 cm. Assim como no caráter altura a POP-BA (45,04 cm) também apresentou um menor desenvolvimento para o caráter DAP e a população com indivíduos que

apresentaram maiores valores de DAP foi a POP-PF (58,04 cm). O IMA, para o DAP, obtido por Zaruma *et al.* (2015) foi de 0,91 cm, valor semelhante (1,12 cm) ao obtido por Siqueira *et al.* (1993). Dessa forma, os indivíduos dessas populações poderiam ter de 40 a 63 anos. Levando em consideração que o caráter DAP tem uma maior correlação dendrocronológica a idade estimada dessas populações naturais estaria no intervalo entre 40 e 63 anos. A variação entre os indivíduos expressada pelo coeficiente de variação foi menor na POP-BR (21,13%) e maior na POP-CG (32,45%). Predominou nas populações a distribuição simétrica e mesocúrtica com exceção da POP-BA que foi assimétrica positiva e leptocúrtica.

O IMA apresentado por Zaruma *et al.* (2015) foi de 0,36 m para o diâmetro médio de copa. Com base nesse caráter as populações poderiam ter de 36 (POP-PF) a 57 anos (POP-MA). A população com menor variação para esse caráter foi a POP-CV (16,40%) e a maior a POP-MA (48,30%). A POP-MA foi a única população que apresentou uma distribuição de dados do tipo assimétrica positiva e leptocúrtica.

5.2 Índice de Moran Global

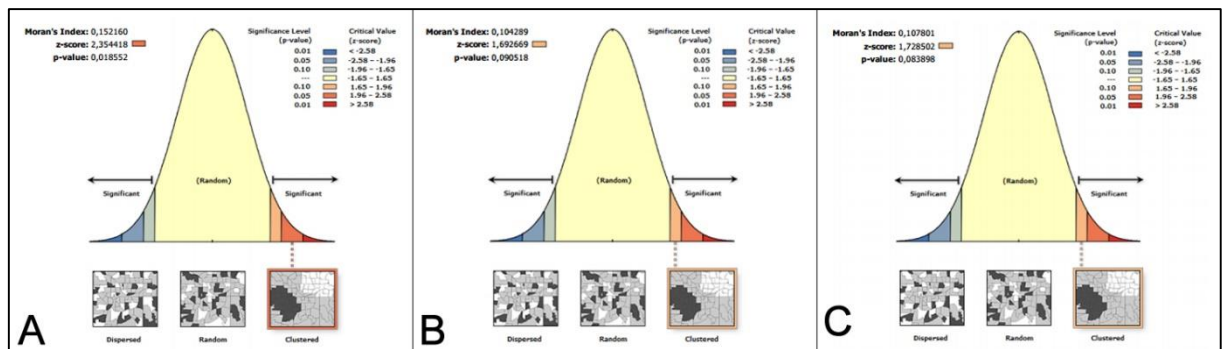
A autocorrelação espacial das seis populações de *D. alata* foi mensurada, considerando o grau de associação espacial presente no conjunto de dados trabalhados. Essas análises foram baseadas em dados integrados e distribuídos espacialmente e podem auxiliar em uma interpretação mais ajustada da realidade para melhor compreensão da dinâmica de distribuição espacial das espécies arbóreas, o que permite orientar de maneira mais efetiva estratégias de conservação *ex situ*, que incluem a coleta de sementes em populações naturais.

Os resultados do cálculo do I de Moran global para altura, diâmetro altura do peito (DAP) e diâmetro médio de copa (DMC) de cada população partem do pressuposto que a ferramenta de autocorrelação espacial empregada é uma estatística dedutiva, na qual os resultados das análises são sempre interpretados dentro do contexto da hipótese nula. Para a estatística do I de Moran global, a hipótese nula determina que o atributo analisado se encontre distribuído de forma aleatória entre os indivíduos da área de estudo.

A observação dos resultados de altura, DAP e DMC, obtidos para as populações de Paulo de Faria (Figura 12) e Brasilândia (Figura 13), apontam que para todos os caracteres silviculturais considerados, a distribuição espacial da espécie apresentou padrão agrupado, no qual os indivíduos tendem a estar localizados juntos em agrupamentos em ambas as populações.

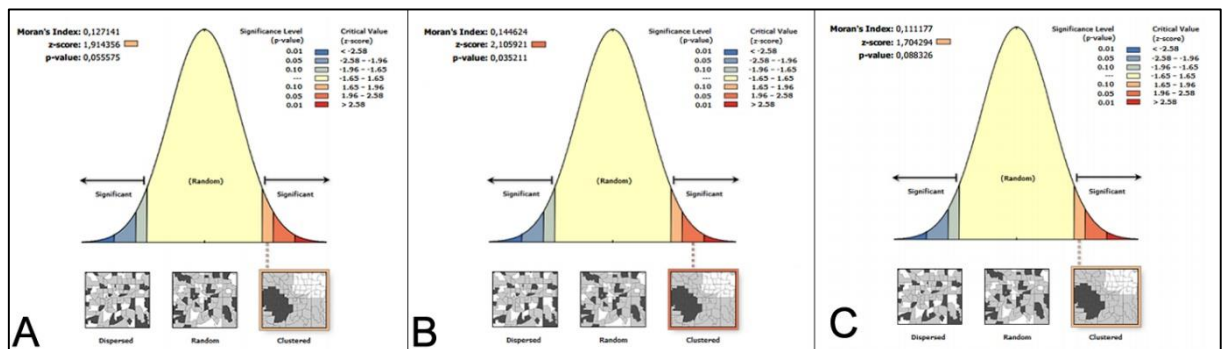
Os valores de z obtidos para a população de Paulo de Faria foram de 2,35; 1,69 e 1,73. Já os valores de p foram 0,02; 0,09 e 0,08, respectivamente para os caracteres altura, DAP e DMC.

Figura 12 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Paulo de Faria, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 13. Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Brasilândia, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.



Fonte: Elaboração do autor.

Os valores de z obtidos para a população de Brasilândia foram de 1,91; 2,11 e 1,70. Já os valores de p foram 0,06; 0,04 e 0,09, respectivamente para os caracteres altura, DAP e DMC.

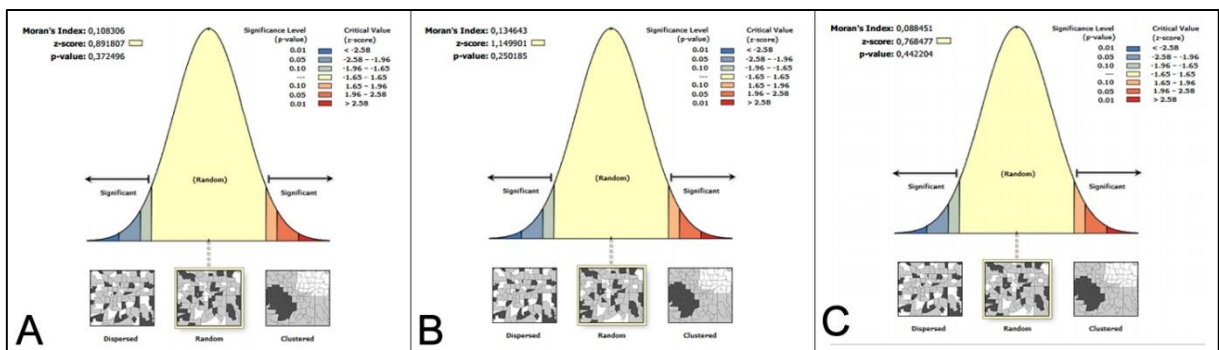
Estudos realizados por Rosseto *et al.* (2005), Miranda (1992) e Dusi (1989) com as espécies *Xylopia aromatica*, *Caryocar brasiliense* e *Syagrus flexuosa* respectivamente, também nativas do Cerrado, utilizando o mesmo coeficiente de autocorrelação espacial, obtiveram o mesmo padrão.

A análise dos valores de z e p indicaram que o I de Moran é estatisticamente significativo e que existe uma probabilidade inferior a 10% de que este padrão agrupado possa ser resultado do acaso. Essa análise sugere que as árvores mais próximas têm maiores similaridades para os caracteres silviculturais analisados e podem apresentar cruzamento entre indivíduos da mesma

família. Sendo assim, a coleta de sementes dessas populações não seria prioritária para um programa de conservação *ex situ*, devido à baixa variabilidade dos dados. Entretanto, a conservação destes materiais não deve ser descartada.

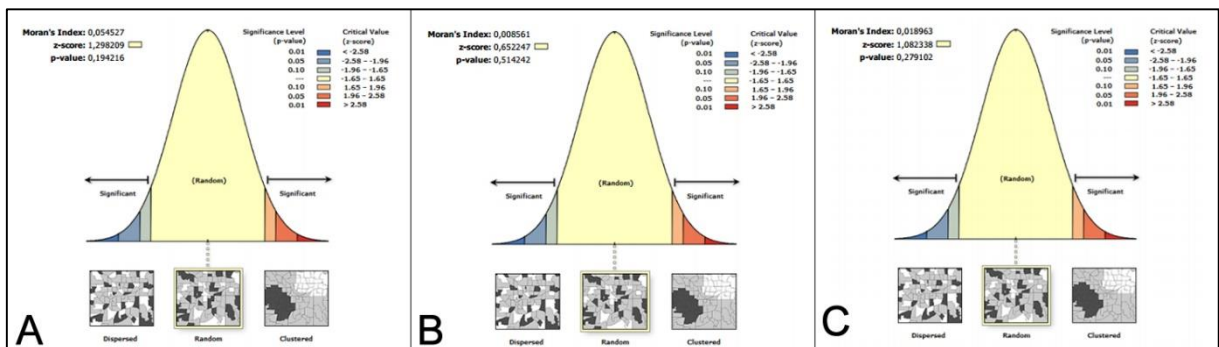
Para as populações de Ituiutaba (Figura 14) e Itarumã (Figura 15), verificou-se que a distribuição espacial apresentou padrão aleatório, no qual todos os indivíduos estão localizados independentemente uns dos outros.

Figura 14. Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Ituiutaba, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Itarumã, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.



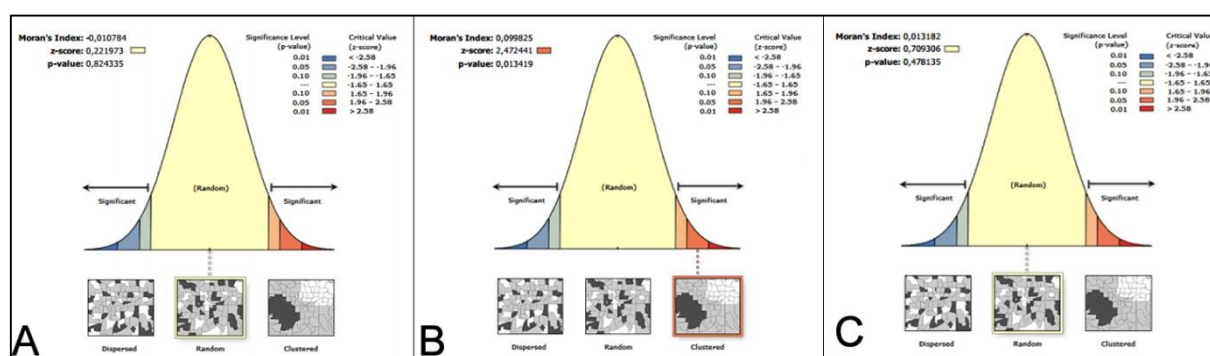
Fonte: Elaborado pelo autor.

Dado os baixos valores de z obtidos (0,89; 1,14 e 0,76, respectivamente para altura, DAP e DMC para a população de Ituiutaba; e 1,29; 0,65 e 1,08, respectivamente para a população de Itarumã), infere-se que o padrão não aparenta ser significativamente diferente do aleatório, indicando que nessas populações a coleta de sementes pode ser realizada aleatoriamente dentro destas amostras, devido ao alto grau de variabilidade entre os dados amostrais. Kageyama *et al.* (2003) também encontrou uma tendência ao padrão aleatório estudando uma população de *Ocotea odorata*. O mesmo padrão de distribuição foi verificado

por Rosseto *et al.* (2005), ao estudarem uma amostra de população da espécie *Vochysia tucanorum* em um fragmento de Cerrado. Outros autores estudando diversas espécies, também não encontraram estruturação espacial. Exemplos deles são: Silva *et al.* (2005) com *Caryocar brasiliense*, Sebbenn (1997) com *Genipa americana*, Souza (1997) com *Chorisia apeciosa*, e Aguiar *et al.* (2004) com *Astronium fraxinifolium*.

Já a população de Campina Verde (Figura 16), apresentou padrões de distribuição distintos entre os atributos altura e DMC e DAP.

Figura 16 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Campina Verde, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.

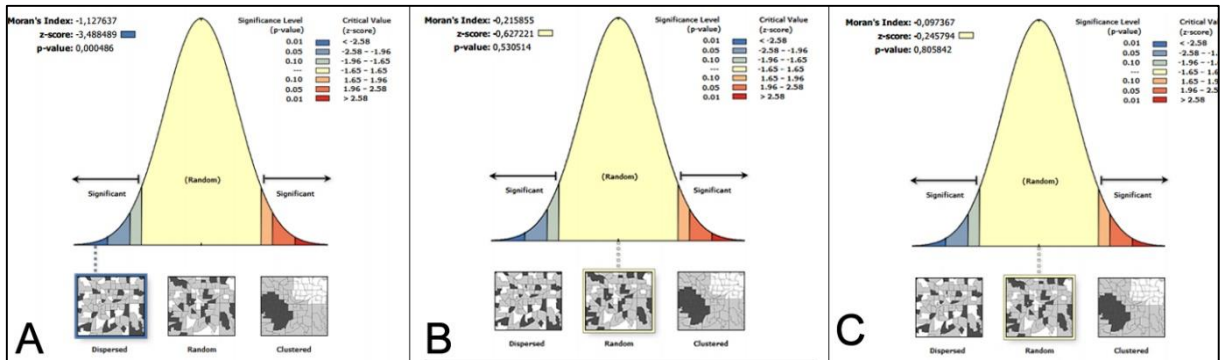


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a altura e o DMC, o padrão encontrado foi o aleatório, e os baixos valores de z (0,22 e 0,70, respectivamente) indicam que não há indícios de que o padrão encontrado seja diferente de aleatório. Por outro lado, o padrão de distribuição espacial encontrado para o atributo DAP foi o agrupado, com probabilidade inferior a 5% de que este padrão agrupado tenha sido consequência do acaso.

Por fim, a população de Campo Grande (Figura 17) também apresentou padrões de distribuição diferentes entre os atributos DAP e DMC e altura. Para o DAP e o DMC, o padrão encontrado foi o aleatório, e os baixos valores de z (-0,62 e -0,24, respectivamente) indicam que não há indícios de que o padrão encontrado seja diferente de aleatório.

Figura 17 - Resultado estatístico do I de Moran Global para a população de *Dipteryx alata* de Campo Grande, para os caracteres: (A) altura; (B) DAP; (C) DMC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por outro lado, o padrão de distribuição espacial encontrado para o atributo altura foi o regular, com probabilidade inferior a 1% de que este padrão de dispersão tenha sido consequência do acaso. No padrão regular, os indivíduos tendem a ser regularmente espaçados.

5.3 Espacialização dos atributos químicos do solo

A espacialização dos atributos químicos do solo propicia um melhor entendimento da ocorrência das árvores matrizes nas populações. A partir das projeções realizadas pela interpolação dos dados, foi possível identificar as regiões do solo que possuem melhores condições de matéria orgânica e de pH para o desenvolvimento dos indivíduos. A Tabela 3 apresenta os valores da estatística descritivas e a variação dos valores de matéria orgânica e pH para as populações estudadas.

Tabela 3 - Estatística Descritiva para os teores matéria orgânica (MO) e pH nas populações de *Dipteryx alata*.

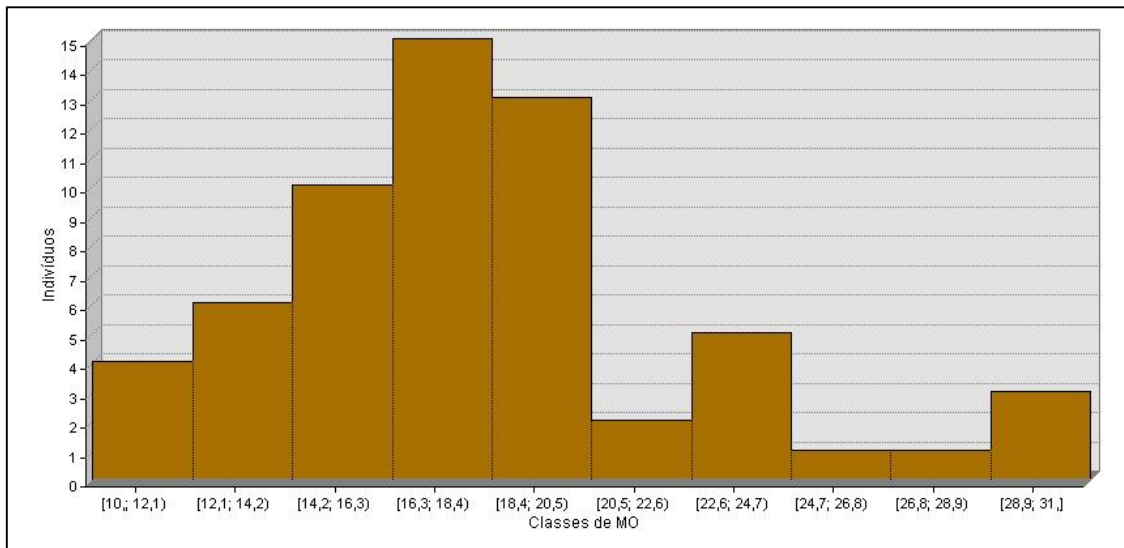
POP	Matéria Orgânica (g dm ⁻³)				pH			
	mín.	máx.	\hat{m}	s	mín.	máx.	\hat{m}	s
PF	10	31	18,47	4,67	4,3	6,2	5,12	0,44
BA	12	30	17,70	3,57	4,2	5,5	4,69	0,37
MA	11	23	16,17	2,94	4,2	5,9	5,00	0,41
CG	10	38	20,28	6,40	4,1	6,3	4,87	0,57
CV	12	34	20,68	3,23	4,3	5,9	5,17	0,36
BR	14	26	18,07	2,45	4,1	5,3	4,60	0,29

Nota: PF: Paulo de Faria; BA: Ituiutaba; MA: Itarumã; CG: Campo Grande; CV: Campina Verde; BR: Brasilândia.

Fonte: Elaborado pelo autor.

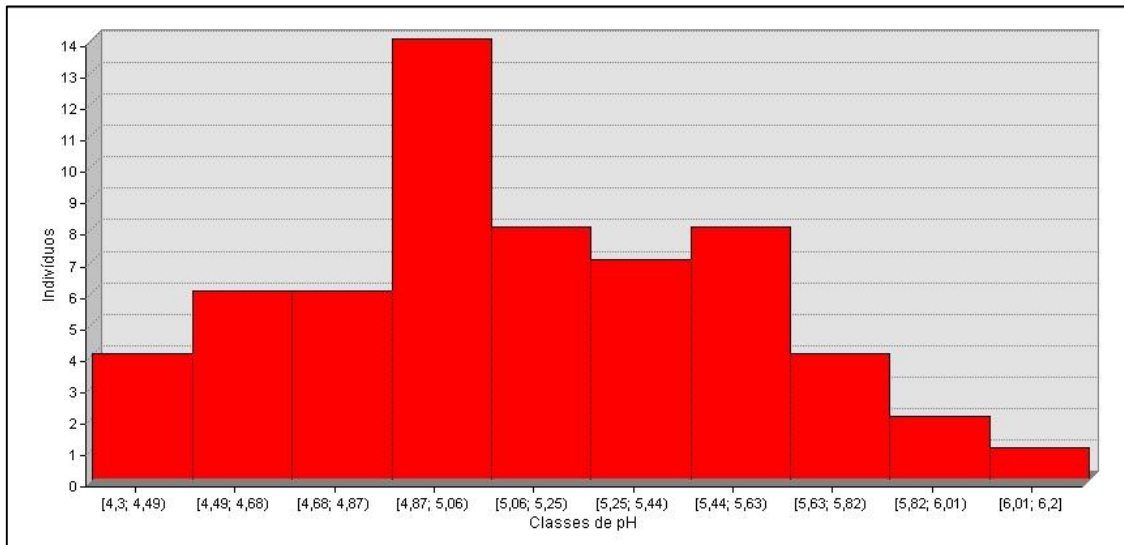
A população de Paulo de Faria apresentou uma variação para a MO de 10 a 33 g dm⁻³, com uma média de 18,47 g dm⁻³. Já a faixa para o pH foi de 4,3 a 6,2, com média de 5,12. A partir das distribuições de classes para os atributos químicos (Figuras 18 e 19), verificou-se que cerca de 59% dos dados para a MO e 53% dos dados para o pH estão abaixo da média.

Figura 18 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Paulo de Faria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

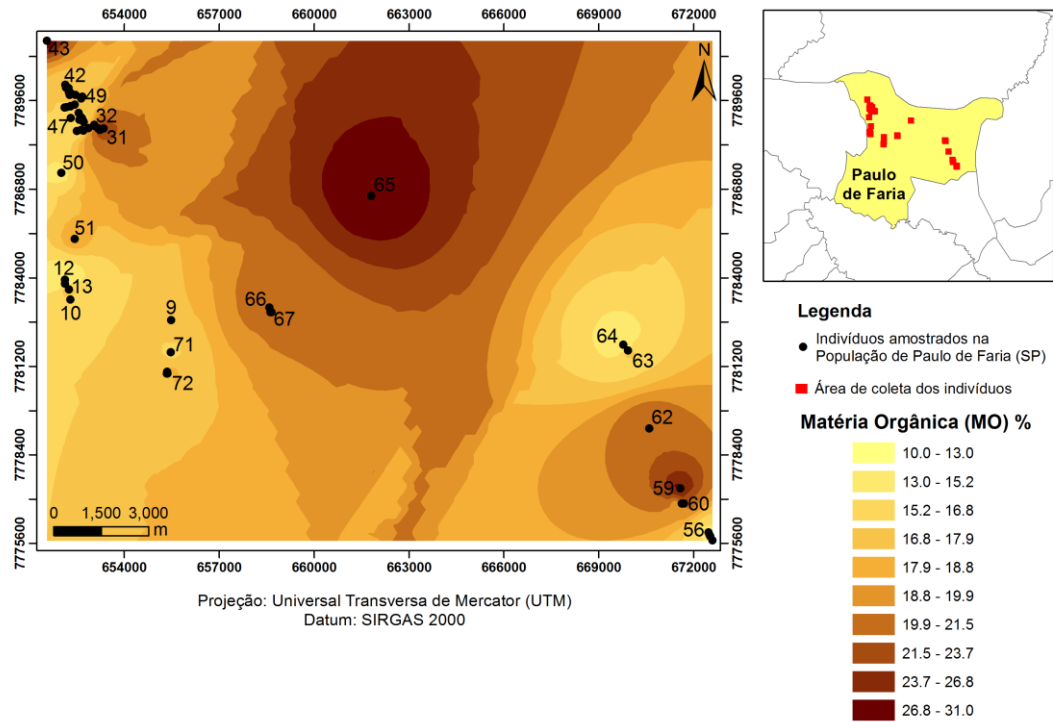
Figura 19. Distribuição de frequência para classes de pH na população de *Dipteryx alata* de Paulo de Faria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

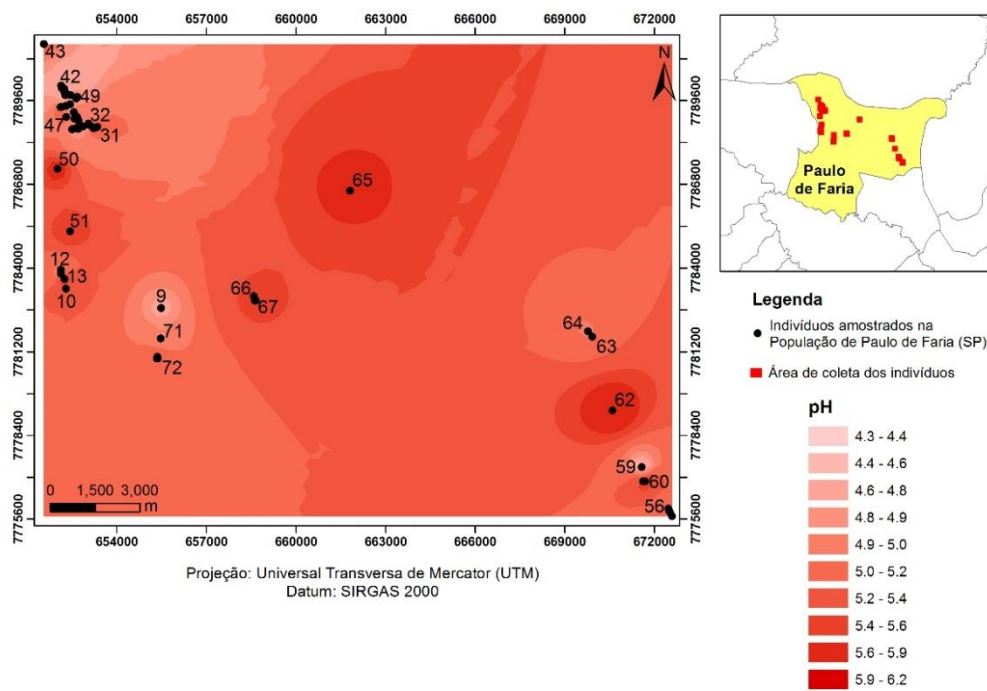
Analisando a distribuição espacial dos indivíduos da população de Paulo de Faria (Figuras 20 e 21), verificou-se uma grande variação no teor de matéria orgânica e pH do solo. A população localizada em margens de rodovia, interior de pastagens e canaviais provavelmente sofreu grande ação antrópica, principalmente em áreas de cultivo, onde há a adubação e correção do pH do solo.

Figura 20 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Paulo de Faria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 - Distribuição espacial da concentração pH na população de *Dipteryx alata* de Paulo de Faria

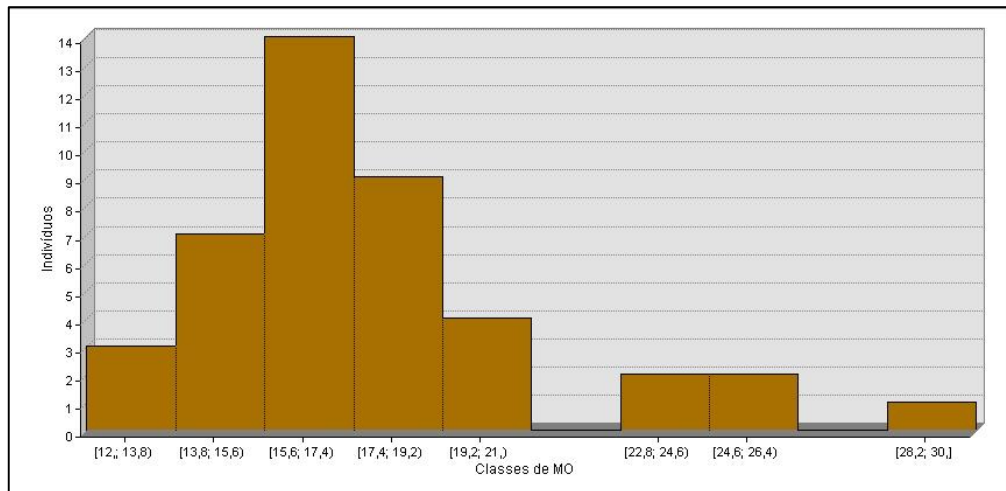


Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, é possível notar que as árvores com melhor desenvolvimento de altura, DAP e DMC estão localizadas em áreas com maior quantidade de matéria orgânica e maiores valores de pH, ao passo que árvores com menor desenvolvimento estão localizadas em solos mais ácidos.

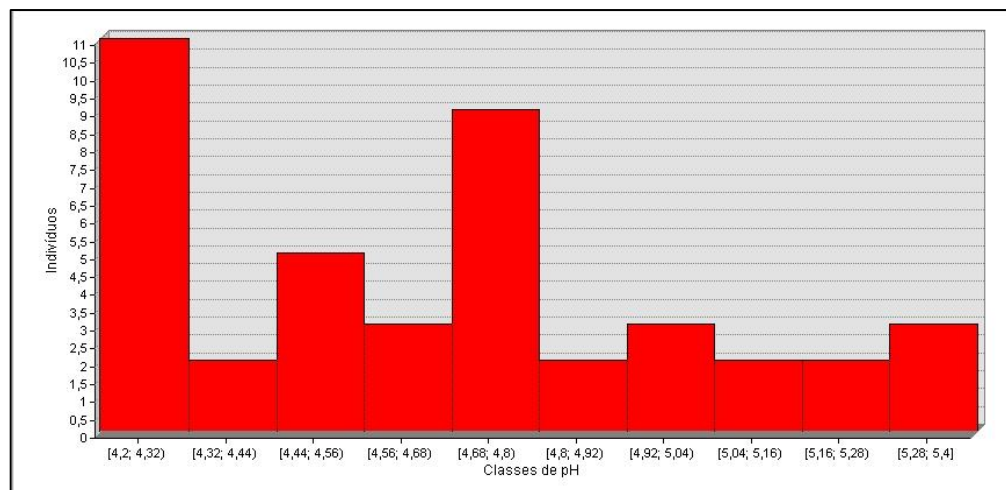
A população de Ituiutaba apresentou valores de MO entre 12 e 30 g dm⁻³, com uma média de 17,70 g dm⁻³. Já a faixa para o pH foi de 4,2 a 5,5, com média de 4,69. Através das distribuições de classes para os atributos químicos (Figuras 22 e 23), verifica-se que cerca de 57% dos dados para a MO e 48% dos dados para o pH estão abaixo da média.

Figura 22 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Ituiutaba.



Fonte: Elaboração do autor.

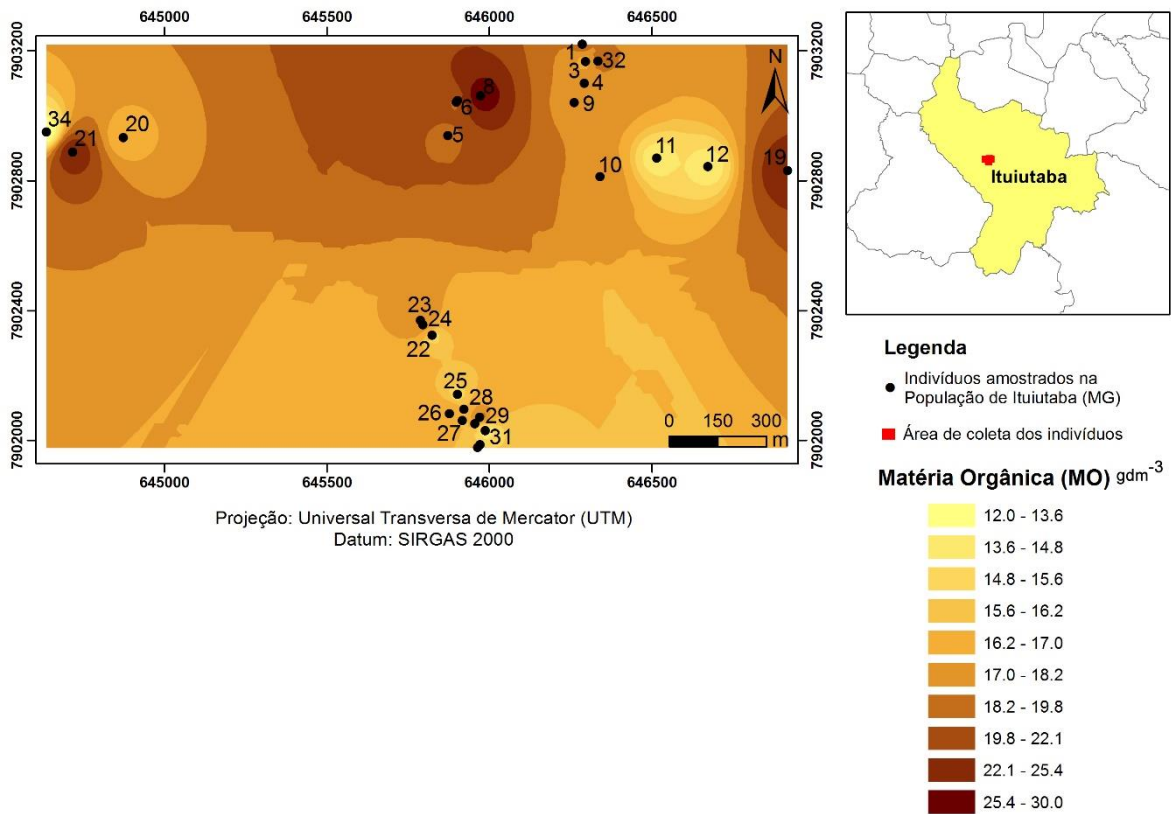
Figura 23 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de *Dipteryx alata* de Ituiutaba.



Fonte: Elaboração do autor.

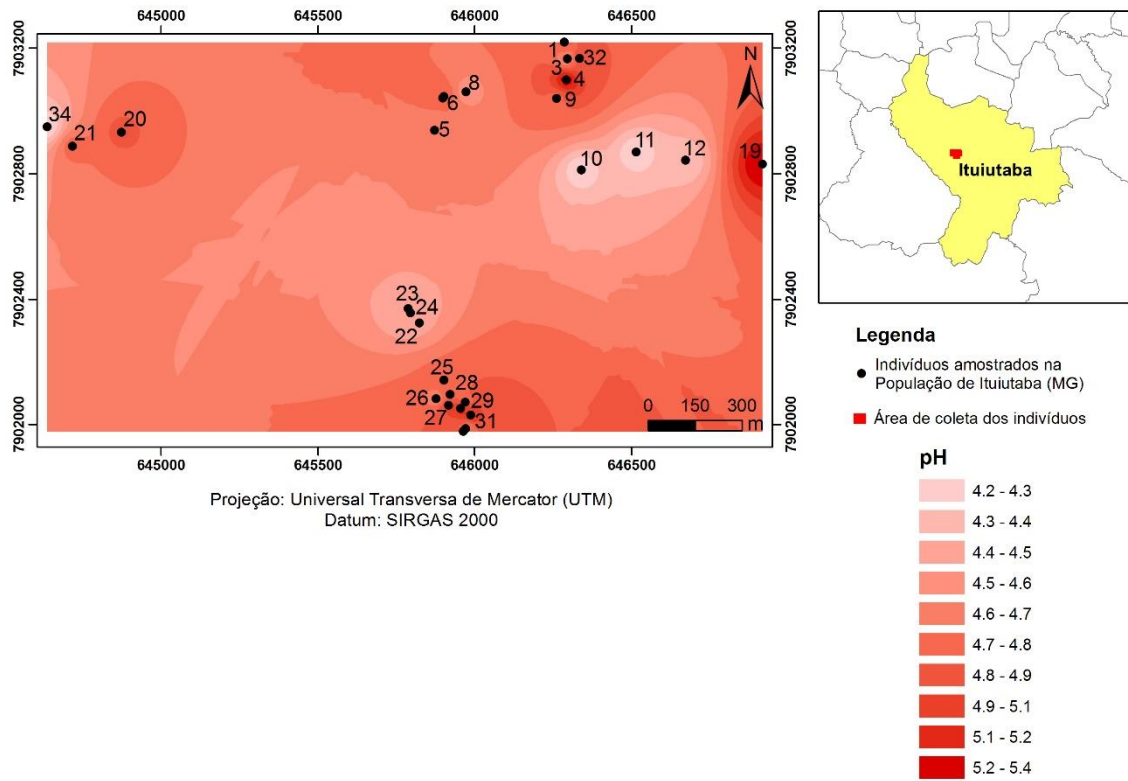
Analisando a distribuição espacial para o atributo matéria orgânica (Figura 24) é possível notar que a grande maioria da população encontra-se em regiões mais claras do mapa. Já na distribuição espacial do atributo pH (Figura 25), verificou-se uma maior uniformidade na disposição dos indivíduos.

Figura 24 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Ituiutaba.



Fonte: Elaboração do autor.

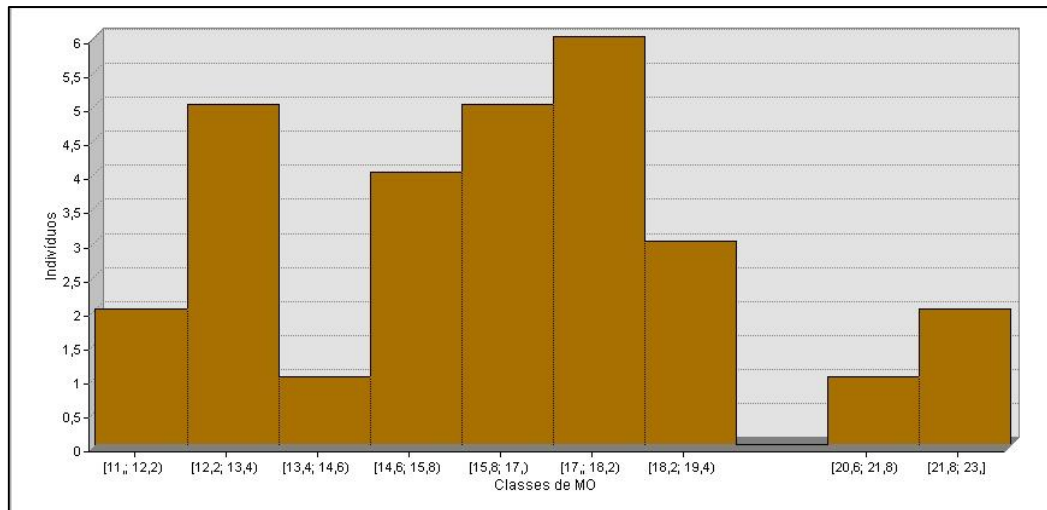
Figura 25 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de *Dipteryx alata* de Ituiutaba.



Fonte: Elaboração do autor.

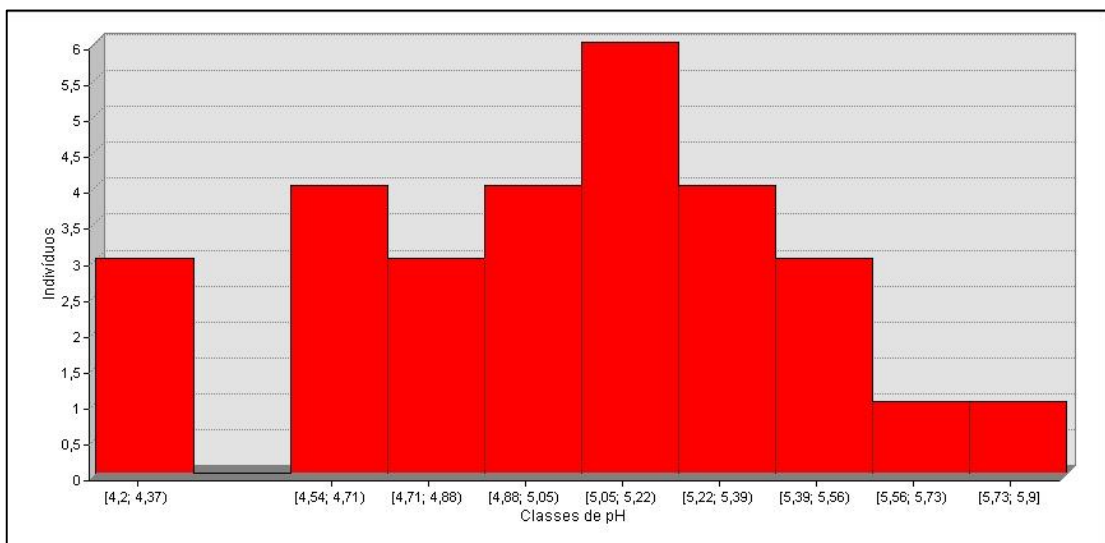
A população de Itarumã apresentou valores de MO entre 11 e 23 g dm⁻³, com uma média de 16,17 g dm⁻³. O intervalo para o pH foi de 4,2 a 5,9, com média de 5,00. A partir das distribuições de classes para os atributos químicos (Figuras 26 e 27), verifica-se que cerca de 59% dos dados para a MO e 48% dos dados para o pH estão abaixo da média.

Figura 26 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Itarumã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

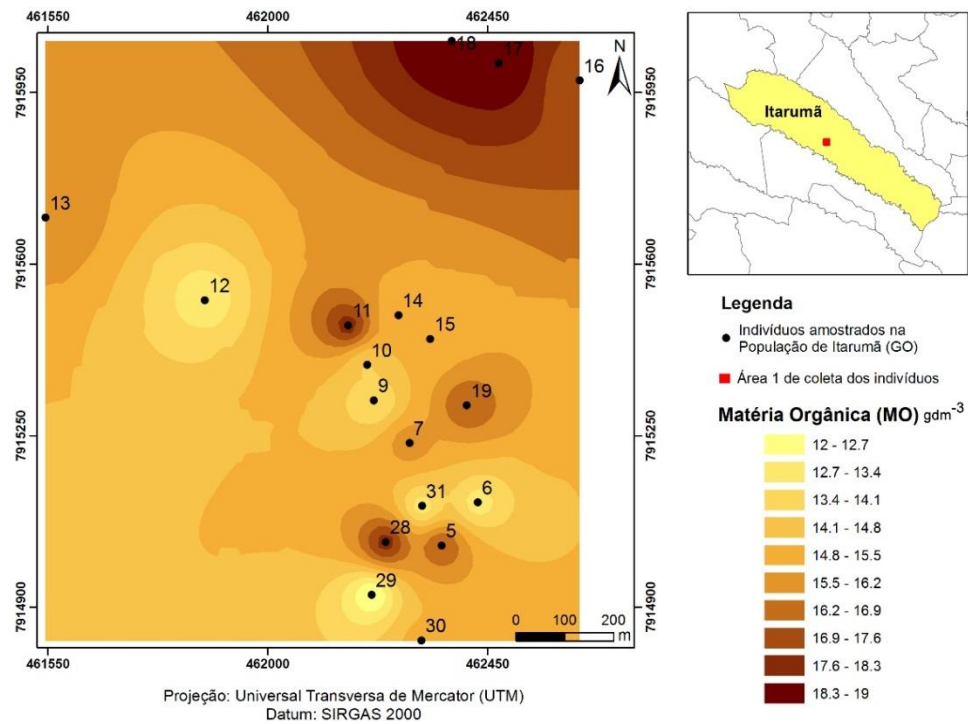
Figura 27 - Distribuição de frequência para classes pH na população de *Dipteryx alata* de Itarumã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

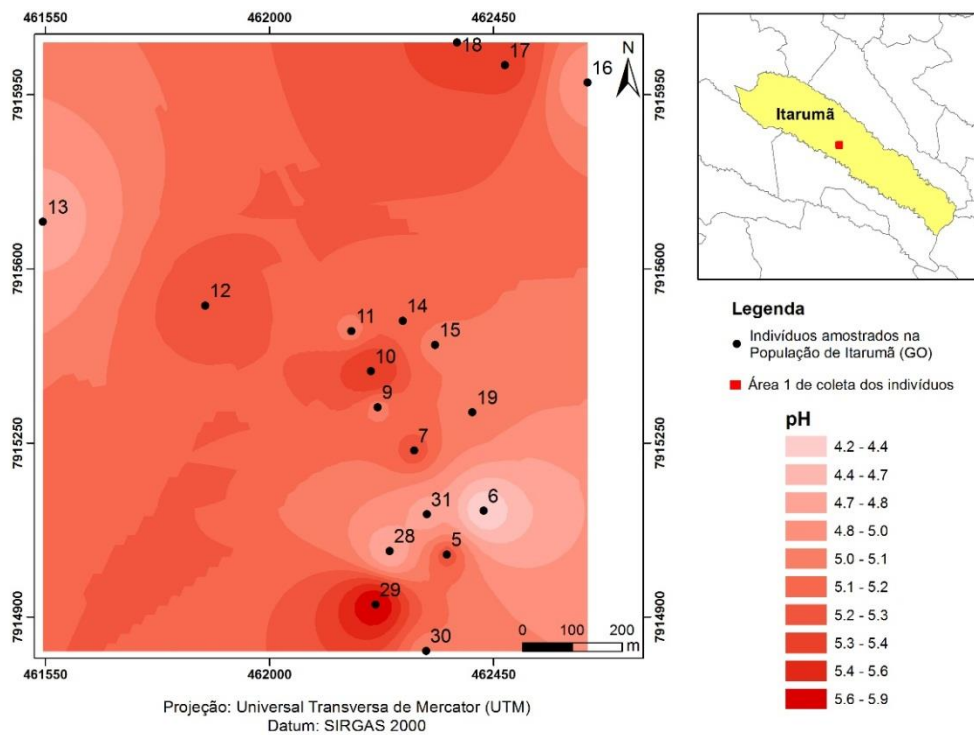
Ao analisar a distribuição espacial dos atributos químicos (Figuras 28 e 29), é possível observar que a distribuição de indivíduos localiza-se em áreas de menor concentração de matéria orgânica e em regiões intermediárias de pH.

Figura 28 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Itarumã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

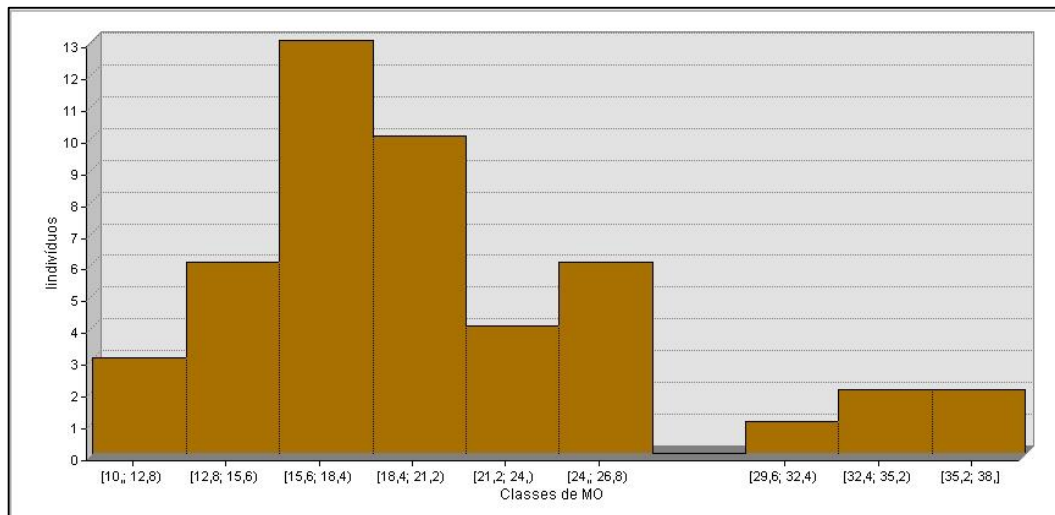
Figura 29 - Distribuição espacial dos valores de pH na população de *Dipteryx alata* de Itarumã.



Fonte: Elaborado pelo autor.

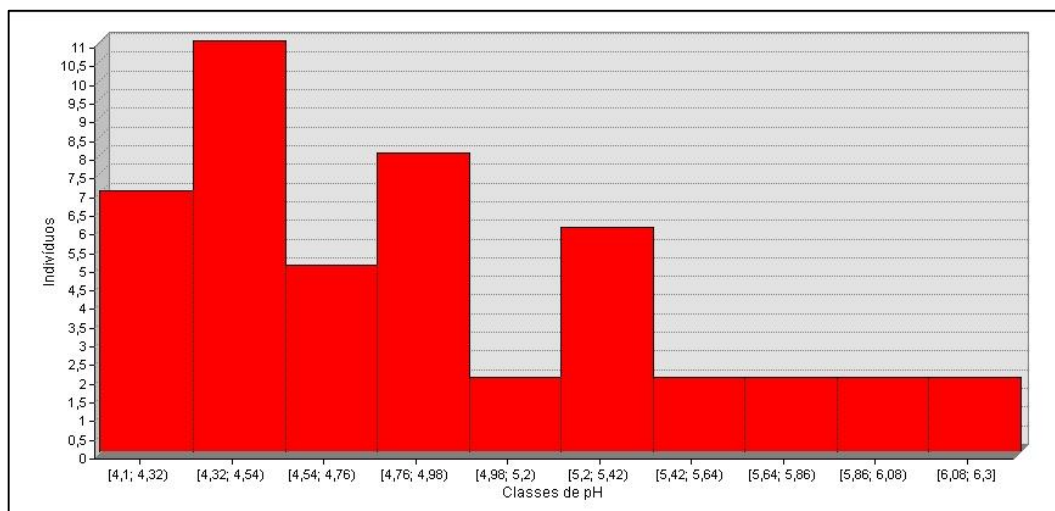
A população de Campo Grande exibiu valores entre 10 e 38 g dm⁻³, com uma média de 20,28 g dm⁻³, para a MO e valores de pH entre 4,1 e 6,3, com uma média de 4,87, sendo a população com maiores valores para ambos os atributos químicos. Entretanto, ao analisar a frequência relativa dos dados (Figuras 30 e 31), verifica-se que, para a matéria orgânica, 59% dos indivíduos apresentaram valores abaixo da média e, para o atributo pH, 63% dos indivíduos apresentaram valores abaixo da média, evidenciando ser a população com características mais irregulares deste estudo.

Figura 30. Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Campo Grande.



Fonte: Elaboração do autor.

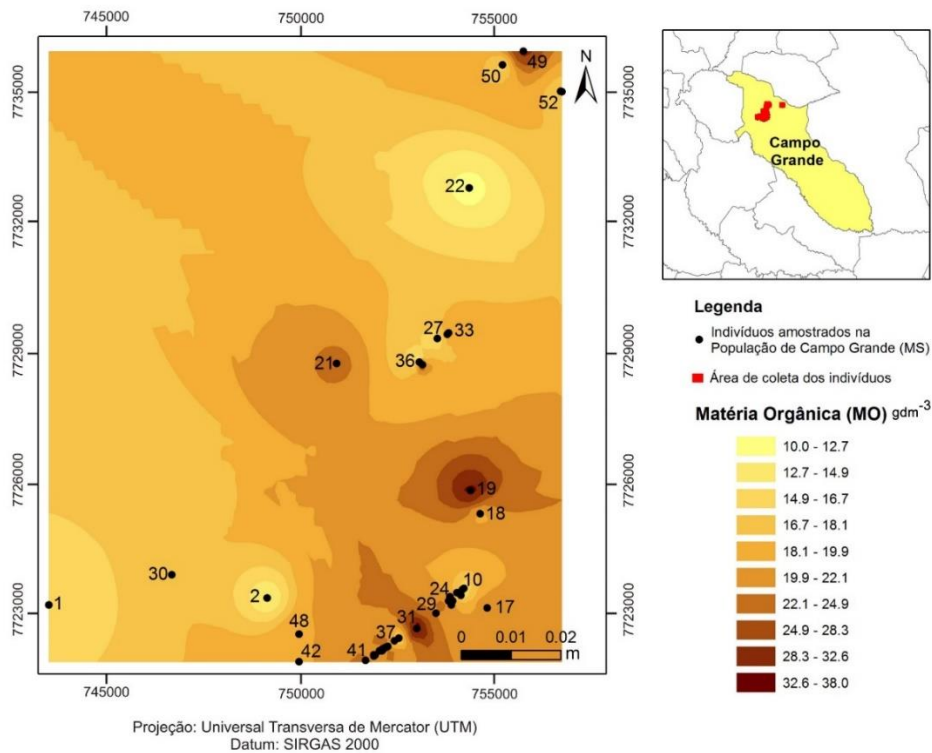
Figura 31 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de *Dipteryx alata* de Campo Grande.



Fonte: Elaboração do autor.

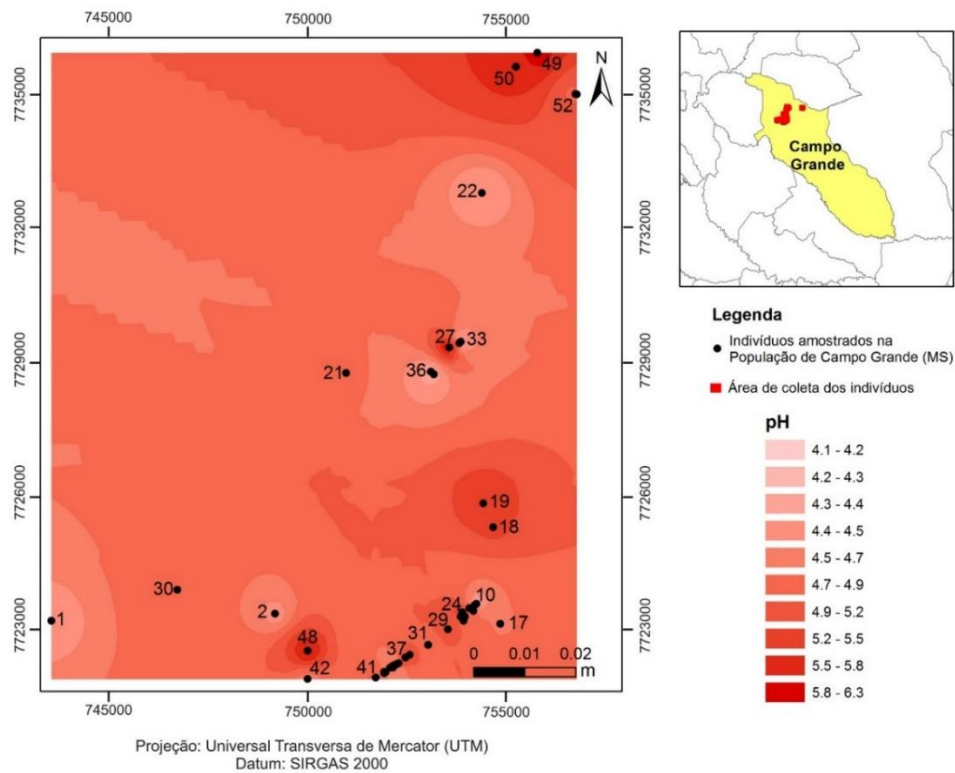
Em relação à distribuição espacial dos atributos (Figuras 32 e 33), observa-se uma grande concentração de indivíduos em uma pequena região. A grande maioria dos indivíduos encontra-se em zonas de concentração mais baixas de matéria orgânica e de pH.

Figura 32 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Campo Grande.



Fonte: Elaboração do autor.

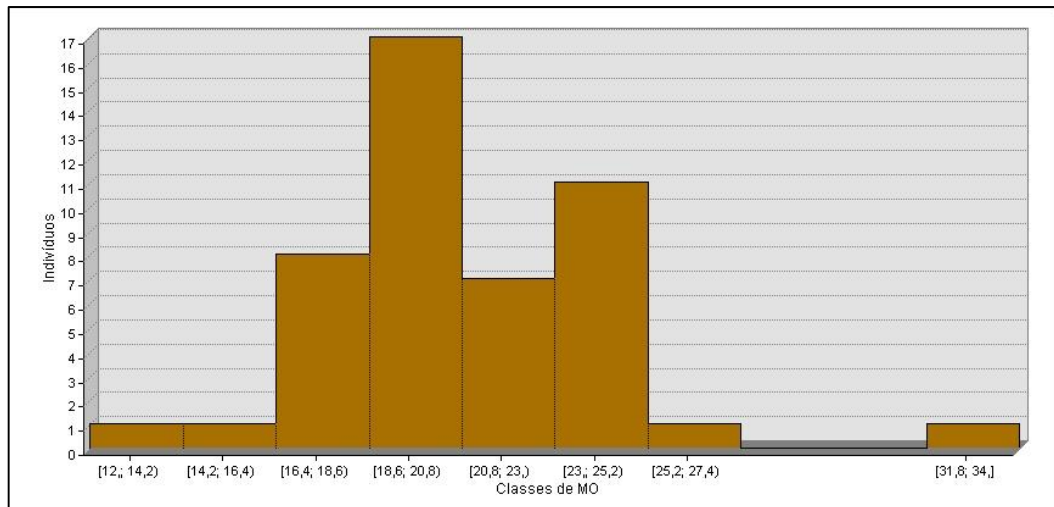
Figura 33 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de *Dipteryx alata* de Campo Grande.



Fonte: Elaborado pelo autor.

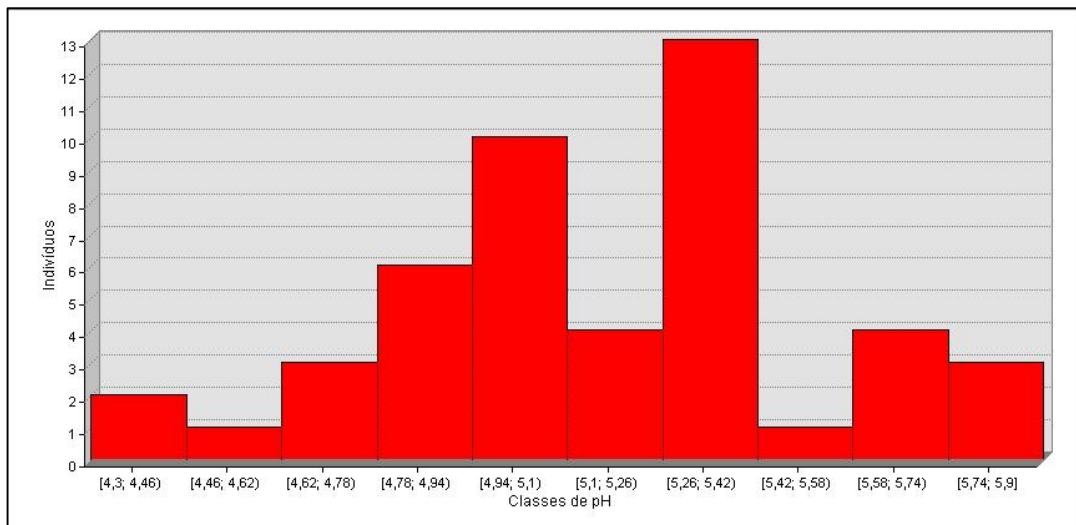
Na população de Campina Verde observou-se valores de MO entre 12 e 34 g dm⁻³, com uma média de 20,68 g dm⁻³. O intervalo para o pH foi de 4,3 a 5,9, com média de 5,17, sendo a população que apresentou melhores médias para estes atributos. A partir das distribuições de classes para os atributos químicos (Figuras 34 e 35), verifica-se que cerca de 57% dos dados para a MO e 47% dos dados para o pH estão abaixo da média.

Figura 34 - Distribuição de frequência para classes de teores de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Campina Verde.



Fonte: Elaborado pelo autor.

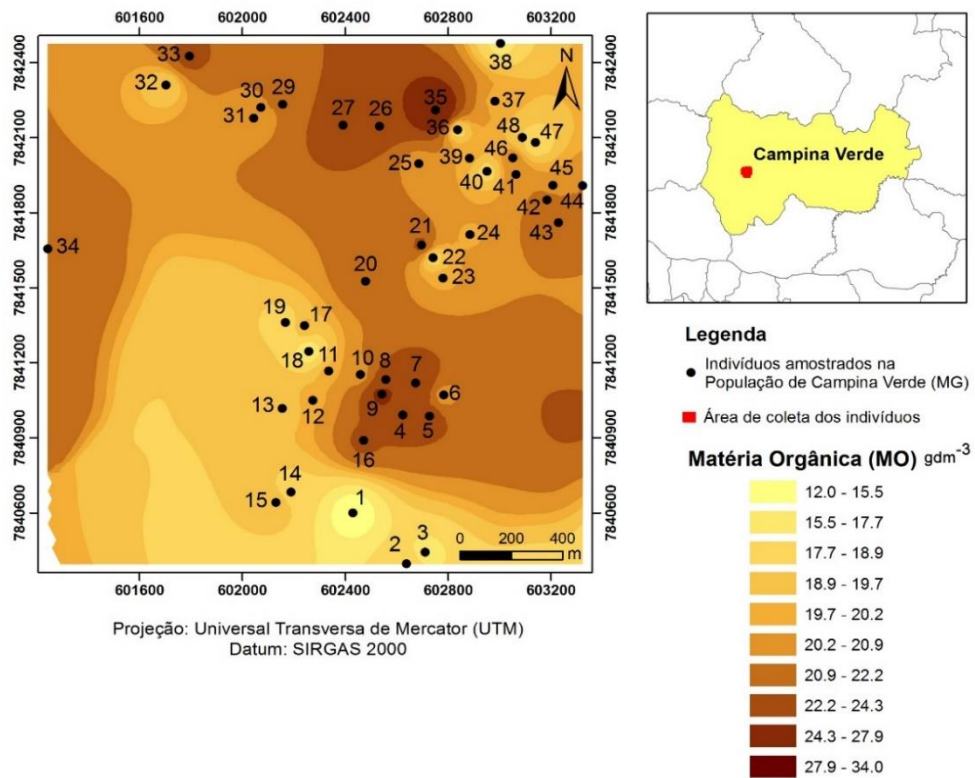
Figura 35 - Distribuição de frequência para classes de pH na população de *Dipteryx alata* de Campina Verde.



Fonte: Elaborado pelo autor.

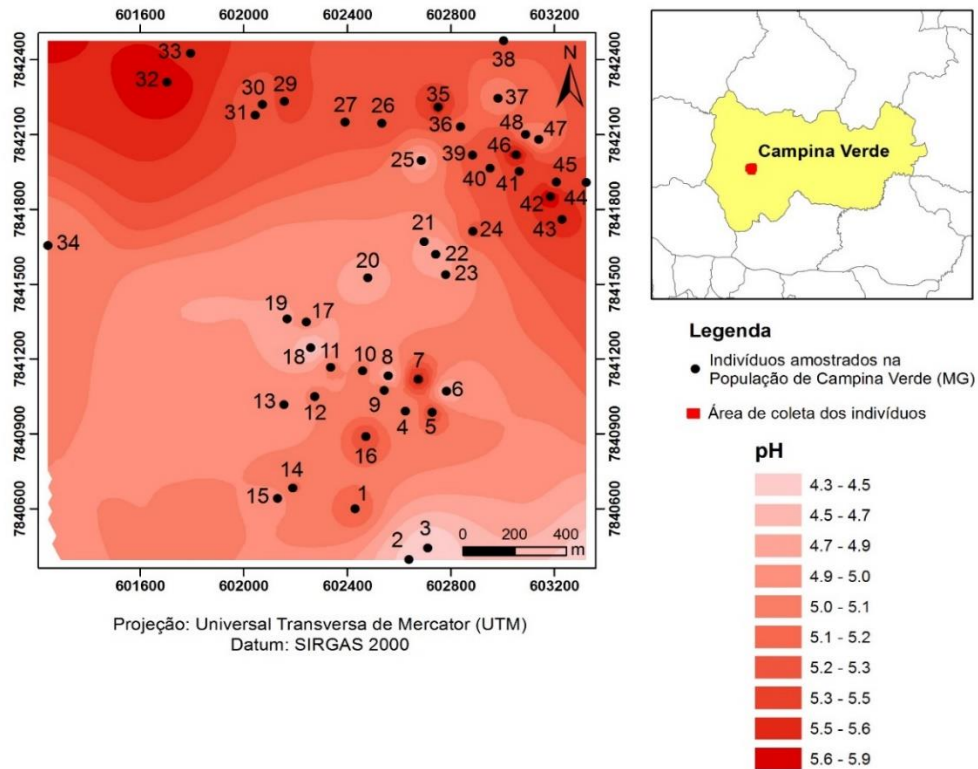
De acordo com a distribuição espacial dos atributos químicos (Figuras 36 e 37), verifica-se que, para o atributo químico matéria orgânica, a maioria da população encontra-se em zonas de menor concentração. Já para o atributo químico pH, a distribuição dos indivíduos é mais uniforme, se dando em zonas intermediárias.

Figura 36 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Campina Verde.



Fonte: Elaborado pelo autor.

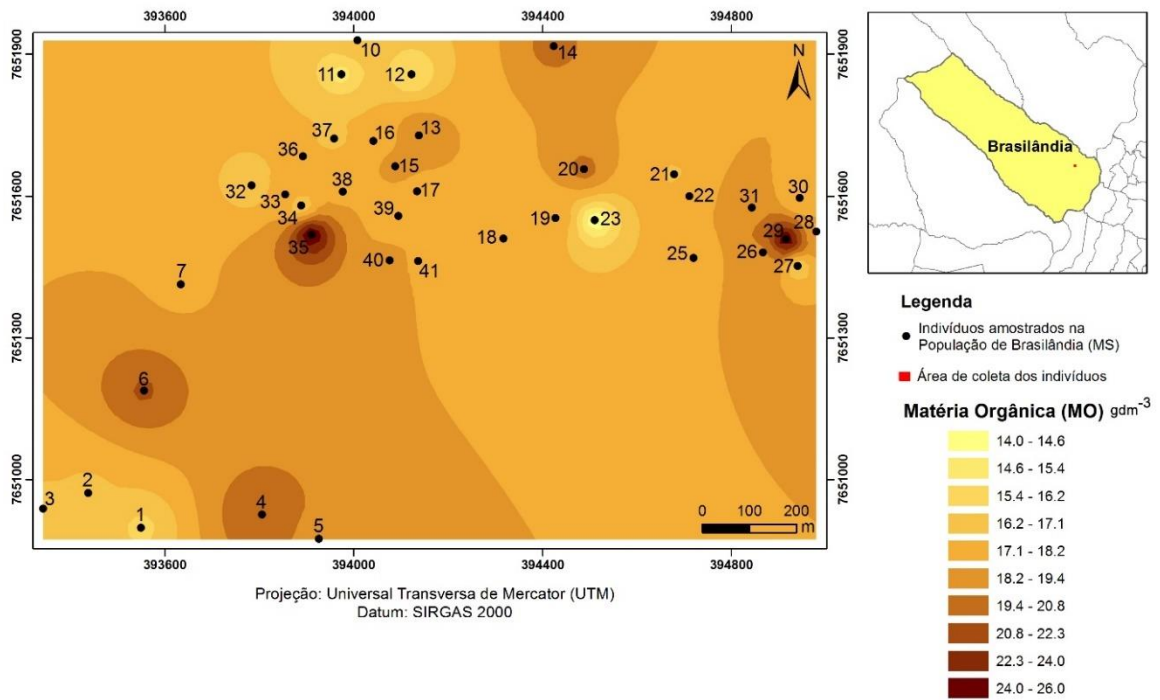
Figura 37 - Distribuição espacial dos valores de pH na população de *Dipteryx alata* de Campina Verde.



Fonte: Elaborado pelo autor.

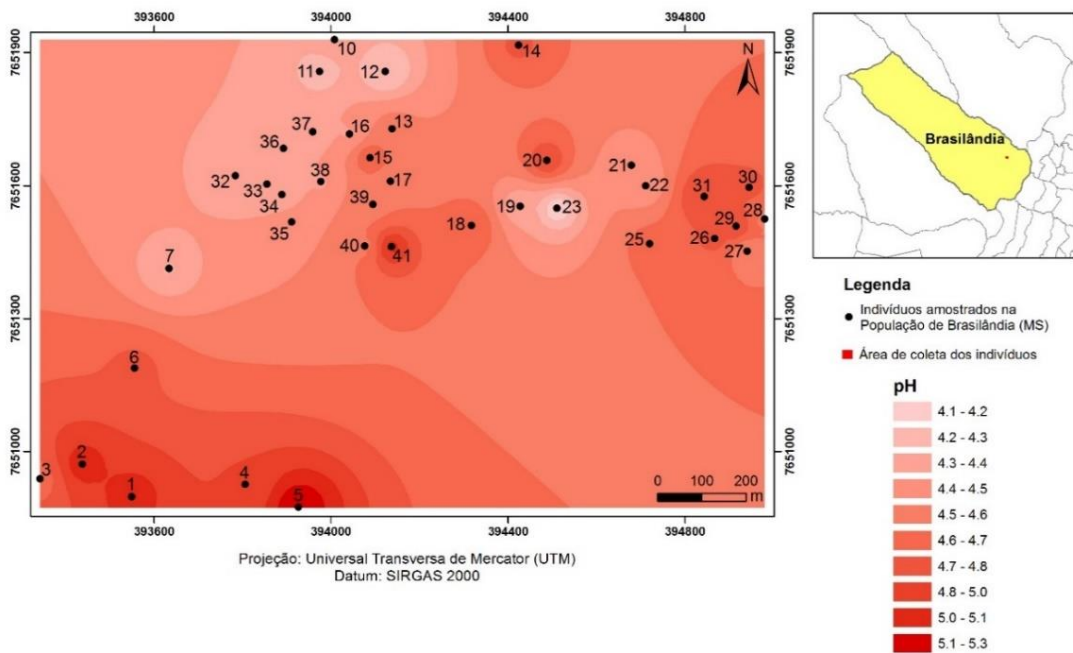
A população de Brasilândia exibiu um intervalo de MO entre 14 e 26 g dm⁻³, com uma média de 18,08 g dm⁻³. Já a faixa para o pH foi de 4,3 a 6,2, com média de 4,61. Através das distribuições de classes para os atributos químicos (Figuras 38 e 39), verifica-se que cerca de 68% dos dados para a MO e 58% dos dados para o pH estão abaixo da média. Esses valores podem ser constatados na distribuição espacial destes atributos. Observa-se que a maioria dos indivíduos da população encontra-se em regiões de baixa concentração de matéria orgânica e alta acidez do solo.

Figura 38 - Distribuição espacial da concentração de matéria orgânica na população de *Dipteryx alata* de Brasilândia.



Fonte: Elaboração do autor.

Figura 39 - Distribuição espacial da concentração de pH na população de *Dipteryx alata* de Brasilândia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os solos das populações estudadas, verificou-se que, em média, o solo referente à população Campina Verde apresentou uma maior fertilidade. O solo da população de Paulo de Faria provavelmente sofreu algum tipo de modificação em virtude das árvores estarem localizadas em regiões onde são cultivadas monoculturas. Em relação ao pH, os valores mínimos encontrados nas seis populações foram muito próximos, variando de 4,1 a 4,3, condições que caracterizam o solo como extremamente ácido. As populações de Paulo de Faria e Campo Grande exibiram os maiores valores pH para seus valores máximo, 6,2 e 6,3, respectivamente. Nessas condições, é considerado que o solo possui uma média acidez.

Há poucos trabalhos que mostram claramente a relação entre a heterogeneidade do solo, em relação aos seus atributos, e o desempenho do crescimento das espécies para estabelecer uma relação de causa e efeito (Sollins 1998, Hall *et al.*, 2004). Esse pode ser um dos motivos pela falta de entusiasmo com a explicação da coexistência das espécies através da partição de nicho (HALL *et al.*, 2004).

Em algumas pesquisas, ainda existe críticas que defendem que dentre as razões do porque as relações entre as propriedades químicas do solo e as características das comunidades de plantas têm sido elusivas está relacionada ao fato de que os poucos remanescentes de florestas estão restritos principalmente a áreas inférteis, que não foram utilizadas na agricultura (Sollins 1998). Entretanto neste estudo, as áreas estudadas não foram consideradas inférteis, pois apresentaram teores de matéria orgânica relativamente altos. E essas áreas não foram utilizadas diretamente por atividades agrícolas.

Muitos remanescentes de florestas possuem heterogeneidade de topografia e composição química de seus solos. Alguns autores, ainda, defendem que pequenas diferenças nas propriedades químicas do solo podem ser fatores determinantes no crescimento da planta e que os solos podem exibir significante heterogeneidade em escalas espaciais intermediárias (HALL *et al.*, 2004).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de autocorrelação espacial por meio do I de Moran se mostrou um método eficiente para esse tipo de análise, fornecendo informações significativas sobre os padrões espaciais das populações de estudo.

O uso de *software* de Sistemas de Informações Geográficas também se mostrou de grande utilidade pois possibilitou o cálculo da estrutura espacial da espécie e a distribuição espacial, através dos mapas, dos atributos químicos do solo. Assim, verificou-se que o padrão espacial de plantas e a caracterização do ambiente, são características importantes de comunidades ecológicas. A distribuição das populações vegetais discutidas nesse estudo representou um bom exemplo de como os padrões podem diferir no contexto espacial.

O método de interpolação (IDW) se mostrou como uma alternativa eficiente no processo de caracterização do solo, por meio de seus atributos químicos, o que proporcionou uma visão geral da atual situação da área de amostragem de cada população estudada.

7 CONCLUSÕES

Os indivíduos das populações de *Dipteryx alata* apresentaram, no geral, distribuição simétrica e mesocúrtica em relação aos caracteres: altura, DAP e DMC, o que é um indicativo da variabilidade presente nessas populações.

As populações de Ituiutaba e Itarumã exibiram padrão de distribuição espacial aleatório, apontando alta variabilidade entre seus indivíduos, deste modo a coleta de sementes para a conservação *ex situ* desta espécie nessas amostras seriam preferencialmente indicadas.

Nas populações de Paulo de Faria, Brasilândia, Campina Verde e Campo Grande, recomenda-se um aumento da amostragem, a fim de obter um padrão que proporcione maior variabilidade entre os indivíduos.

A condição do solo, expressada pelos atributos químicos, MO e pH, é influenciada pela ação antrópica na correção e na degradação do mesmo. De forma geral, os solos analisados apresentaram elevada acidez e teores relativamente baixos de matéria orgânica.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.V.; COELHO, A. G. S.; MOURA, M. F.; MORAES, L. K.; PINHEIRO, J. B.; MORES, M. L. T.; ZUCCHI, M. I.; MOURA, N. F.; VENCOVSKY, R. Autocorrelação espacial de caracteres morfológicos em populações naturais de gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). **Bioscience of Journal**, Uberlândia, v. 20, p. 153-162, 2004.
- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S.M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado**: espécies vegetais úteis. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 464 p.
- ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de estatística e geoestatística**. São Leopoldo: Unisinos, 2003. 165 p.
- BARBOUR, M. G.; BURK, J. H.; PITTS, W. D. **Terrestrial plant ecology**. 2. ed. Califórnia: Benjamim/Cummings, 1987.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 7-18.
- BOHÓRQUEZ, I. A.; CEBALLOS, E. V. Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. **Ecos de Economía**, Medellín, n. 27, p. 9-34, 2008.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (Ed.) **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 26 p.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal**: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV, 2006. 470 p.
- CORRÊA, G. C.; NAVES, R. V.; ROCHA, M. R.; ZICA, L. F. Caracterização física de frutos de baru (*Dipteryx alata* vog.) em três populações nos cerrados do estado de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 2, p. 5-11, 2000.
- CRESSIE, N. A. Statistical for spatial data. **New York**: John Wiley & Sons, 1993. 900 p.
- DALE, M. R. T.; DIXON, P.; FORTIN, M. J.; LEGENDRE, P.; MYERS, D. E.; ROSENBERG, M. S. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. **Ecography**, Copenhagen, v. 25, p. 558-577, 2002.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V. M. análise espacial de dados geográficos. Brasília, DF: Embrapa, 2004.
- DURIGAN, G; FIGLIOLIA, M. B.; KAWABATA, M.; GARRIDO, M. A. O.; BAITELLO, J. B. **Sementes e mudas de árvores tropicais**. São Paulo: Páginas & Letras, 2002. 65 p.
- EITEN, G. Vegetação do cerrado. In: PINTO, M. N. (Ed.). **Cerrado**: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília: SEMATEC, 1994. p. 17-74.

- EPPERSON, B. K.; ALLARD, R. W. Spatial autocorrelation analysis of the distribution of genotypes within populations of Lodgepole Pine. **Genetics**, Austin, v. 121, p. 369-377, 1989.
- FILGUEIRAS, T. S.; SILVA, E. Estudo preliminar do baru. (Leq. Faboideae). **Brasil Florestal**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 22, p. 33-39, 1975.
- FUCKS, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004.
- GREIG-SMITH, M. A. P. **Quantitative plant ecology**. 2. ed. London: Buther Worths, 1964.
- GUARIM NETO, G. Plantas ornamentais de Mato Grosso. **B. FBCN**, Rio de Janeiro v. 21, p. 105-115, 1986.
- HALL, J. S.; MCKENNA, J. J.; ASHTON, M. S.; GREGOIRE, T. G. Habitat characterizations underestimate the role of edaphic factors controlling the distribution of Entandrophragma. **Ecology**, New York, v. 85, p. 2171-2183, 2004.
- HAYWARD, M. D.; HAMILTON, N. R. S. Genetic diversity: population structure and conservation. In: CALLOW, J. A.; FORD-LLOYD, B. V.; NEWBURY, H. J. **Biotechnology and plant genetic resources: conservation and us**. New York: Cab internacional, 1997. p. 49-76, (Biotechnology in agriculture series, 19)
- HIANE, A. P.; RAMOS, M. I. L.; RAMOS FILHO, M. M.; PEREIRA, J. G. Composição centesimal e perfil de ácidos graxos de alguns frutos nativos do Estado de Mato Grosso do sul. **Boletim CEPPA**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 35-42, 1992.
- KAGEYAMA, P. Y.; CUNHA, G. C.; BARRETO, K. D.; GANDARA, F. B.; CAMARGO, F. R. A.; SEBBENN, A. M. Diversidade e autocorrelação genética espacial em populações de *Ocotea odorifera* (Lauraceae). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 108-119, 2003.
- KERSHAW, K. A. **Quantitative and dynamic plant ecology**. 2. ed. New York: American Elsevier, 1973.
- KREBS, C. J. **Ecological methodology**. . 2. ed. Menlo Park: Benjamim/Cummings, 1999.
- LLEIRAS, E. Conservação de recursos genéticos florestais. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal, 1992. p. 1179-1184.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 2. ed., 1998. 368 p.
- LUDWIG, J. A.; REYNOLDS, J. F. **Statistical ecology: a primer on methods and computing**. John Wiley & Sons, 1988.

- MACEDO, M.; FERREIRA, A. R.; SILVA, C. J. Estudos da dispersão de cinco espécies chave em um capão no Pantanal de Poconé, Mato Grosso. In: SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIO-ECONÔMICOS DO PANTANAL, 3., 2000, Corumbá. **Anais...** Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2000. p. 443-451.
- MONTEZANO, Z. F.; CORAZZA, E. J.; MURAOKA, T. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada e manejada homoganeamente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, p. 839-847, 2006.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- NASCIMENTO, N. A.; CARVALHO, J. O. P.; LEÃO, N. V. N. Distribuição espacial de espécies arbóreas relacionadas ao manejo de florestas naturais. **Revista Ciências Agrárias**, Belém, n. 37, p. 175-194, 2002.
- OLIVEIRA FILHO, A. R.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. In: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R.S. (Ed.). *Ecology and natural history of a neotropical savanna: the cerrados of Brazil*. New York: The University of Columbia, 2002. p. 91-120.
- OLIVEIRA, A. N. **Variação genética entre e dentro de procedências de baru (*Dipteryx alata* Vog.)**. 1998. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.
- O’SULLIVAN, D.; UNWIN, D. J. **Geographic information analysis**. 4. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- PÁDUA, J. G.; BEARZOT, E.; TORRES, G. A.; DAVIDE, L. C.; ROSADO, S. C. S. Diversidade e estrutura genética de três procedências de baru (*Dipteryx alata* Vog.) por meio de RAPD. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 11., 1998, Lavras, **Anais...** Lavras: [s. n.], 1998. p. 129.
- PAOLI, G. D.; CURRAN, L. M.; ZAK, D. R. Soil nutrients and beta diversity in the Bornean Dipterocarpaceae: evidence for niche partitioning by tropical rain forest trees. **Journal of Ecology**, Chichester, n. 94, p. 157-170, 2006.
- PERRY, J. N.; DIXON, P. M. A new method to measure spatial association for ecological count data. **Ecoscience**, Philadelphia, v. 9, n. 2, p. 133-141, 2002.
- PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984. v. 2, p. 476-477.
- RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.
- RANGEL-CH, J. O.; LOWY-C, P. D.; AGUILAR-PUENTES, M.; GARZON-C, A.; HAMMEN, T. van der. **Colombia diversidad biótica 11: tipos de vegetacion en Colombia**. Santafe de Bogota: Universidad Nacional de Colombia, 1997. 436 p.

RATTER, J. A.; RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S. The brazilian cerrado vegetation end threats to biodiversity. **Annals of Botany**, Oxford, v. 80, p. 223-230, 1997.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 1998. p. 87-166.

RIZZINI, C. T. **Árvores e madeiras úteis do Brasil**. Manual de dendrologia brasileira. São Paulo: Edusp, 1971. 294 p.

ROCHA, M. G. B.; ROCHA, D.; CLEMENTE, V. M. Teste de procedências e progênies de baru (*Dipteryx alata* Vog.). In: ROCHA, M. G. B. **Melhoramento de espécies arbóreas nativas**. Belo Horizonte: DDFS/Instituto Estadual de Florestas, 2002. p. 29-40.

RODE, R.; FILHO, F. A.; MACHADO, S. A.; GALVÃO, F. Análise do padrão espacial de espécies e de grupos florísticos estabelecidos em um povoamento de *Araucaria angustifolia* em uma Floresta Ombrófila Mista no Centro-Sul do Paraná. **Floresta**, v. 40, n. 2, p. 255-268, 2010.

RESENDE, M. D. V. **SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007.

ROSETO, V.; ARAÚJO, J. S.; SFAIR, J. C.; LATINI, A. O. **Avaliação da distribuição espacial de espécies arbóreas em um fragmento de Cerrado do município de Itirapina, SP**. [S. l.: s. n.], 2005.

SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F.; BRITO, M. A. **Baru: biologia e uso**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 52 p.

SEBBENN, A. M. **Estrutura genéticas de subpopulações de *Genipa americana* L. (Rubiaceae) a partir de isoenzimas**. 1997. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

SILVA, A. M.; CANUTO, D. S. O.; AGUIAR, A.V., MORAES, M. L. T. Autocorrelação espacial em uma população natural de piqui (*Caryocar brasiliense* Camb.) em área degradada. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. p.14233-14243.

SILVA, M. B.; KLIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, DF, v. 42, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, J. A.; SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. Frutas nativas dos cerrados. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 1994. 166 p.

SILVA, J. A.; SILVA, D. B.; JUNQUEIRA, N. T. V.; ANDRADE, L. R. M. **Coleta de sementes, produção de mudas e plantio de espécies frutíferas nativas dos cerrados: informações exploratórias**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1997. 23 p.

SIQUEIRA, A. C. M. F.; NOGUEIRA, J. C. B. Essências brasileiras e sua conservação genética no Instituto Florestal de São Paulo. p.1187-1192. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s. n.], 1992. 434 p.

SOLLINS, P. Factors influencing species composition in tropical lowland rain forest: Does soil matter? **Ecology**, New York, v. 79, p. 23-30, 1998.

SOUZA, L. M. F. I. **Estrutura genética de populações de *Chorisia speciosa* St. Hil. (Bombacaceae) em fragmentos florestais na região de Bauru (SP) – Brasil.** 1997. 76 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

WALLER, L. A.; GOTWAY, C.A. **Applied Spatial Statistics for public health data.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais.** São Paulo: USP, 2001. 226 p.

ZARUMA, D. U. G.; CANUTO, D. S. O.; PUPIN, S.; CAMBUIM, J.; SILVA, A. M.; MORI, E. S.; SEBBENN, A. M.; MORAES, M. L. T. Variabilidade genética em procedências de *Dipteryx alata* Vogel para fins de conservação genética e produção de sementes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 107, p. 609-615, 2015.