

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO
EM ESTATÍSTICA E MODELAGEM QUANTITATIVA**

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE
FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NA FLONA DE
IRATI, PR.**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Gerson dos Santos Lisboa

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NA FLONA DE IRATI, PR

por

Gerson dos Santos Lisboa

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Especialista em Estatística**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ivanor Muller - UFSM

**Santa Maria, RS, Brasil
2014**

Ficha catalográfica/dados de direitos autorais

Ficha catalográfica elaborada por
Nome do(a) bibliotecário(a) e número do CRB.
Biblioteca Central da UFSM (acrescentar quando for bibliotecário da instituição)

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Gerson dos Santos Lisbôa. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Doze, n. 2010, Bairro da Luz, Santa Maria, RS. CEP: 97110-680

Fone (0xx)55 32225678; Fax (0xx) 32251144; E-mail: ufesme@ct.ufsm.br

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa**

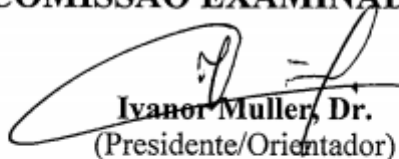
A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
Aprova a Monografia de Especialização

**PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA NA FLONA DE IRATI, PR**

elaborada por:
Gerson dos Santos Lisbôa

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Estatística

COMISSÃO EXAMINADORA:


Ivanor Muller, Dr.
(Presidente/Orientador)


Enio Junior Seidel, Dr. (UFSM)


Fernando de Jesus Moreira Junior, Dr. (UFSM)

Santa Maria, 31 de janeiro de 2014.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

CAP	Circunferência a Altura do Peito (1,3 m do nível do solo)
Cfb	Clima subtropical temperado sempre úmido com verões brandos
DAP	Diâmetro a Altura do Peito (1,3 m do nível do solo)
DBH	Diameter Breast Height
d_i	Diâmetro
DSG	Diretoria de Serviço Cartográfico
FOM	Floresta Ombrófila Mista
g_i	Área da seção transversal
G_i	Somatória das seções transversais ou área basal/ ha
GPS	Global Positioning System
H	Altura
ha	Hectare
hc	Altura Comercial
ht	Altura Total
IAD	Incremento Acumulado em Diâmetro
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.
IBDF	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
FLONA	Floresta Nacional
N	Norte
K-S	Kolmogorov-Smirnov
NE	Nordeste
PMD	Ponto de Medição
PPGEMQ	Programa de Pós - Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa
PR	Paraná
RM	Razão de Movimentação
S	Sul
SC	Santa Catarina
SPVS	Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNICENTRO	Universidade Estadual do Centro Oeste
UC	Unidade de Conservação
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System from 1.984
“X”	Abscissa, coordenada horizontal de um referencial plano de coordenadas cartesianas.
“Y”	Ordenada, coordenada vertical de um referencial plano de coordenadas cartesianas.

DEDICO COM CARINHO E GRATIDÃO

Aos meus avós paternos, Octávio Francisco Lisboa e Maria Karpinski Lisboa (*in memorian*), meus avós maternos Moisés Romualdo dos Santos e Maria Lipovieski dos Santos (*in memorian*), pessoas vencedoras, que mesmo enfrentando grandes dificuldades em suas vidas, nunca desistiram de lutar por seus ideais.

Aos meus pais Romeu Karpinski Lisboa e Zenaide dos Santos Lisboa.

Aos meus irmãos Gilmara dos Santos Lisboa e Jonatan dos Santos Lisboa.

Ao meu amor Camila Mariah Magri Pescador.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que permitiu a realização deste trabalho concedendo saúde, proteção e conforto nas horas de maior dificuldade.

Aos meus Pais Romeu Karpinski Lisboa e Zenaide dos Santos Lisboa pelo incentivo e encorajamento nessa longa jornada acadêmica.

A Camila Mariah Magri Pescador, pelo amor, paciência, compreensão e carinho em todos os momentos.

Ao Professor Dr. Ivanor Müller (UFSM), pela orientação, incentivo e interesse na condução deste trabalho, repassando seus conhecimentos e experiências.

Ao Técnico em Segurança do Trabalho Jonatan dos Santos Lisboa pela valiosa colaboração durante os trabalhos de campo.

Ao Engenheiro Agrônomo Jorge Diefenthaeler pela amizade, o cafezinho.

Ao Engenheiro Florestal Francisco de Souza Weber pela amizade e a colaboração nos trabalhos científicos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa da UFSM, que sempre estiveram dispostos em repassar seus conhecimentos e experiências, sendo peças chave no desenvolvimento deste trabalho.

“Invictus”

Out of the night that covers me,
Black as the pit from pole to pole,
I thank whatever gods may be
For my unconquerable soul.

In the fell clutch of circumstance
I have not winced nor cried aloud.
Under the bludgeonings of chance
My head is bloody, but unbowed.

Beyond this place of wrath and tears
Looms but the Horror of the shade,
And yet the menace of the years
Finds and shall find me unafraid.

It matters not how strait the gate,
How charged with punishment the scroll,
I am the master of my fate,
I am the captain of my soul.

Autor: William E. Henley

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1.1 Justificativa	15
OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral.....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
2.3 Hipóteses.....	16
REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Características da Floresta Ombrófila Mista	17
3.2 Amostragem	17
3.3 Crescimento das árvores	18
3.4 Ingresso de indivíduos na classe inicial de diâmetro	19
3.5 Mortalidade	20
3.6 Estrutura diamétrica da floresta.....	20
3.7 Matriz de Transição	22
3.7 Razão de Movimentação	23
3.9 Teste de aderência	23
MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Descrições da área de estudo	25
4.1.1 Localização	25
4.1.2 Clima da região.....	26
4.1.3 Vegetação	27
4.2 Material e equipamentos.....	27
4.3 Metodologia.....	27
4.3.1 Coleta de dados.....	27
4.3.2 Amostragem	29
4.3.3 Obtenção das variáveis dendrométricas	30
4.4 Dinâmica da floresta.....	30
4.5 Estrutura diamétrica	31
4.6 Matriz de Transição e prognose	31
4.7 Razão de movimentação.....	36
4.8 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov	37
RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 Amostragem e suficiência amostral	39
5.2 Estrutura diamétrica.....	40
5.3 Mudança na Matriz de Transição.....	41
5.3.1 Prognose para matriz de transição	46
5.3.2 Prognose para razão de movimentação	47
CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 Localização da FLONA na microrregião de Irati, PR.	25
Figura 02 Mapa de localização dos limites da FLONA de Irati, PR.	26
Figura 03 Localização dos limites das unidades amostrais sobre a imagem Ikono II.	28
Figura 04 Subdivisão de uma unidade amostral e o sentido de caminamento na obtenção dos dados.	28
Figura 05 Medição da circunferência a 1,30 m a partir do nível do solo (CAP) em uma árvore de <i>Araucaria angustifolia</i>	30
Figura 06 Distribuição de Frequência por centro de classe de diâmetro nos períodos de 2002, 2005, 2008 e 2011.	41
Figura 07 Frequência observada e estimada por classe de diâmetro nos períodos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 Número de indivíduos por classe de DAP nos períodos de 2002 a 2011.	40
Tabela 02 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (<i>i</i>) para o estado (<i>j</i>) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 3 anos.	43
Tabela 03 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (<i>i</i>) para o estado (<i>j</i>) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 6 anos.	44
Tabela 04 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (<i>i</i>) para o estado (<i>j</i>) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 9 anos.	45
Tabela 05 Classes de dap, frequências observadas e estimadas por meio da matriz de transição.	46
Tabela 06 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2005 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 3 anos.	48
Tabela 07 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2008 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 6 anos.	49
Tabela 08 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2011 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 9 anos.	50

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa
Universidade Federal de Santa Maria

PROJEÇÃO DIAMÉTRICA EM REMANESCENTE DE FLORESTA OMBRÓFILA MISTA NA FLONA DE IRATI, PR

O presente estudo teve como objetivo avaliar a acuracidade das projeções diamétricas em Floresta Ombrófila Mista (FOM), utilizando os modelos da Matriz de Transição e Razão de Movimentação, aplicados em amplitudes temporais de três, seis e nove anos, sendo aplicado uma amplitude de classe diamétrica 10 cm. A área de estudo localiza-se na Floresta Nacional de Irati, PR, entre os municípios de Irati, Fernandes Pinheiro, Teixeira Soares e Ibituva, região centro-sul do Paraná. A amostragem foi dividida em 25 unidades amostrais (conglomerados) de 100 m x 100 m (1 ha), subdivididos em 50 m x 50 m (0,25 ha), cada subunidade foi dividida em cinco faixas de controle de 10 m x 50 m, totalizando 20 faixas de 0,05 ha. Utilizou-se faixas de controle de 10 m x 50 m nas unidades, onde cada indivíduo arbóreo foi numerado, identificado, mapeado, e medido o dap (diâmetro a altura do peito 1,30 m a partir do nível do solo) ≥ 10 cm. O estudo mostrou os mecanismos de transformação da floresta em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, conservada nos últimos 70 anos. A intensidade de amostragem foi de 1,24%, e o número ideal de unidades amostrais foi de 11 ha. O erro médio de amostragem para os quatro períodos foi de 6,26%. A área basal variou de 28,68 m² ha⁻¹ à 30,64 m² ha⁻¹. A eficiência das projeções foi verificada com base nos valores observados e estimados, adotando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov. Embora tenham sido influenciadas pelas Propriedades Markovianas, as projeções realizadas mostraram eficiência para descrever a estrutura futura da floresta, sendo que o modelo da Razão de Movimentação gerou projeções menos eficientes quando comparadas às projeções efetuadas pela Matriz de Transição. A amplitude temporal de 3, 6 e 9 anos apresentou o resultado mais acurado para o modelo de Matriz de Transição, superestimando em 0,1%, 1,07% e 1,23% (2005, 2008 e 2011 respectivamente), aceitando H₀ para ambas as projeções. Os resultados foram menos acurados para o Modelo de Razão de Movimentação, subestimando em 1,81%, 2,98% e superestimou em 0,66% (2005, 2008 e 2011, respectivamente) o número total de indivíduos da floresta, aceitando H₀, apenas para o ano de 2005, conforme indicado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

Palavras-Chave: Floresta com Araucaria, Estrutura diamétrica, Prognose.

ABSTRACT

Monografia de Especialização
Programa de Pós-Graduação em Estatística e Modelagem Quantitativa
Universidade Federal de Santa Maria

DIAMETRIC PROJECTION IN REMAINING OF MIX OMBROPHILOUS FOREST IN FLONA OF IRATI, PR

The present study aimed to evaluate the accuracy of diametric projections in Mix Ombrophilous Forest, employing models of Transition Matrix and Movement Ratio, applied in three temporal amplitudes and three, six and nine years, being applied an amplitude of diameter class 10 cm. The study area is located in the National Forest of Irati, PR between the cities of Irati, Fernandes Pinheiro, Teixeira Soares and Imbituva, south central of Paraná. The sample was divided into 25 sampling units (clusters) of 100 m x 100 m (1 ha), subdivided into 50m x 50 m (0.25 ha), each subunit was divided into five control ranges of 10 m x 50 m, totaling 20 ranges of 0.05 ha. It was used control ranges of 10 m x 50 m in the units, each individual tree was numbered, identified, mapped and measured dbh (diameter at breast height 1.30 m from ground level) ≥ 10 cm. The general objective was to investigate the mechanisms of transformation of forest into a fragment of Mix Ombrophilous Forest, preserved in 70 years. The sampling rate was 1.24%, and the optimal number of sampling units was 11 ha. The average error of sampling for the four periods was 6.26%. The basal area ranged from 28.68 m² ha⁻¹ to 30.64 m² ha⁻¹. The efficiency of the projections was verified based on the observed and estimated values, adopting Kolmogorov-Smirnov test. While they have been influenced by the Markovian property, the projections showed efficiency describing future forest structure, and the model Movement Ratio generated projections less efficient compared to the projections made by the Transition Matrix. The temporal amplitude of 3, 6 and 9 years presented the most accurate results to model the Transition Matrix, overestimating by 0.1%, 1.07% and 1.23% (2005, 2008 and 2011 respectively), accepting H_0 for both projections. The results were less accurate for Model of Movement Ratio, underestimating by 1.81%, 2.98% and overestimated by 0.66% (2005, 2008 and 2011, respectively) the total number of individuals in the forest, accepting H_0 , only for the year 2005, as the adherence test of Kolmogorov-Smirnov.

Key words: Forest with Araucaria, Diametric Structure, Prognosis.

INTRODUÇÃO

No Brasil, as técnicas de manejo florestal têm sido pouco utilizadas em florestas nativas com *Araucaria*, sendo que estas florestas historicamente foram exploradas de forma desordenada e com pouca ou nenhuma preocupação em deixar para as gerações futuras florestas que garantissem sua sustentabilidade.

Segundo Péllico Netto e Brena (1997) as regiões Sudeste e Sul do país têm hoje problemas de equilíbrio ecológico, *déficit* de matéria-prima para alguns setores industriais, principalmente, da *Araucaria angustifolia*, cujas reservas estão se esgotando aceleradamente.

Considerando-se a grande importância que essas regiões têm para a população, o conhecimento dos seus recursos florestais é fundamental para a tomada de decisões pelos pequenos proprietários, empresários, indústrias, municípios, estados e pelo poder nacional.

Para Schneider e Finger (2000) as florestas devem ser estudadas para propiciar o conhecimento e a manutenção da biodiversidade, assim como, para que se viabilize a exploração de seus produtos, bens e/ou serviços provenientes de forma planejada e racional, para garantir o fluxo contínuo desses recursos.

O estudo da dinâmica em um fragmento florestal é realizado por meio de parcelas permanentes alocadas dentro da área de interesse, avaliando crescimento, danos produzidos por insetos ou pragas, ações antrópicas, mortalidade, ingresso e composição florística. Para Figueiredo Filho et al. (2010) as estimativas desses parâmetros são obtidas, principalmente, por meio de inventário florestal contínuo com parcelas permanentes monitoradas a médio e longo prazo. Assim, o estudo da dinâmica pode possibilitar o entendimento dos processos por meio dos quais ocorrem as mudanças, em níveis de espécies e para a floresta como um todo.

Pulz et al. (1999) enfatizam que um dos instrumentos mais utilizados para auxiliar no planejamento florestal, são os modelos de produção. Embora estes impliquem em uma simplificação da realidade, é extremamente útil para o administrador florestal, obter a prognose da distribuição diamétrica das árvores, possibilitando várias ações, dentre elas, a definição do ciclo de corte e a avaliação da viabilidade econômica do manejo. Leslie (1945, 1948) foi o primeiro a fazer uso da matriz de transição, realizando estudos sobre mortalidade e fertilidade em populações animais, baseados em classes de idade.

A matriz de Transição, Cadeia de Markov, ou Matriz de Usher, tem sido aplicada na modelagem de sistemas complexos em diferentes áreas do conhecimento. Na área florestal,

Usher (1966) aplicou a Cadeia de Markov em povoamento de *Pinus sylvestris*, na Escócia. No Brasil, os primeiros trabalhos que utilizaram o método na prognose de florestas inequidâneas começaram na Amazônia (HIGUCHI, 1987).

A Cadeia de Markov ou Matriz de Transição é um importante instrumento para viabilizar a prognose da produção em florestas nativas. A prognose a partir deste modelo é feita através da estimativa da probabilidade de transição dos diâmetros entre classes diamétricas, ou seja, para projetá-los para o futuro, a partir da matriz de probabilidade de transição. As probabilidades da matriz de transição em um determinado período de medição são obtidas pela razão das mudanças ocorridas em uma classe diamétrica, tais como: árvores que mudaram de classe, árvores mortas e as que permaneceram na classe, pelo número de árvores existentes na classe no início do período de crescimento (SCOLFORO, 1994).

Dentre as tecnologias para a realização da prognose da distribuição diamétrica, destacam-se os métodos de transição e o da razão de movimentação. Ambos podem ser usados para a elaboração de modelos de produção. A matriz de transição parte do pressuposto de que uma árvore em uma determinada classe de diâmetro tem a probabilidade de se deslocar para a classe seguinte (SCOLFORO et al., 1998).

1.1 Justificativa

As florestas nativas possuem grande complexidade em sua composição, grande número de espécies com diferentes características silviculturais, ecológicas e tecnológicas. Poucas são as informações sobre a dinâmica destas florestas, como elas crescem.

O conhecimento ainda incipiente sobre a Floresta Ombrófila Mista, associado às técnicas estatísticas, podem ser utilizadas em processos de restabelecimento desses ecossistemas.

O uso da Matriz de Transição e Razão de Movimentação é uma alternativa para os estudos de crescimento de florestas nativas, uma vez que, ao contrário dos modelos clássicos usados em florestas plantadas, não se apoia em variáveis de difícil acesso em florestas inequidâneas, tais como idade e índice de sítio.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo avaliar a acuracidade das projeções da distribuição diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista, empregando os modelos da Matriz de Transição e Razão de Movimentação, aplicados em diferentes amplitudes de tempo.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a distribuição diamétrica da floresta no período de 2002 à 2011;

Obter a probabilidade de transição em cada período avaliado;

Realizar a projeção da estrutura diamétrica por meio da Matriz de Transição e Razão de Movimentação;

Comparar as projeções realizadas pelos métodos de Matriz de Transição e Razão de Movimentação.

2.3 Hipóteses

A pesquisa propõe responder as seguintes perguntas:

Qual a variação da estrutura diamétrica ao longo do período?

Como a dinâmica da floresta afeta a probabilidade de transição de uma classe para outra?

REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Características da Floresta Ombrófila Mista

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é um ecossistema florestal típico da região sul do Brasil, tendo como principal característica a presença da Araucaria. Esta tipologia florestal também é conhecida empiricamente como Floresta com Araucaria e/ou Mata dos Pinheirais. O termo Floresta Ombrófila Mista foi inicialmente utilizado por Veloso e Goés Filho (1982) e adotado pelo IBGE (1992) na classificação fisionômico-ecológica da vegetação brasileira.

Segundo Roderjan et al. (2002), a FOM é uma unidade fitoecológica que contempla a coexistência de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), tem marcada relevância fisionômica de elementos Coniferales e Laurales, onde domina *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (Araucariaceae), espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico. Compreende as formações florestais típicas e exclusivas dos planaltos da região Sul do Brasil, com disjunções na região Sudeste e em países vizinhos (Paraguai e Argentina). Encontra-se predominantemente entre as altitudes de 700 e 1200 m, podendo eventualmente ocorrer acima desses limites.

Para Roderjan et al. (2002), na Floresta Ombrófila Mista Montana (600 a 1200 m de altitude), a *Araucaria angustifolia* forma um estrato dominante e contínuo acima de 30 metros de altura, podendo ocorrer indivíduos emergentes acima de 40 metros. Em estudos realizados por Longhi (1980), estão associadas à Araucaria, na sua formação típica, diversas espécies, entre elas: *Ilex dumosa* Reissek. (Cauninha), *Matayba elaeagnoides* Radlk. (Camboatá-branco), *Cinnamodendron dinisii* Schwacke (Pimenteira), *Nectandra grandiflora* Nees (Canela-amarela), *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso (Imbuia) e *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg (Guabiroba).

3.2 Amostragem

Segundo Péllico Netto e Brena (1997), os processos de amostragem referem-se à abordagem da população, sobre um conjunto de unidades amostrais. Os inventários florestais assumem fundamental importância, uma vez que o sucesso das decisões depende do grau de confiabilidade e da quantidade de informações obtidas sobre estes recursos. Para conhecer as alterações ao longo do tempo em uma determinada área florestal, bem como seu

comportamento, faz-se necessário a realização de inventários florestais contínuos (BRENA, 1979).

A intensidade e o tamanho da unidade amostral influenciam na investigação das variáveis de interesse. A amostragem deve ser suficientemente grande para representar adequadamente a variável contínua de interesse (diâmetro a altura do peito a 1,30 m do solo= dap, estrutura diamétrica, área basal por hectare= $G_i \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, altura total, altura comercial e volume) ou mesmo a variável discreta (diversidade de espécies, número de ingresso, número de mortalidade). O tamanho das parcelas recomendadas por Alder e Synnott (1992), e Vanclay (1994), são de um (01) hectare, para levantamentos estruturais e avaliações dos processos dinâmicos em florestas nativas.

3.3 Crescimento das árvores

O crescimento é o aumento das dimensões das árvores, podendo ser em diâmetro, área basal, altura, volume, biomassa (SCOLFORO, 1994). Consequentemente indica as alterações ocorridas na composição e estrutura da floresta. O estudo do crescimento permite entender os “processos de mudanças da estrutura da floresta” (para uma espécie ou para um conjunto de espécies).

O crescimento é o incremento gradual de um organismo vivo, população ou objeto em um determinado período de tempo. É o crescimento ocorrido até uma determinada idade, que representa o rendimento correspondente a essa idade (PRODAN et al., 1997). O desenvolvimento de métodos de predição de crescimento tem sido papel preponderante para os pesquisadores florestais, pois pode-se medir o crescimento ocorrido em um determinado período de tempo com precisão através de parcelas permanentes.

Para Prodan et al. (1997), o crescimento das árvores está influenciado por suas características genéticas e suas inter-relações com o meio ambiente, fatores climáticos, topográficos, o que em suma representa a concepção do estudo e qualidade do sítio. Além destes fatores, a competição entre indivíduos é um fator muito importante na avaliação do crescimento nas dimensões das árvores.

O crescimento em diamétrico refere-se ao aumento do diâmetro de uma árvore em um determinado período de tempo. Este crescimento é também denominado de crescimento secundário. Em geral, primeiro a árvore cresce em altura e depois em diâmetro. Este crescimento é influenciado principalmente pelo espaço vital que a planta tem para se desenvolver.

O crescimento em área basal é avaliado em função da medição do diâmetro. É importante ressaltar que um crescimento constante por ano da área basal significa que o crescimento diamétrico vem diminuindo (ENCINAS et. al., 2005).

3.4 Ingresso de indivíduos na classe inicial de diâmetro

Os ingressos ou recrutamento são considerados como sendo o número de árvores que atingiram ou ultrapassaram o diâmetro mínimo pré-estabelecido (5, 10, 30 cm), em cada medição, a partir da segunda medição.

Para Scolforo et al. (1998) consideram como ingresso todas as árvores que no segundo período de medição atingiram as dimensões mínimas pré-estabelecidas.

Vanclay (1994) diferencia os termos de regeneração e recrutamento, sendo que regeneração é a renovação de florestas por meios naturais ou artificiais (semeadura, plantio), enquanto que o recrutamento refere-se aos indivíduos que alcançaram um tamanho pré-determinado em diâmetro e/ou em altura.

Segundo Colpini et al. (2010) o número de ingressos deve ser dividido pelo número de anos do intervalo entre as medições para obter o número de ingressos por hectare por ano. A partir do valor do número de ingresso, obtém-se a percentagem anual de ingressos, pela relação entre o número de novos indivíduos em cada medição e o número de árvores presentes na medição anterior. O recrutamento mantém a floresta com novas árvores, podendo ou não compensar as árvores que morreram durante o período avaliado (CHAGAS, 2000).

Segundo Alder e Synnott (1992) ingresso é o processo pela qual as árvores "aparecem" nas classes diamétricas mensuráveis por crescerem acima do diâmetro mínimo considerado. O ingresso está diretamente ligado à regeneração, mas não são sinônimos, pois a regeneração é o processo, pelo qual, novas árvores são adicionadas à população através da germinação das sementes. Os mesmos autores citam que adicionalmente ao fato da palavra regeneração definir um processo, pode-se também ser usada para se referir às árvores com diâmetro menor que o limite de medição.

Quando há ocorrência de clareiras na floresta é um fator importante na manutenção da heterogeneidade destes ambientes. Estudos sobre distúrbios naturais nas florestas indicam que as clareiras são um fenômeno frequente e que sua ocorrência resulta nos aparentes mosaicos vegetais de diversas idades. Quando a clareira é de pequeno tamanho, o ingresso não é abundante porque, normalmente, espécies de crescimento lento e tolerante à sombra ocupam a clareira. Inversamente, as perturbações pesadas tais como aquelas causadas pela exploração,

geralmente, resultam em germinação e crescimento de grande número de espécies pioneiras de rápido crescimento, que logo crescem até o mínimo tamanho de medição (MENDONÇA, 2003).

3.5 Mortalidade

No processo natural das florestas as árvores morrem continuamente, abrindo espaço para que novos indivíduos surjam. Este processo natural pode ser demonstrado quando analisa-se a distribuição diamétrica formando uma curva exponencial negativa pelas florestas nativas, que mostra que apenas uma pequena fração da regeneração (0-10 cm de DAP) sobreviverá até atingir dimensões comerciais. Em parcelas permanentes, a mortalidade é considerada através do cômputo das árvores que morreram (ALDER e SYNNOTT, 1992).

A mortalidade pode ser classificada em duas categorias: regular e irregular. A mortalidade regular é causada, principalmente, devido à competição, à supressão e ao próprio envelhecimento da árvore. A mortalidade irregular, que é menos frequente, é provocada por fenômenos adversos como a incidência de pragas, doenças, fogo, vento, enchente, temperatura, seca e outras causas de ocorrência irregular, ou seja, a mortalidade regular é previsível, a irregular não (PULZ, 1998).

3.6 Estrutura diamétrica da floresta

As florestas inequidâneas são originadas da regeneração natural, de maneira contínua, onde são encontradas árvores com idades diferentes. Quando a floresta está em equilíbrio dinâmico, ocorre regeneração, crescimento e mortalidade, em consequência, a estrutura diamétrica apresenta-se na forma exponencial negativa, indicando que uma grande quantidade de indivíduos jovens ocorre nas classes de diâmetro menores, e uma frequência menor de indivíduos ocorre nas maiores classes de diâmetro (ORELLANA, 2009).

A estrutura diamétrica possibilita caracterizar tipologias vegetais, estágios sucessionais, estados de conservação, regimes de manejo, processos de dinâmicas de crescimento e produção, grupos ecológicos de espécies, sendo utilizada como guias de corte e, sobretudo, como verificador de sustentabilidade ambiental de manejo (SCHNEIDER & FINGER, 2000).

A análise da distribuição diamétrica dos indivíduos em classes de tamanho é uma ferramenta útil para a compreensão das flutuações e avaliação da estabilidade das populações

ou comunidades (MARTINS, 2009).

Para fornecer uma ideia da dinâmica das populações mais frequentes, a elaboração do histograma de frequência por classe de diâmetro é um bom indicador (MARTINS, 1991).

Conhecer a distribuição diamétrica é uma ferramenta fundamental ao manejador florestal, principalmente, em Florestas Nativas em que a idade é uma variável de difícil obtenção.

Segundo Finol (1969) a distribuição diamétrica da floresta dá uma ideia precisa de como estão representados na floresta as diferentes espécies, em classes de tamanho. Finol (1964) diz que a distribuição diamétrica é que garante a sobrevivência de uma espécie, bem como seu aproveitamento racional segundo as normas de rendimento sustentado, é sem dúvida a distribuição diamétrica regular. Isto significa que as categorias inferiores devem incluir maior número de indivíduos para substituir os que foram explorados ou os que sofreram redução natural no decorrer do tempo, passando de uma classe inferior para uma superior.

Segundo Machado et al. (1997) diversos são os modelos matemáticos apropriados para descrever a distribuição de frequência por unidade de área em relação às classes sucessivas de diâmetro, sendo que os mais conhecidos e utilizados são as funções de densidade de probabilidade.

Canalez et al. (2006) afirmaram que a forma de distribuição “exponencial negativa” para uma determinada espécie define que esta mantém a regeneração dentro de um fluxo contínuo, ou seja, um grande número de árvores nas classes inferiores é o reflexo do elevado recrutamento no período. Por outro lado, distribuições diamétricas com poucos elementos nas classes menores indicam descontinuidade de regeneração.

A distribuição diamétrica que garante a sobrevivência de uma espécie florestal, bem como seu aproveitamento racional em regime de rendimento sustentado, é sem dúvida a “distribuição diamétrica regular”, cuja premissa é de que as classes inferiores devem manter um número maior de indivíduos, a fim de compensar a redução por exploração ou morte natural no processo de transição de mudança de classes. As espécies que apresentam distribuição diamétrica não regular estarão em desvantagem na disputa pela sobrevivência até o estado clímax (FINOL, 1964).

3.7 Matriz de Transição

Muitos fenômenos que ocorrem na natureza podem ser estudados como se estes passassem por uma sequência de estados, em que a partir de um estado inicial, a transição de um determinado estado para o seguinte ocorresse segundo uma certa probabilidade. No caso em que essa probabilidade de transição dependa apenas do estado em que o fenômeno se encontra e do estado seguinte, o processo é chamado *processo de Markov*, e uma sequência finita de estados seguindo, esse processo é denominada Cadeia de Markov de parâmetro discreto homogêneo (BOLDRINI et al., 1978; BERNARDO, 2000).

Ferramentas como os modelos de crescimento para florestas naturais ou sob o regime de manejo, independentes de sua complexidade estrutural, possibilitam definir o tempo que uma ou mais espécies demandam até atingir determinada dimensão (AVERY e BURKHART, 1994).

A matriz de transição é um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos que passam, a partir de um estado inicial, por uma sequência de estados, onde a transição entre estados ocorre segundo uma certa probabilidade (ARCE et al., 2001).

Matrizes de transição podem ser usadas para a elaboração de modelos de produção florestal e partem do pressuposto de que uma árvore em uma determinada classe de diâmetro tem a probabilidade de se deslocar para a classe seguinte (SCOLFORO et al., 1998).

Para Austregésilo et al. (2004) os modelos de distribuição diamétrica são os mais comuns e se baseiam em funções probabilísticas de distribuição, permitindo descrever as alterações na estrutura do povoamento (número de árvores por classe de diâmetro), nas relações hipsométricas e nas taxas de mortalidade, podendo todas estas características ser analisadas, simultaneamente, ao longo do tempo.

Para Scolforo et al. (1998), as projeções não devem ser feitas em períodos de tempo longo, considerando que o desempenho dos modelos é condicionado a dois pontos básicos. Um primeiro leva em conta que o incremento periódico em diâmetro das árvores da floresta, obtido nas parcelas permanentes, tem o comportamento no futuro idêntico ao obtido por ocasião das avaliações realizadas nas parcelas permanentes. Neste caso, assume-se que apesar de mudanças em sua estrutura, a floresta continuará no futuro a apresentar o mesmo crescimento periódico que aquele detectado por ocasião da avaliação das parcelas permanentes. Esta característica ou propriedade do modelo em questão é denominada de transição estacionária.

Um segundo ponto básico é que a projeção da estrutura da floresta depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de qualquer característica passada da floresta. Esta característica ou propriedade do modelo considerado é definida como propriedade Markoviana.

3.7 Razão de Movimentação

Pulz et al. (1999) testaram a acuracidade dos métodos de matriz de transição, razão de movimentação e o método de Wahlenberg, constatando que os três métodos apresentam o mesmo grau de acuracidade para a prognose do número total de árvores da floresta.

Scolforo et al. (1996) utilizaram o método de razão de movimentação dos diâmetros, para a prognose da estrutura de uma floresta semidecídua Montana com o objetivo de gerar tabelas de produção.

Vanclay (1994) considera que modelos de “Tabela de projeção da floresta” podem ser úteis onde os dados são escassos. Esse pesquisador, reportando Monserud (1979), informa que, na comparação de um modelo determinístico de tabela de povoamento (deterministic stand class model) com um modelo estocástico espacial de árvore isolada (stochastic single tree spatial model), ambos se mostraram compatíveis com a realidade para períodos de predições de curto prazo (5 a 25 anos).

Pulz et al. (1999) avaliaram a prognose da estrutura diamétrica de um povoamento de floresta natural utilizando a matriz de transição a partir de três diferentes períodos de medição da floresta. Também foi realizada a análise comparativa das prognoses geradas pelo método da matriz de transição com as prognoses obtidas do método da razão de movimentação dos diâmetros e do “método de Wahlenberg”. Os pesquisadores consideraram que os métodos da “Matriz de Transição”, “Razão de Movimentação de diâmetro” e “Wahlenberg” apresentaram mesmo grau de eficiência para fins de prognose do número total de árvores.

Vanclay (1994) comenta que Tabelas de projeção do povoamento ou aproximações por matrizes podem permitir que algumas árvores sejam projetadas “n” classes em “n” intervalos, superestimando rendimentos. Menciona que duas soluções são possíveis: diminuir as classes ou suavizar a Tabela de projeção da floresta.

3.9 Teste de aderência

Após a seleção de uma amostra, procura-se comprovar a hipótese de que a mesma

possa ter sido extraída de uma população, a qual tem uma distribuição especificada. O tipo de teste usualmente empregado para o caso de uma amostra é um teste de aderência que pode ser o binomial, o qui-quadrado ou o de kolmogorov-smirnov, estando sua escolha condicionada a fatores como: nível de mensuração utilizado; número de categorias em sua mensuração; tamanho da amostra; poder do teste estatístico (COSTA NETO, 1977).

O teste para uma amostra foi introduzido por kolmogorov em 1933. Em 1939, Smirnov introduziu o procedimento do teste para dados de duas amostras. É um teste de aderência, que determina se os valores da amostra podem ser considerados como provenientes de uma população com uma distribuição teórica conhecida.

Procura-se especificar a distribuição de frequência acumulada teórica e compará-la com a distribuição de frequência acumulada observada. Determina-se o ponto na qual as duas distribuições, teórica e observada, apresentam maior diferença e se essa diferença é significativa ou pode ser atribuída ao acaso.

A vantagem é que este teste pode ser aplicado, sem restrição, para pequenas amostras (fe's pequenas) e, na maioria dos casos, é mais poderoso que o teste do qui-quadrado (COSTA NETO, 1977).

MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrições da área de estudo

A área de estudo localiza-se entre os municípios de Irati, Fernandes Pinheiro, Teixeira Soares e Imbituva, no estado do Paraná (SPVS, 1996). A Floresta Nacional de Irati é uma Unidade de Conservação do Governo Federal, de uso sustentável, possui uma área de 3.495 ha, sendo destes 57,6% ocupada por floresta nativa onde predomina a *Araucaria*, 37,5% ocupada por povoamentos comerciais (*Pinus* sp, *Eucalyptus* sp e *Araucaria angustifolia*) e 4,9% considerados como infra-estrutura (RODERJAN et al., 1989).

4.1.1 Localização

A Floresta Nacional de Irati, situa-se na microrregião Centro - Sul do Paraná, situada no Segundo Planalto Paranaense, de domínio do bioma Floresta Ombrófila Mista, localizada no fuso UTM 22J, região central do estado, entre as coordenadas geográficas 25° 25' de latitude sul, 50° 36' de longitude oeste, 25° 17' de latitude sul e 50° 30' de longitude oeste. Encontra-se a uma altitude média de 812 metros acima do nível do mar a 10 km do centro urbano da cidade de Irati, PR. A localização da FLONA na microrregião Centro - Sul do Paraná, pode ser visualizado na Figura 01.

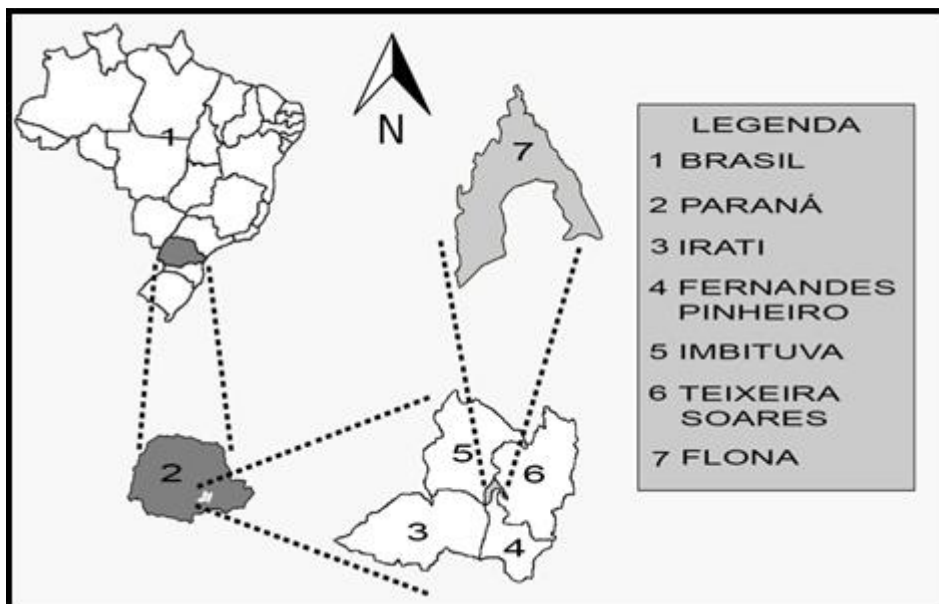


Figura 01 Localização da FLONA na microrregião de Irati, PR.

O estudo vem sendo desenvolvido na FLONA de Irati, Paraná, desde 2002. Os dados

utilizados nesta pesquisa são provenientes de Inventário Florestal contínuo realizado entre os anos de 2002 a 2011 em uma amostra de 25 ha, com área de um (1) ha (100 m x 100 m) cada, sendo mensurados todos os indivíduos com diâmetros à altura do peito iguais ou superiores a 10,0 cm ou ($CAP \geq 31,42$). O mapa de localização da Floresta Nacional de Irati, encontra-se na Figura 02.

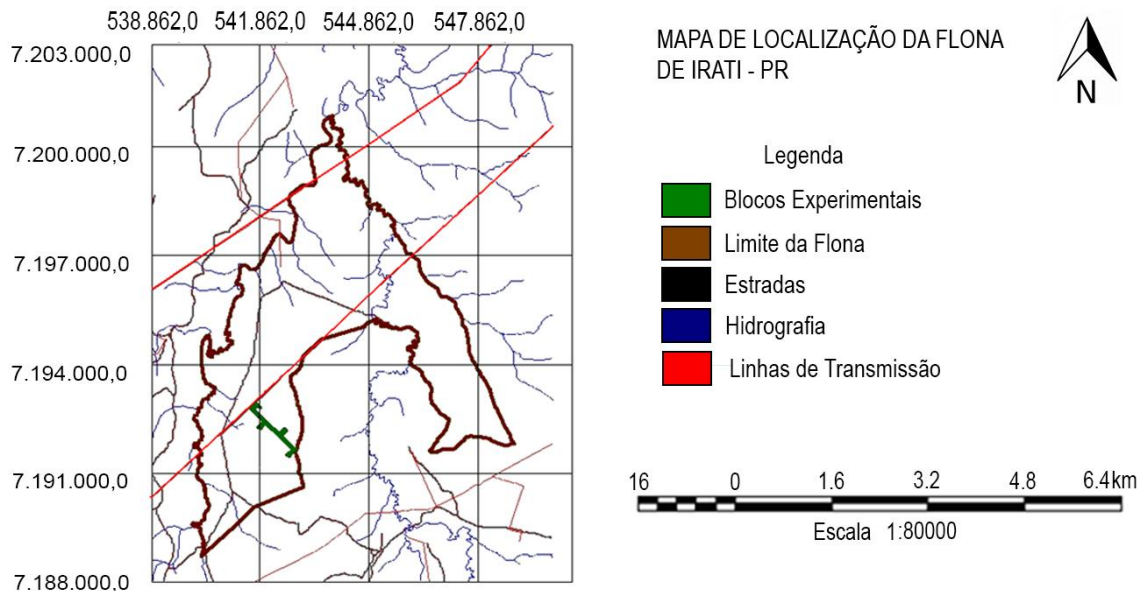


Figura 02 Mapa de localização dos limites da FLONA de Irati, PR.

Fonte: Adaptado de (DISPERATI et al., 2002).

4.1.2 Clima da região

Segundo Mazza (2006) e conforme a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb, subtropical úmido mesotérmico, caracterizado por verões frescos, geadas severas e frequentes, sem estação seca.

Segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2002) o caráter subtropical do clima da área é evidente pela redução de seus valores térmicos. Por esse motivo é dominada pelos ventos de NE, que quando é orientada pelas feições topográficas da bacia do Rio Ribeira contígua à do Rio Tibagi, favorece a atuação das massas de ar Tropical Atlântica e Polar Atlântica. Fato este que no decorrer do ano, manifesto pelas oscilações da frente Polar Atlântica, é o maior responsável pelas chuvas que nela ocorrem.

4.1.3 Vegetação

O ecossistema que compõe a região é denominado de Floresta Ombrófila Mista Montana, apresentando vegetação secundária, tendo como principais espécies a *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., *Ocotea odorifera* (Vell.) Rohwer, *Nectandra grandiflora* Nees, *Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso, *Casearia decandra* Jacq. e *Cedrela fissilis* Vell.

Antes da criação desta importante Unidade de Conservação, a floresta sofreu exploração seletiva das principais espécies econômicas, à aproximadamente 70 anos atrás. Em decorrência disso, pode ser classificada como uma vegetação primária alterada ou secundária em estágio avançado (RODE, 2008).

4.2 Material e equipamentos

Na execução e elaboração desta Monografia foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos necessários aos processamento dos dados:

- a) Fita métrica para mensuração da circunferência a altura do peito (1,30 m a partir do nível do solo);
- b) Programas em ambiente computacional: Microsoft *Word* 2010 e *Excel* 2010.

4.3 Metodologia

4.3.1 Coleta de dados

Em 2000/2001 foram instalados um conjunto de parcelas permanentes compostas de 25 ha, em uma Área de Conservação de Floresta Ombrófila Mista (Floresta Nacional de Irati) na cidade de Fernandes Pinheiro, PR. Este conjunto de dados vem sendo utilizado para diversos estudos em diferentes áreas do conhecimento da ciência florestal, entre elas: manejo florestal (aliados a ferramentas estatísticas), geotecnologias, controle biológico, solos florestais. Os limites da área amostral foram delimitados com auxílio de teodolito digital, conforme pode ser visualizado na Figura 03.

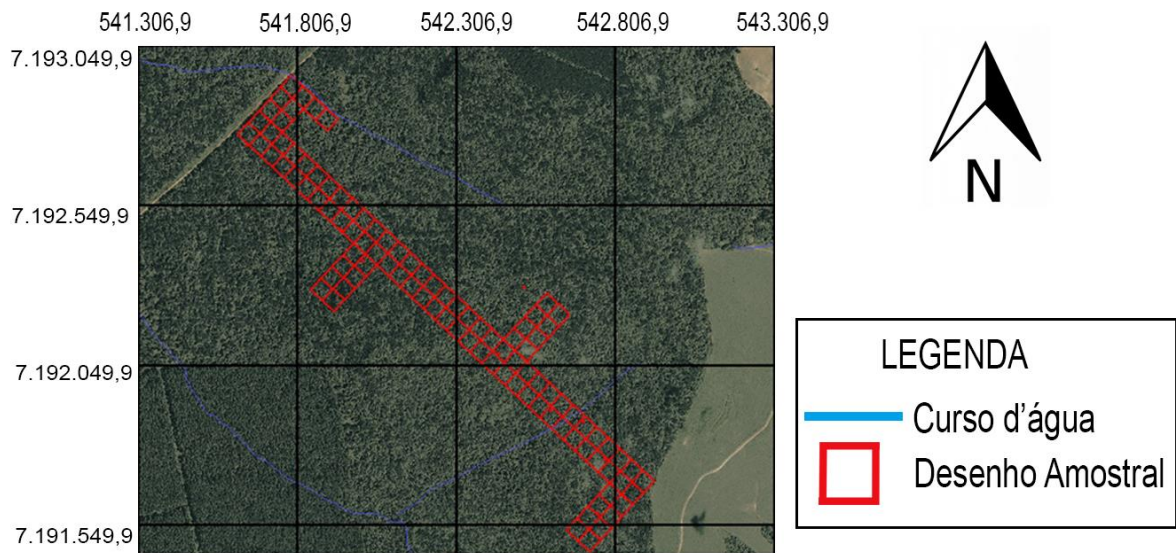


Figura 03 Localização dos limites das unidades amostrais sobre a imagem Ikono II.
Fonte: LISBOA, 2009.

As unidades amostrais foram subdivididas em quatro subunidades de 0,25 ha (50 m x 50 m) e para facilitar o caminhamento, cada subunidade foi dividida em cinco faixas de controle de 10 m x 50 m, totalizando 20 faixas de 0,05 ha. A posição espacial de cada uma das árvores na floresta foi obtida por meio do sistema de coordenadas cartesianas (eixo das abscissas “X” horizontal e eixo das ordenadas “Y” vertical). A obtenção das coordenadas cartesianas foi realizada para todos os indivíduos com $dap \geq 10$ cm presentes nos 25 ha. A configuração de uma unidade amostral, suas subdivisões e o sentido de caminhamento podem ser visualizados na Figura 04.

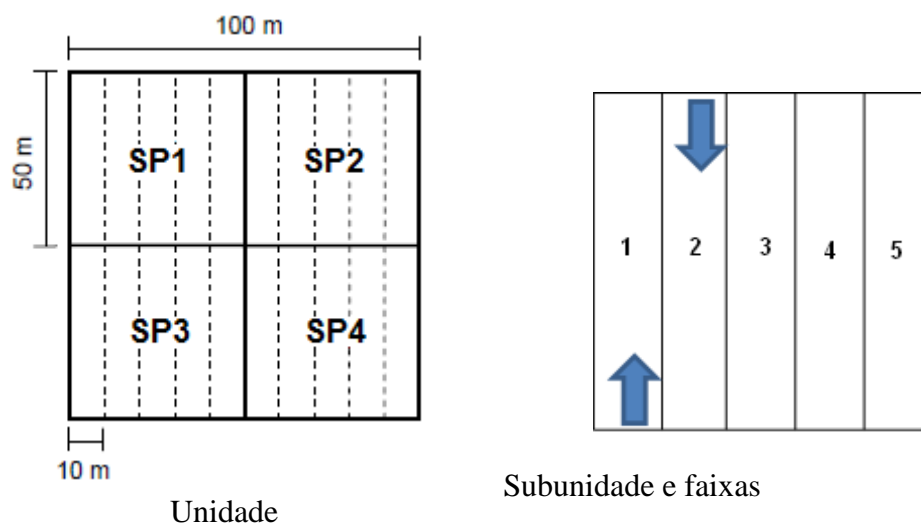


Figura 04 Subdivisão de uma unidade amostral e o sentido de caminhamento na obtenção dos dados.

Fonte: LISBOA, 2009.

4.3.2 Amostragem

O objetivo do inventário florestal foi obter informações qualitativas e quantitativas dos recursos florestais existentes no local. Pode-se classificar este tipo de inventário, segundo as definições de Péllico Netto e Brena (1997), como sendo de cunho estratégico, para embasar Planos de Manejo, com abrangência a região de Irati. A obtenção dos dados foi por meio de amostragem em conglomerados, em múltiplas ocasiões, para acompanhar a dinâmica da floresta ao longo do tempo, crescimento e mortalidade.

A intensidade de amostragem foi obtida por meio da razão entre o tamanho da amostra (n) e o tamanho da população (N), que tem a seguinte notação matemática:

$$f = \frac{n}{N}$$

Em que:

f = Fração amostral;

n = Tamanho da amostra;

N = Tamanho da população.

Para verificar a intensidade amostral ou o número de unidades amostrais necessárias em função da Variância (S^2), foram efetuados os cálculos de intensidade amostral para a variável área basal ($G_i \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), com erro de amostragem de 10% e à probabilidade de confiança de 95% ($1-\alpha$), com alfa (α) de 5%, t de Student de 2,064 para 25 unidades amostrais com ($n-1$) grau de liberdade, que tem a seguinte notação matemática:

$$n = \frac{t^2 * S^2}{E^2}$$

Em que:

n = Tamanho da amostra;

t = valor definido de acordo com a probabilidade de confiança, grau de liberdade ($n-1$) na distribuição t de Student;

S = Desvio padrão da variável de interesse ($G_i \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$);

E = Erro de amostragem estabelecido.

As principais estimativas obtidas por meio da amostragem foram: média aritmética, amplitude, variância, desvio padrão, erro padrão, coeficiente de variação, erro de amostragem e intervalo de confiança.

4.3.3 Obtenção das variáveis dendrométricas

A medição das circunferências à altura do peito (CAP a 1,30 m a partir do nível do solo) foi realizada com fita métrica, com precisão de milímetro em todas as árvores, incluindo as caídas, quebradas, danificadas (desde que vivas). A contabilização das árvores mortas foi necessária para que pudesse obter as taxas de mortalidade por ha (somente na segunda medição em diante). As circunferências foram sempre mensuradas em um ponto fixo chamado ponto de medição “PDM”, auxiliado por um gabarito a 1,30 m do solo, os quais foram todos marcados com tinta azul, para facilitar as futuras remeidições. No local de medição era efetuado uma limpeza, para que pudesse estar livre de cipós ou anomalias e assim, evitar erros de leitura, conforme pode ser visualizado na Figura 05.



Figura 05 Medição da circunferência a 1,30 m a partir do nível do solo (CAP) em uma árvore de *Araucaria angustifolia*.

4.4 Dinâmica da floresta

A dinâmica da floresta é entendida como as mudanças florísticas e estruturais que ocorrem em uma floresta ao longo de um determinado período de tempo. O principal fator decorrente destas mudanças é o processo de sucessão ecológica. A contabilização das alterações florísticas, ingresso, mortalidade e crescimento só serão possíveis a partir inventários permanentes. As árvores que atingirem o diâmetro mínimo estabelecidos no critério de inclusão, na segunda medição ≥ 10 cm de DAP ou 31,42 cm de CAP foram incluídas no estudo e inseridas como entrada ou ingresso. As árvores que apresentaram-se mortas após o primeiro período, foram contabilizadas como mortas ou saída, permitindo os cálculos das taxas de mortalidade. O aumento nas dimensões, como diâmetro (cm), altura (m),

área basal em m² por hectare ($G_i \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) ao longo do tempo foram incluídos no critério de “crescimento”.

4.5 Estrutura diamétrica

Por meio da estrutura diamétrica pretende-se avaliar o comportamento das espécies, para verificar às variações da estrutura diamétrica da floresta durante o período de 2002 e 2011, com projeções de três, seis e nove anos.

Os cálculos de projeção diamétrica foram aplicados em quatro diferentes períodos, 2002, 2005, 2008 e 2011. A primeira projeção foi realizada para todos indivíduos arbóreos no período de (2002 à 2005). A segunda projeção foi realizada para todos os indivíduos arbóreos no período de (2002 à 2008) e a terceira projeção foram realizadas para todos os indivíduos no período de (2002 à 2011).

A escolha dessas projeções aplicadas se justificam por permitir uma análise da comunidade florestal detalhada em cada intervalo e avaliar o comportamento de cada projeção dentro do contexto apresentado pelo processo dinâmico da floresta.

A distribuição diamétrica de uma floresta foi obtida pelo agrupamento dos indivíduos em intervalos de classe de DAP (LOETSCH et al., 1973). Quanto à definição da amplitude dessas classes não há regra definida, sendo que para florestas, normalmente, utilizam-se classes com amplitude de 5 cm (MACHADO et al., 1998; DURIGAN, 1999) e 10 cm (LONGHI, 1980). Neste estudo, foi realizado uma análise da distribuição diamétrica do experimento nas quatro medições realizadas, agrupando-se os dados em classes 10 cm de diâmetro.

4.6 Matriz de Transição e prognose

A Cadeia de Markov fundamenta-se no conceito de estado (I , classe de dap, M ou H) que pode em um determinado tempo futuro, $t+1$, permanecer nele ou mover-se para outro estado. No decorrer do tempo, isto é, do inventário inicial (t) até o inventário seguinte ($t+1$), os estados que uma árvore pode assumir são assim determinados:

- Estado 1- refere-se ao *ingrowth*, isto é, às árvores que atingiram ou ultrapassaram o DAP mínimo de inclusão, para $i, j=1$;
- Estado 2 a n - refere-se às classes de DAP, estabelecidas a partir do DAP de inclusão até o DAP máximo, ou seja, da primeira até a última classe de DAP;

- Estado $n+1$ - refere-se às árvores que, no período decorrido de t a $t+1$, cresceram e migraram para o próximo estado;
- Estado *next* (estado correspondente à próxima), estado em que as árvores que, na segunda ocasião apresentaram valores que as incluíssem em novas classes, caso permanecessem com a amplitude de ocasião;
- Estado $n+2$ - refere-se à classe de *mortalidade*, isto é, árvores vivas em t e mortas em $t+1$. É a mudança de qualquer estado para o Estado $n+2$, que é o estado absorvente.

Os referidos estados são organizados na forma de uma matriz, $N (ij)$, em que as árvores mensuradas em quatro inventários sucessivos, isto é, nos inventários realizados no tempo t e no tempo $t+1$, são classificados nos estados a que pertencem. A i -ésima linha representa o estado a que a árvore pertencia no tempo t e a j -ésima coluna, o estado no tempo $t+1$.

Os movimentos de um estado para o outro foram estimados pelas probabilidades de transição. O modelo indica que a probabilidade de movimentos de árvores depende somente do estado inicial e que ele é constante para todo o período de projeção.

As probabilidades de transição (a_i , b_i , c_i e m_i) foram obtidas dividindo-se o número de árvores, respectivamente, que permaneceram no mesmo estado, mudaram um estado, mudaram dois estados, ou morreram, pelo número de árvores naquele estado no início do período de crescimento (SOUZA & SOARES, 2013).

Com a finalidade de reduzir o grande número de parâmetros a serem calculados na matriz de Markov, escolhe-se o intervalo de tempo ou o intervalo de classe de tal forma que uma árvore não possa crescer mais que uma classe durante um período, permitindo uma substancial redução no número de parâmetros a estimar (Usher Matrix). A probabilidade de transição de cada período de projeção é obtida da matriz G.

Conforme recomendado por Azevedo et al. (1995), a probabilidade de transição para cada intervalo de medição é obtida dividindo-se o número de árvores que morreram, mudaram de classe ou permaneceram na mesma classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento. Assim, a distribuição diamétrica do povoamento, a ser projetada no tempo $t+\theta$ podem ser totalmente determinadas pela situação no tempo t e pelo ingresso ocorrido no intervalo de tempo em que usou o modelo em sua forma matricial, representado por:

$$G = \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} \begin{vmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_1 & b_2 & a_3 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_2 & b_3 & a_4 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & b_4 & a_5 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \cdots & m_n \end{vmatrix}$$

O recrutamento foi quantificado por ocasião da segunda medição, podendo ser representado ou não por algum modelo.

Para se chegar na projeção de árvores, deve-se considerar que em qualquer vegetação ocorrem mortalidades de árvores (m_i), assim como ingresso ou recrutamento (I_i) na menor classe diamétrica.

Em que:

G = matriz de probabilidade de transição;

i_n = i -ésima classe de diâmetro;

a_i, b_i, c_i = São as probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica (a_i), mudar para a classe diamétrica subsequente (b_i), ou ainda mudar duas classes (c_i).

m_i = Probabilidade das árvores que morreram no período estudado.

Descrição das probabilidades de uma árvores permanecer na mesma classe (a_i), mudar para a classe seguinte (b_i), ou mudar duas classes (c_i).

Onde:

Número de árvores vivas que permanecem na i -ésima classe diamétrica no

$$a_i = \frac{\text{Período de tempo } (\Delta t)}{\text{Número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

Número de árvores vivas que migram da i -ésima classe diamétrica para a

$$b_i = \frac{i\text{-ésima classe diamétrica} + 1 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{Número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

Número de árvores vivas que migram da i -ésima classe diamétrica para a

$$c_i = \frac{i\text{-ésima classe diamétrica} + 2 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{Número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

Em que:

t = início do período de crescimento considerado;

Δt = intervalo de tempo entre o início e o fim do período de crescimento;

i_n = classes de diâmetro.

Para os elementos a_i , b_i e c_i , a condição é de que a árvore continue viva e não seja colhida no intervalo de tempo considerado.

De acordo com BUONGIORNO e MICHIE (1980), a estrutura diamétrica da floresta no tempo futuro é o resultado da multiplicação da matriz de probabilidade de transição pelo número de árvores no período atual, somado ao número de árvores ingressas, como segue:

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it}$$

Em que:

$Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas

G = probabilidade de transição por classe diamétrica

Y_{it} = número de árvores por classe de diâmetro no período atual

I_{it} = número de árvores ingressas ou recrutadas

A forma matricial da expressão é:

$$\begin{pmatrix} Y_{1t} + \Delta_t \\ Y_{2t} + \Delta_t \\ Y_{3t} + \Delta_t \\ Y_{4t} + \Delta_t \\ Y_{5t} + \Delta_t \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{nt} + \Delta_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ \vdots \\ i_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ c_1 & b_2 & a_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & b_3 & a_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & b_4 & a_5 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n & 0 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \cdots & m_n & \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ Y_{4t} \\ Y_{5t} \\ \vdots \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ I_{4t} \\ I_{5t} \\ \vdots \\ \vdots \\ I_{nt} \end{pmatrix}$$

a) Mortalidade:

A mortalidade de árvores é obtida por:

Número de árvores viva na i -ésima classe diamétrica no tempo t mais a mortalidade no intervalo de tempo (Δt)

$$m_i = \frac{\text{Número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t}{\text{Número de árvores existentes na } i\text{-ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

A passagem ou “outgrowth” de árvores da i -ésima classe de diâmetro para a i -ésima + 1 ou i -ésima + 2 classes, assim como aquela que permaneceram na mesma classe diamétrica no período entre os dois inventários, possibilitou gerar a matriz de transição.

O estado estável indica que, independentemente do número de prognose que sejam efetuadas, o número de árvores da floresta permanece constante nas várias classes diamétricas. Este estado pode ser identificado a partir das expressões, quando:

$$Y_t + \Delta_t = Y_t = Y^* \quad \text{e} \quad I_i = I_i^*$$

Em que:

$Y^* = (I\theta - G)^{-1} \cdot I_i$ $I\theta$ = matriz identidade de mesma ordem que a matriz de transição (G);

G = matriz de probabilidade de transição;

I = vetor que contém os ingressos;

Y^* = expressa estado de equilíbrio da estrutura da floresta (se a igualdade das operações for constante).

Quando observada a ausência de indivíduos em uma dada classe diamétrica (frequência igual a zero), ocorre o estado absorvente, denominado por Scolforo et al. (1998) como a probabilidade zero de transição diamétrica. O estado absorvente impede o avanço das árvores para classes diamétricas superiores comprometendo o significado científico e didático impedindo que o estado de equilíbrio seja detectado (PULZ et al., 1999).

Identificando este estado, pode-se inferir que a floresta está em clímax. Vale ressaltar que mesmo neste estado a mortalidade e o recrutamento continuam a ocorrer sem que, no entanto, a floresta sofra mudanças drásticas em sua estrutura.

Nos estados absorventes, a característica básica é quando a probabilidade de transição de uma classe diamétrica para outra for igual a zero. A probabilidade existe somente das árvores que permanecerem na mesma classe diamétrica, como a definição de a_i . Não ocorre a passagem de árvores para a i -ésima classe +1 ou +2, conforme representado pelas probabilidades b_i e c_i .

Desta maneira, as prognoses das frequências das classes de diâmetro anteriores não podem ultrapassar a classe que apresenta estado absorvente. Há então um acréscimo de árvores continuamente nesta classe. Este acréscimo será mais intenso à medida que mais prognoses forem efetuadas, já que as árvores não mais saem desta classe.

A ocorrência deste estado absorvente compromete as prognoses das frequências da

floresta em que o estado de equilíbrio seja detectado.

A prognose da distribuição diamétrica foi realizada para períodos equivalentes às medições realizadas, ou seja, para períodos de três, seis e nove anos.

4.7 Razão de movimentação

Scolforo et al. (1998) define a razão de movimentação como a proporção de árvores que migram para as classes diamétricas superiores em função de seu incremento diamétrico, para isso, são necessários definir o incremento periódico em diâmetro de cada classe, calcular a razão de movimentação e somar ou subtrair os recrutamentos e mortalidade por classes.

Na razão de movimentação, assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente no interior das classes, onde cada árvore cresce a uma taxa média. A distribuição das árvores no interior das classes é desconhecida, mesmo assim, assume-se que ela é uniforme (AUSTREGÉSILO et al., 2004). A partir daí a proporção de árvores que passam de uma classe para outra pode ser assumida como razão de movimento, tendo-se:

$$RM = \left(\frac{\overline{IPD}_j}{C} \right) 100$$

Em que:

RM = razão de movimentação;

\overline{IPD}_j = incremento periódico médio em diâmetro na j-ésima classe diamétrica;

C = amplitude da classe de diâmetro.

Sendo o \overline{IPD}_j obtido por meio da expressão:

$$\overline{IPD}_j = \sum_{i,j=1}^{n,N} \left(\frac{DAP_{2ij} - DAP_{1ij}}{N_j} \right)$$

Em que:

DAP_{1ij} = DAP da i-ésima árvore, na j-ésima classe de diâmetro na primeira ocasião;

DAP_{2ij} = DAP da i-ésima árvore, na j-ésima classe de diâmetro na última ocasião;

N_j = número de árvores na j-ésima classe de diâmetro.

Com base nos dados observados e projetados, foi realizada uma análise do comportamento das projeções realizadas, constituindo de uma análise gráfica da distribuição diamétrica entre os anos observados e os anos projetados.

As taxas de crescimento foram avaliadas por meio do incremento acumulado em diâmetro (IAD) entre os anos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011, dentro de cada classe diamétrica. A análise do crescimento foi aplicada para as três projeções empregadas para toda a floresta.

4.8 Teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov

A partir das projeções da distribuição diamétrica, por meio dos métodos, matriz de transição e razão de movimentação, comparou-se a estrutura diamétrica estimada com a estrutura diamétrica observada.

Para isso, foi empregado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S). O teste de Kolmogorov-Smirnov tem a ver com a concordância de duas distribuições cumulativas (distribuição diamétrica observada e estimada). Se duas distribuições cumulativas amostrais estão muito longe em qualquer ponto, isso sugere que as amostras vêm de populações diferentes. O teste é focado na maior diferença entre duas distribuições.

Após a seleção da amostra, procurou-se comprovar a hipótese de que a mesma possa ter sido extraída de uma população, a qual não há diferença entre os dados observados e estimados.

Pressuposições: a) os dados consistem de observações independentes constituindo uma amostra aleatória de tamanho “ n ” de uma função de distribuição desconhecida, denotada por $f(x)$; b) a escala de mensuração é, no mínimo, ordinal.

Hipóteses: H_0 : não há diferença entre as frequências esperadas e observadas das categorias da variável ($f_o(x) = f_e(x)$); H_1 : há diferença entre as frequências esperadas e as frequências observadas, ($f_o(x) \neq f_e(x)$ ou $f_o(x) > f_e(x)$ ou $f_o(x) < f_e(x)$).

Procedimento: a) especificar $f_o(x)$ = distribuição teórica acumulada sob H_0 (proporção de casos esperados em escores menores ou iguais a x); b) dispor os escores observados em uma distribuição acumulativa, fazendo corresponder cada intervalo de $f_e(x)$ com o intervalo comparável de $f_o(x)$; onde $f_e(x)$ = distribuição acumulada observada = k/n , onde k é o número de observações menores ou iguais a x ; c) para cada posto da distribuição cumulativa, subtrair $f_e(x)$ de $f_o(x)$; d) determinar “ d ” = máximo $|f_o(x) - f_e(x)|$; o teste de kolmogorov-Smirnov localiza a maior diferença, ou seja, o maior valor de “ d ” (desvio máximo); e) mediante

referência a uma tabela específica, determinar a probabilidade (bilateral) associada à ocorrência, sob H_0 , de valores tão grandes quanto o valor observado de “ d ”; f) para um teste unilateral, com $f(x) < f_0(x)$: $d^+ = \text{máximo } |f_0(x) - f_e(x)|$; g) para um teste unilateral, com $f(x) > f_0(x)$: $d^- = \text{máximo } |f_e(x) - f_0(x)|$.

A distribuição amostral de “ d ”, sob H_0 , é conhecida, sendo que a tabela mostra certos valores críticos dessa distribuição amostral. A significância de “ d ” depende do tamanho da amostra “ n ”.

Regra de decisão: rejeita-se H_0 , ao nível de significância α , se as estatísticas “ d ”, d^+ ou d^- excedem em $(1-\alpha)$ o valor tabelado, ou seja, a amostra não se origina de uma suposta distribuição, espera-se encontrar grandes discrepâncias entre $f_e(x)$ e $f_0(x)$.

Se $p > \alpha$, aceita-se H_0 (aceita-se a distribuição testada);

Se $p \leq \alpha$, rejeita-se H_0 (teste significativo, rejeita-se a distribuição testada).

Conclusão: Se o valor $p > \alpha$, deve-se aceitar H_0 indicado pelo teste de kolmogorov-Smirnov, o qual conclui-se que deve-se aceitar a distribuição testada.

O valor de D_n é tabelado ao nível α de probabilidade para N indivíduos (MORAES et al., 2009).

O teste K-S é aplicado nos valores de máxima divergência (D_n) entre distribuições, sendo que menores valores de D_n indicam melhores ajustes. O valor de máxima divergência (D_n) é definido pela expressão:

$$D_n = D_{\max} |F_o(X) - F_e(X)|$$

Em que:

D_n = ponto de máxima divergência;

$F_o(X)$ = função de distribuição acumulada assumida pelos valores observados;

$F_e(X)$ = função de distribuição projetada para os dados.

O valor da distribuição (D_{calc}) é calculado a partir da expressão:

$$D_{\text{calc}} = \frac{D_n}{N}$$

Em que:

D_{calc} = valor da distribuição;

D_n = ponto de máxima divergência;

N = número total de indivíduos observados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são provenientes do inventário florestal contínuo realizado durante o período de 2002 a 2011. Foram abordados os seguintes aspectos: projeção diamétrica por meio da matriz de transição e razão de movimentação.

5.1 Amostragem e suficiência amostral

A área ocupada com floresta natural é aproximadamente de 2.013 ha (57,6%), o que representa uma intensidade de amostragem (f) de 0,0124 ou 1,24%. A população foi considerada como infinita ($1-f \geq 0,98$), assim o fator de correção pode ser desprezado.

$$f = \frac{25}{2.013} = 0,0124 \times 100 = 1,24\%$$

Onde:

f = Fração amostral

$$1-f = 0,9876$$

Para verificar o número mínimo de unidades amostrais necessárias (2002, 2005, 2008 e 2011), foram efetuados os cálculos de intensidade amostral para a variável área basal (m^2/ha), utilizando a variância em área basal, erro de 10% ao nível de probabilidade de 95%, ou α de 5%, obtendo assim, t tabelado de 2,064 para 25 unidades amostrais de um (01) ha cada, para (n-1) 24 graus de liberdade. Abaixo segue a estimativa avaliada, área total, área amostrada, número ótimo de parcelas, área basal média, desvio padrão, variância, variância da média, erro padrão da média, coeficiente de variação em percentual, valor de t tabelado na distribuição de Student, erro de amostragem absoluto e em percentagem e intervalo de confiança para a média por hectare à 95% de probabilidade:

1- Estimativa avaliada foi área basal por ha ($Gi \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$); 2- Área total (2013 ha); 3- Área amostrada (25 ha); 4- Número ótimo de parcelas (11 ha); 5- Área basal média (28,6823; 29,8690; 30,2357; 30,6418 $m^2 \text{ ha}^{-1}$); 6- Desvio Padrão (4,3975; 4,5259; 4,5614; 4,6376 $m^2 \text{ ha}^{-1}$); 7- Variância (19,3380; 20,4841; 20,8067; 21,5076); 8- Variância da média (0,7735; 0,8194; 0,8323; 0,8603); 9- Erro padrão da média (0,8795; 0,9052; 0,9123; 0,9275); 10- Coeficiente de variação em percentual (15,3317; 15,1526; 15,0863; 15,1350), 11- Valor de “ t ” tabelado na distribuição de Student (2,064); 12- Erro de amostragem (1,8152; 1,8682; 1,8829; 1,9143); 13- Erro de amostragem em porcentagem (6,3286; 6,2547; 6,2273; 6,2474);

14- Intervalo de confiança para a média por hectare à 95% de probabilidade ($26,8671 \leq \bar{X} \leq 30,4975$; $28,0008 \leq \bar{X} \leq 31,7373$; $28,3529 \leq \bar{X} \leq 32,1186$; $28,7274 \leq \bar{X} \leq 32,5561$).

Em função destes resultados, considera-se que a amostragem (25 ha) utilizada foi suficiente para a caracterização da vegetação estudada (variável G_i $m^2 ha^{-1}$), dentro dos limites admissíveis de erro estabelecidos.

5.2 Estrutura diamétrica

A distribuição dos indivíduos em classes diamétricas indicou maior concentração nas classes menores, para todas as espécies analisadas, o que é padrão para florestas nativas ineqüiâneas. Considerando apenas as duas primeiras classes (árvores com menos de 30 cm de diâmetro), observa-se que a proporção de indivíduos é de 82,28%, 81,17%, 80,88% e 80,23% nos anos de 2002, 2005, 2008 e 2011, respectivamente, conforme apresentado na Tabela 01 e Figura 06.

Tabela 01 Número de indivíduos por classe de DAP nos períodos de 2002 a 2011.

C. C. DAP	F.O.2002	F.O.2005	F.O.2008	F.O.2011
15	8378	8033	7939	7773
25	3393	3411	3393	3342
35	1266	1305	1290	1305
45	633	659	671	688
55	305	317	326	334
65	190	209	214	215
75	96	106	110	117
85	32	43	51	62
95	6	9	10	11
105	2	2	1	1
115	1	1	1	1
125	3	1	2	1
135	0	2	2	3
145	0	0	0	0
155	1	1	1	1
Total	14306	14099	14011	13854

Obs.: C. C. DAP= Centro de Classe de DAP; F.O.2002, 2005, 2008 e 2011= Frequência observada no ano de medição referente à 2002, 2005, 2008 e 2011.

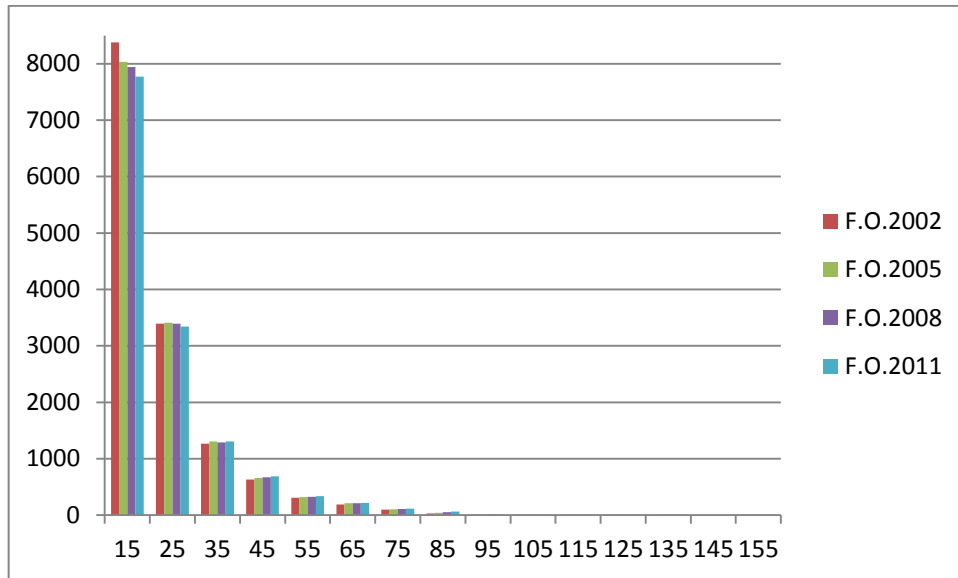


Figura 06 Distribuição de Frequência por centro de classe de diâmetro nos períodos de 2002, 2005, 2008 e 2011.

Durando os nove anos de monitoramento da floresta, houve um decréscimo de 3,16% do número de indivíduos, consequência da dinâmica natural da floresta. Observou-se que ocorreu decréscimo nas duas classes menores que 30 cm de DAP, onde grande quantidade número de indivíduos jovens e de pequenas dimensões morrem, oferecendo condições para que os indivíduos de maiores dimensões cresçam e se desenvolvam.

Populações em equilíbrio em geral apresentam histogramas de frequência nas classes de diâmetro como uma série geométrica decrescente, ou seja, a frequência nas classes de DAP para a Floresta Madura apresenta uma distribuição balanceada.

Elevado número de indivíduos nas primeiras classes de diâmetro indica que uma parte significativa da população arbórea foi amostrada, sendo constituídas por indivíduos jovens e sub-bosque. Interrupções e oscilações de frequência nas classes superiores de DAP podem indicar uma subamostragem dos indivíduos de grande porte e/ou efeitos de cortes seletivos ocorridos no passado e/ou a ocorrência de mortalidade.

5.3 Mudança na Matriz de Transição

Observou-se que as projeções da distribuição diamétrica seguiram a mesma estrutura da floresta, com maior número de indivíduos nas menores classes, mantendo a estrutura típica de florestas naturais balanceadas não alteradas (“J” invertido) (MEYER et al., 1961). Projeções realizadas com amplitude de classe diamétrica de 10 cm, foram encontradas 15

classes de frequência, sendo que a última classe pode ser considerada classe aberta, que abrange indivíduos cujo DAP > 150,0 cm, evitando, com isso, estados absorventes.

As projeções pela Matriz de Transição apresentaram um decréscimo quanto ao número de indivíduos. A matriz de probabilidade de transição foi elaborada para os dados do período 2002-2005, 2002-2008 e 2002-2011, cujos resultados podem ser observados nas Tabelas 02, 03 e 04.

A diagonal principal da matriz, representa a probabilidade de árvores que existiam em uma determinada classe de DAP no período inicial de permanecerem na mesma classe de DAP no período final. A diagonal abaixo da principal (paralela a diagonal principal) representa a probabilidade das árvores que existiam em uma determinada classe de DAP no período inicial se moverem para a classe seguinte no período final. Também, nesta tabela, está destacada a probabilidade das árvores que existiam em uma determinada classe de DAP no período inicial e que apareceram mortas no final do período.

Nas Tabelas 02, 03 e 04, a diagonal principal da matriz de probabilidade nas classes de 135 e 145, ocorreu a probabilidade zero, ou seja, para efeito de projeção ocorre o estado absorvente. Desta forma quando se projeta a estrutura, não há transição de árvores desta classe para a classe seguinte. A ocorrência do estado absorvente compromete as prognoses das frequências da floresta e impede também que o estado de equilíbrio seja detectado.

Nas Tabelas 02, 03 e 04, a diagonal principal da matriz de probabilidades na classe 155, ocorreu a probabilidade um (100%), ou seja, para efeito de projeção, todos os indivíduos que se encontravam no período t , não ocorreu transição nem mortalidade nos períodos $t+1$ e $t+2$, indicando pouco crescimento nessa classe de diâmetro.

Tabela 02 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (i) para o estado (j) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 3 anos.

Centro de Classe 2002																Y _{it}	I _{it}	m _i
C. C. 2005	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155			
15	0,89															8531	613	543
25	0,05	0,89														3449	0	182
35		0,06	0,86													1290	0	64
45			0,09	0,86												636	0	28
55				0,10	0,83											299	0	5
65					0,15	0,85										179	0	5
75						0,15	0,85									92	0	0
85							0,15	0,94								31	0	0
95								0,06	1,00							5	0	0
105									0,00	1,00						3	0	0
115										0,00	1,00					1	0	0
125											0,00	0,50				2	0	0
135												0,50	0,00			0	0	0
145													0,00	0,00		0	0	0
155														0,00	1,00	1	0	0
	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14519	613	827
1	Probabilidade de Mortalidade																	
2	Probabilidade de permanecer na mesma classe																	
3	Probabilidade de mudar uma classe																	

Obs: C.C. Classe= Centro de Classe de DAP

Tabela 03 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (i) para o estado (j) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 6 anos.

Centro de Classe 2002																		
C. C. 2008	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	Y_{it}	I_{it}	m_i
15	0,81															8531	1180	971
25	0,08	0,81														3449	0	336
35		0,09	0,76													1290	0	120
45			0,15	0,75												636	0	57
55				0,16	0,74											299	0	9
65					0,23	0,75										179	0	8
75						0,21	0,75									92	0	0
85							0,25	0,87								31	0	0
95								0,13	0,80							5	0	1
105									0,00	0,67						3	0	0
115										0,33	0,00					1	0	0
125											1,00	0,50				2	0	0
135												0,50	0,00			0	0	0
145													0,00	0,00		0	0	0
155														0,00	1,00	1	0	0
	0,11	0,10	0,09	0,09	0,03	0,04	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14519	1180	1502
1	Probabilidade de Mortalidade																	
2	Probabilidade de permanecer na mesma classe																	
3	Probabilidade de mudar uma classe																	

Obs: C.C. Classe= Centro de Classe de DAP

Tabela 04 Probabilidade de transição de árvores que mudaram do estado (*i*) para o estado (*j*) durante o período (Θ) em que o DAP mínimo de inclusão foi de 10 cm, sendo a amplitude de classe de DAP de 10 cm, com intervalo de 9 anos.

Classe 2002																		
C. C. 2011	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	Yit	Iit	m _i
15	0,73															8531	1706	1517
25	0,10	0,73														3449	0	538
35		0,13	0,67													1290	0	181
45			0,21	0,67												636	0	75
55				0,22	0,63											299	0	12
65					0,31	0,63										179	0	1
75						0,30	0,62									92	0	0
85							0,38	0,84								31	0	0
95								0,16	0,80							5	0	0
105									0,00	0,67						3	0	1
115										0,33	0,00					1	0	0
125											1,00	0,50				2	0	0
135												0,50	0,00			0	0	0
145													0,00	0,00		0	0	0
155														0,00	1,00	1	0	0
	0,17	0,14	0,12	0,11	0,06	0,07	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14519	1706	2325
1	Probabilidade de Mortalidade																	
2	Probabilidade de permanecer na mesma classe																	
3	Probabilidade de mudar uma classe																	

Obs: C.C. Classe= Centro de Classe de DAP

A acuracidade das projeções foi avaliada pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (K-S) que testou as distribuições se duas distribuições cumulativas amostrais estão muito longe em qualquer ponto, isso sugere que as amostras vêm de populações diferentes.

5.3.1 Prognose para matriz de transição

Para a realização da prognose da estrutura diamétrica por meio da matriz de transição multiplicou-se a matriz de probabilidade obtida pelo vetor do número de árvores existentes no período inicial (2005, 2008 e 2011). A este vetor resultante, foi somado ao número de árvores ingressas no centro de classe de DAP.

A estrutura diamétrica foi projetada por meio da matriz de transição para intervalos equivalentes aos períodos de medição, ou seja, a cada três, seis e nove anos, sendo realizada para o ano de 2005, para o ano de 2008 e 2011. A projeção estimada para esses anos foi comparada aos dados observados em cada período de medição.

A Tabela 05 e a Figura 07 apresentam o número de árvores por centro de classe de diâmetro, observado e estimado pelo método da matriz de transição.

Tabela 05 Classes de dap, frequências observadas e estimadas por meio da matriz de transição.

Centro de Classe de DAP	F.O.2005	F.E.2005	F.O.2008	F.E.2008	F.O.2011	F.E.2011	Teste K-S	
15	7568	7699,30	6894	7054,36	6134	6175,32	2002-2005	
25	3045	2925,67	2780	2701,23	2453	2543,14	Dtab.5%	Dcalc.
35	1107	1080,66	977	1003,17	843	858,06	0,0120	0,0097
45	543	541,05	479	441,21	421	390,39	2002-2008	
55	247	256,16	221	236,46	193	186,98	Dtab.5%	Dcalc.
65	151	161,56	134	150,67	120	128,21	0,0126	0,0076
75	78	83,91	69	80,70	56	58,80	2002-2011	
85	29	33,26	27	32,94	25	28,10	Dtab.5%	Dcalc.
95	5	5,26	4	5,27	5	5,39	0,0134	0,0033
105	3	3,00	2	4,00	2	3,00		
115	1	1,00	0	2,00	1	1,00		
125	1	0,50	1	0,75	0	1,00		
135	0	0,50	0	0,75	0	1,00		
145	0	0,00	0	0,00	0	0,00		
155	1	0,00	1	0,00	1	0,00		

A Figura 07 apresenta as frequências observadas e estimadas nos períodos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011.

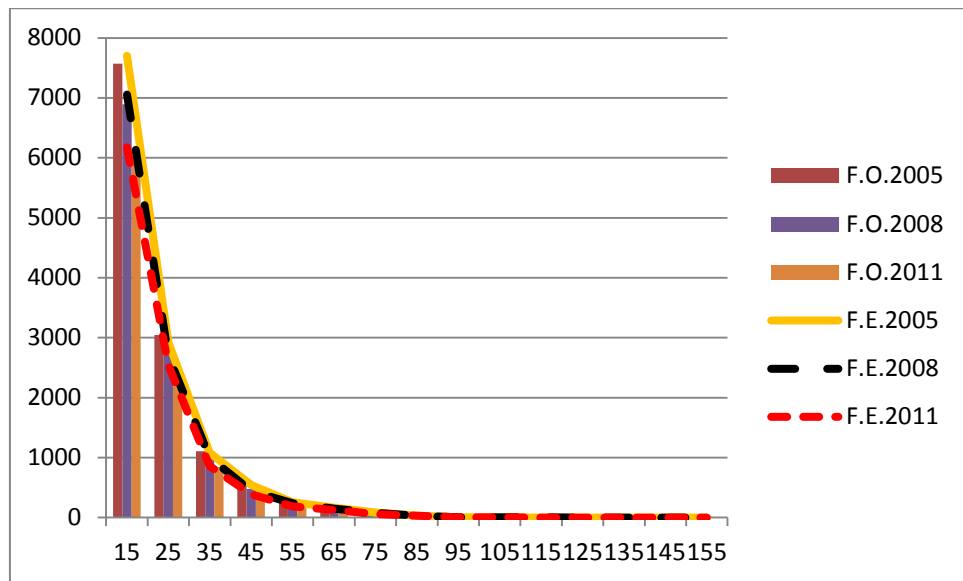


Figura 07 Frequência observada e estimada por classe de diâmetro nos períodos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011.

Os valores de D_{calc} foram comparados com o valor tabelado (D_{tab}) obtido na tabela K-S para N indivíduos, bilateral para α 5% de probabilidade de confiança. A hipótese H_0 é condicionada: Se $D_{calc} \leq D_{tab}$, aceita-se H_0 .

Desta forma podemos afirmar a Hipótese H_0 : não há diferença entre as frequências esperadas e observadas das categorias da variável ($f_o(x) = f_e(x)$), para a matriz dos anos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011.

5.3.2 Prognose para razão de movimentação

Para efetuar a prognose para o ano de 2005, 2008 e 2011 foram agrupados em classes diamétricas e calculados os incremento diamétricos médios por classes diamétricas ocorridos no período de 2002-2005, 2002-2008, 2002-2011. Após isso foram seguidas as etapas já descritas na metodologia para realizar a projeção.

Nas Tabelas 06, 07 e 08, estão representadas as frequências estimadas para o período de 2005, 2008 e 2011.

Tabela 06 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2005 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 3 anos.

C. C. DAP	N. /ha	IPMd	RM	% árv. movidas		árvores movidas		Número de Árvores após a movimentação	Mortalidade	Recrutamento	Prognose 2005
				0 Classe	1 Classe	0 Classe	1 Classe				
15	8531	1,2301	12,3007	87,70	12,30	7481,62	1049,38	7481,62	543	613	7551,62
25	3449	1,5308	15,3079	84,69	15,31	3112,88	336,12	3112,88	182	0	2930,88
35	1290	2,0150	20,1501	79,85	20,15	1126,97	163,03	1126,97	64	0	1062,97
45	636	2,3509	23,5088	76,49	23,51	539,83	96,17	539,83	28	0	511,83
55	299	2,6261	26,2606	73,74	26,26	247,96	51,04	247,96	5	0	242,96
65	179	3,0014	30,0142	69,99	30,01	144,44	34,56	144,44	5	0	139,44
75	92	2,9831	29,8312	70,17	29,83	74,65	17,35	74,65	0	0	74,65
85	31	2,9110	29,1100	70,89	29,11	24,68	6,32	24,68	0	0	24,68
95	5	3,6606	36,6056	63,39	36,61	3,59	1,41	3,59	0	0	3,59
105	3	2,9709	29,7089	70,29	29,71	2,51	0,49	2,51	0	0	2,51
115	1	5,5704	55,7042	44,30	55,70	0,70	0,30	0,70	0	0	0,70
125	2	1,9099	19,0986	80,90	19,10	1,65	0,35	1,65	0	0	1,65
135	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
145	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
155	1	4,1380	41,3803	58,62	41,38	0,59	0,41	0,59	0	0	0,59
14519						12762,07	1756,93			12548,07	

C. C. DAP= Centro de Classe de DAP; **N./ha**= número de árvores por hectare; **IPMd**= incremento periódico médio em DAP (centro de classe); **RM**= Razão de Movimentação; **0 Classe**= percentagem de árvores não moveram nenhuma classe de diâmetro; **1 Classe**= percentagem de árvores que moveram uma classe de diâmetro; **Mortalidade N/ha** = valores de mortalidade estimados por hectare por classe de DAP; **Ingresso N/ha** = valores estimados de ingresso por hectare por classe de DAP; **Prognose 2005 N/ha** = valor projetado para um período de 3 anos em relação ao período inicial.

Tabela 07 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2008 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 6 anos.

C. C. DAP	N. /ha	IPMd	RM	% árv. movidas		árvores movidas		Número de Árvores após a movimentação	Mortalidade	Recrutamento	Prognose 2008
				0 Classe	1 Classe	0 Classe	1 Classe				
15	7568	0,7563	7,5625	92,44	7,56	6995,67	572,33	6995,67	971	1180	7204,67
25	3045	0,9745	9,7455	90,25	9,75	2578,87	466,13	2578,87	336	0	2242,87
35	1107	1,2638	12,6376	87,36	12,64	883,94	223,06	883,94	120	0	763,94
45	543	1,5121	15,1208	84,88	15,12	415,35	127,65	415,35	57	0	358,35
55	247	1,7070	17,0696	82,93	17,07	182,14	64,86	182,14	9	0	173,14
65	151	1,9305	19,3053	80,69	19,31	105,68	45,32	105,68	8	0	97,68
75	78	1,8863	18,8633	81,14	18,86	54,73	23,27	54,73	0	0	54,73
85	29	2,0372	20,3718	79,63	20,37	20,56	8,44	20,56	0	0	20,56
95	5	2,8202	28,2023	71,80	28,20	3,17	1,83	3,17	1	0	2,17
105	3	1,6446	16,4460	83,55	16,45	2,11	0,89	2,11	0	0	2,11
115	1	3,0239	30,2394	69,76	30,24	0,44	0,56	0,44	0	0	0,44
125	1	1,7507	17,5070	82,49	17,51	0,81	0,19	0,81	0	0	0,81
135	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
145	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
155	1	4,1380	41,3803	58,62	41,38	0,59	0,41	0,59	0	0	0,59
12779						11244,05	1534,95	11244,05	10922,05		

C. C. DAP= Centro de Classe de DAP; **N./ha**= número de árvores por hectare; **IPMd**= incremento periódico médio em DAP (centro de classe); **RM**= Razão de Movimentação; **0 Classe**= percentagem de árvores não moveram nenhuma classe de diâmetro; **1 Classe**= percentagem de árvores que moveram uma classe de diâmetro; **Mortalidade N/ha** = valores de mortalidade estimados por hectare por classe de DAP; **Ingresso N/ha** = valores estimados de ingresso por hectare por classe de DAP; **Prognose 2008 N/ha** = valor projetado para um período de 6 anos em relação ao período inicial.

Tabela 08 Prognose da distribuição diamétrica para o período de 2011 utilizando o método da Razão de Movimentação com intervalo de 9 anos.

C. C. DAP	N. /ha	IPMd	RM	% árv. movidas		árvores movidas		Número de Árvores após a movimentação	Mortalidade	Recrutamento	Prognose 2011
				0 Classe	1 Classe	0 Classe	1 Classe				
15	6894	1,6668	16,6680	83,33	16,67	5744,91	1149,09	5744,91	1517	1706	5933,91
25	2780	2,0698	20,6977	79,30	20,70	2722,46	57,54	2722,46	538	0	2184,46
35	977	2,7901	27,9010	72,10	27,90	949,74	27,26	949,74	181	0	768,74
45	479	3,2764	32,7645	67,24	32,76	463,31	15,69	463,31	75	0	388,31
55	221	3,6649	36,6487	63,35	36,65	212,90	8,10	212,90	12	0	200,90
65	134	4,0134	40,1337	59,87	40,13	128,62	5,38	128,62	1	0	127,62
75	69	3,8232	38,2318	61,77	38,23	66,36	2,64	66,36	0	0	66,36
85	27	3,7191	37,1909	62,81	37,19	26,00	1,00	26,00	0	0	26,00
95	4	5,0134	50,1338	49,87	50,13	3,80	0,20	3,80	0	0	3,80
105	2	4,6685	46,6854	53,31	46,69	1,91	0,09	1,91	1	0	0,91
115	0	6,3025	63,0254	36,97	63,03	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
125	1	2,4669	24,6690	75,33	24,67	0,98	0,02	0,98	0	0	0,98
135	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
145	0	0,0000	0,0000	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0	0,00
155	1	6,6845	66,8451	33,15	66,85	0,93	0,07	0,93	0	0	0,93
11589						10321,91	1267,09			9702,91	

C. C. DAP= Centro de Classe de DAP; **N./ha**= número de árvores por hectare; **IPMd**= incremento periódico médio em DAP (centro de classe); **RM**= Razão de Movimentação; **0 Classe**= percentagem de árvores não moveram nenhuma classe de diâmetro; **1 Classe**= percentagem de árvores que moveram uma classe de diâmetro; **Mortalidade N/ha** = valores de mortalidade estimados por hectare por classe de DAP; **Ingresso N/ha** = valores estimados de ingresso por hectare por classe de DAP; **Prognose 2011 N/ha** = valor projetado para um período de 9 anos em relação ao período inicial.

A estrutura diamétrica foi projetada para intervalos equivalentes aos períodos de medição, ou seja, a cada três, seis e nove anos, sendo realizada para o ano de 2005, para o ano de 2008 e 2011. A projeção estimada para esses anos foi comparada aos dados observados em cada período de medição.

A avaliação das prognoses foi feita com a utilização do teste estatístico de Kolmogorov-Smirnov (K-S). Foram comparadas a estrutura real da floresta no ano de 2005, 2008 e 2011 com os valores projetados pelo método da razão de movimentação.

Nas projeções da distribuição diamétrica realizadas com a razão de movimentação, observou-se que também seguiram a mesma estrutura da floresta nativa (similar a prognose da matriz de transição), com maior número de indivíduos nas menores classes, mantendo a estrutura típica de florestas nativas balanceadas não alteradas (“J” invertido).

Conforme observado nas Tabelas 06, 07 e 08, o método da Razão de Movimentação apresentou valores decrescentes quanto ao número total de indivíduos, sendo que na projeção realizada para os anos de 2008 e 2011 foram as estimativas que apresentaram os valores não aderentes, conforme apresentado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Os valores de D_{calc} foram comparados com o valor tabelado (D_{tab}) obtido na tabela K-S para N indivíduos, bilateral para α 5% de probabilidade de confiança. A hipótese H_0 é condicionada: Se $D_{\text{calc}} \leq D_{\text{tab}}$, aceita-se H_0 .

Desta forma podemos afirmar a Hipótese H_0 : não há diferença entre as frequências esperadas e observadas das categorias da variável ($f_o(x) = f_e(x)$), para a matriz dos anos de 2002 a 2005, 2002 a 2008 e 2002 a 2011. Para a projeção dos anos de 2002 a 2005, o valor tabelado foi de 0,0113 e o valor calculado foi de 0,0096 (aceita-se H_0), para a projeção de 2005 a 2008, o valor tabelado foi de 0,0120 e o valor calculado foi de 0,0648 (rejeita-se H_0) e para a projeção de 2008 a 2011, o valor tabelado foi de 0,0126, e o valor calculado foi de 0,0134, ligeiramente maior que o valor tabelado (rejeita-se H_0).

Analisando-se os valores reais e estimados, os projetados pela razão de movimentação estão mais distantes dos valores reais, já que as projeções pela matriz de transição apresentam valores um pouco menos distantes dos reais, conforme o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

Haverá maiores taxas de ingresso na florestas, somente se ocorrerem aberturas no dossel, seja de forma natural (abertura de clareiras devido a morte e queda das árvores) ou aberturas forçadas (oriundas de manejo florestal), possibilitando um aumento na regeneração natural e, por conseguinte, aumento no recrutamento de novos indivíduos.

Tanto o método de Matriz de Transição quanto o de Razão de Movimentação, podem ser empregados para realizar a prognose da distribuição diamétrica para idades futuras. Tomando-se o cuidado de não realizar prognoses para intervalos muito superiores àqueles observados na medição dos dados.

A Matriz de Transição manteve melhores estimativas, ou seja, aceitou-se H_0 pelo teste de Kolmogorov-Smirnov para as projeções de três, seis e nove anos, enquanto que a Razão de movimentação aceitou H_0 pelos teste de Kolmogorov-Smirnov somente para a projeção de três anos, rejeitando H_0 para as projeções de seis e nove anos.

CONCLUSÕES

Para os diferentes anos, observou-se que a maioria das árvores apresentam maior probabilidade de permanecer na mesma classe diamétrica, do que de mudar uma ou mais classes. Acentua-se a isso, a amplitude temporal empregada, pois menores amplitudes temporais implicam em menor probabilidade de migração de classe, devido o menor tempo incrementado, menores taxas de mortalidade e recrutamento.

É importante ressaltar, que uma grande contribuição para sucesso das projeções foi o fato da floresta apresentar baixas taxas de mortalidade e ingresso, dando assim maior consistência ao modelo. Sendo $p > \alpha$, aceitou-se H_0 (aceita-se a distribuição testada) para ambos os casos.

As estimativas elaboradas neste estudo mostraram que o uso da matriz de transição pode ser um valioso instrumento ao manejador florestal. Verificou-se que o modelo pode produzir simulações satisfatórias da distribuição diamétrica. O modelo apresentado pode ser utilizado para elaborar simulações do desenvolvimento futuro da floresta mesmo em florestas com históricos antigos de exploração.

O emprego do método de matriz de transição apresentou resultados satisfatórios na projeção da estrutura diamétrica para todas as espécies para os anos de 2005, 2008 e 2011, onde os valores estimados se mostraram bastante próximos aos valores reais observados. Houve uma ligeira superestimativa no número total de árvores por hectare na projeção dos anos de 2005, 2008 e 2011.

A projeção por matriz de transição deve ser utilizada com cautela na elaboração de planos de manejo, visto que apresenta estados absorventes (probabilidade de transição igual a zero), ou seja, neste estudo não promoveu a transição de árvores para as classes de DAP maiores que 135 cm.

A acuracidade das estimativas está intimamente ligada às formas de emprego do modelo e suas configurações. Ambas as projeções apresentaram estimativas aderentes às observações reais segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, indicando que a matriz de transição pode ser utilizada para projetar satisfatoriamente a estrutura diamétrica real da floresta.

O uso da Matriz de Transição e da Razão de Movimentação apresentam grande vantagem por ser facilmente construídas, apresentando a possibilidade de desenvolvimento a partir de no mínimo duas medições sucessivas.

As maiores distâncias entre valores observados e projetados foram encontrados nas classes diamétricas inferiores, onde são encontradas as maiores frequências de indivíduos e os processos de dinâmica florestal são mais intensos. Soma-se a isso, as propriedades Markovianas, que podem interferir nas projeções potencializando os erros de estimativas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDER, D.; SYNNOTT, T. J. Permanent sample plot techniques for mixed tropical forest. Tropical Forestry Papers, Oxford Forestry Institute, Department of Plant Ciencias, University of Oxford, n. 25, 1992.

ARCE, J. E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C. R.; WENDLING, J. L. G.; MAESTRI, R. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. Revista Floresta, Curitiba, v. 27, n.1/2, p. 83-98, 2001.

AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; SOUZA, A. L., MEUNIER, I. M. J.; SANTOS, E. S: Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.2, p.227-232, 2004.

AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. Forest management. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 1994. 432p.

AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Um modelo de matriz de transição para prognose do crescimento de um povoamento natural remanescente não manejado de mata atlântica. Revista Árvore, v.19, n.2 p.187-199, 1995.

BERNARDO, E. M. Processos Markovianos de decisão. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências Tecnológicas, 2000.

BOLDRINI, J. L.; COSTA, S. I. R.; RIBEIRO, V. L. S. F. F.; WETZER, H. G. Álgebra linear. São Paulo, Haper & Row Brasil, 1978. 805p.

BRENA, D. A. Comparação dos métodos de inventários florestais sucessivos em relação a amostragem com repetição parcial, aplicados em uma população estratificada. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, 127 p. 1979.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. Forest Science, Washington, v. 26, n. 4, p. 609-625, Dec. 1980.

CANALEZ, G. G.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Dinâmica da estrutura da comunidade de Lauráceas no período 1995-2004 em uma floresta de Araucaria no sul do estado do Paraná, Brasil. Ciência Florestal, v. 16, n. 4, p. 357-367, 2006.

CHAGAS, R. K. Dinâmica de população e prognóstico de produção de espécies arbóreas em um fragmento de floresta Estacional Semi-Decidual Montana em Lavras, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado, UFL/ Lavras, MG, 2000, 66 p.

COSTA NETTO, P. L O. Estatística. Editora E. Blücher, 1977, 264 p.

COLPINI, C.; SILVA, V. S. M.; SOARES, T. S.; HIGUCHI, N.; TRAVAGIN, D. P.; ASSUMPTÃO, J. V. L. Incremento, Ingresso e Mortalidade em uma floresta de contato ombrófila aberta/ estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. Revista: Acta Amazônica, Vol. 40 (3) 2010: 549-556.

DISPERATI, A. A.; DISPERATI, J.; LISBOA, G. S.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Delineação visual de copas de árvores em fotografias aéreas de alta resolução de uma área com vegetação natural de Araucaria: resultados parciais. IN: V Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal. Curitiba, ANAIS, 15-17 outubro 2002, p. 241- 242. 2002.

DURIGAN, M. E. Florística, dinâmica e análise protéica de uma Floresta Ombrófila Mista em São João do Triunfo - PR. Curitiba, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. Técnicas Florestais, Idade e Crescimento das Árvores. Brasília: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal v.7, n.1, 2005, 47 p.

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. Floresta, v. 40, n. 4, p. 763-776, 2010.

FINOL, U. H. Estudio silvicultural de algunas especies comerciales em El Bosque Universitario "El Caimital" - Estado Barinas. Revista Forestal Venezolana, n. 10, p.17-63, 1964.

FINOL, U. H. Possibilidade de Manejo Silvicultural para las reservas Forestales de la Region occidental, Ver. For. Venez., 12 (17): 81-107, 1969.

HIGUCHI, N. O uso da cadeia de Markov para projetar a distribuição de frequência (diâmetro e mortalidade) em uma Floresta Tropical Úmida de Terra Firme. In: ENCONTRO SOBRE SILVICULTURA E MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA, 1987, Manaus, Anais... Manaus: INPA/IBDF, 1987, p. 118.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1, Rio de Janeiro, 1992.

LESLIE, P.H. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, London, v. 33, n. 3, p. 183-212, Nov. 1945.

LESLIE, P.H. Some further notes on the use of matrices in population mathematics. *Biometrika*, London, v. 35, n.3/4, p. 214-245, Dec. 1948.

LISBOA, G. S. Fotografias aéreas de escala grande e imagem IKONOS-2 no mapeamento de copas de *Araucaria angustifolia*. Dissertação de Mestrado. Irati, PR: UNICENTRO, 2009.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. Forest Inventory. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH, 1973. 469 p.

LONGHI, S. J. A estrutura de uma floresta natural de *Araucaria angustifolia* (Bertoloni) Otto Kuntze, no sul do Brasil. Dissertação de Mestrado – Pós-Graduação em Engenharia Florestal - UFPR. Curitiba, 1980. 198 p.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. Estudo da estrutura diamétrica para *Araucaria angustifolia* em florestas naturais nos estados da região sul do Brasil. *Revista Floresta*, n. 26. p. 59-70, 1997.

MACHADO, S. A.; BARTOSZEK, A. C. P. S.; OLIVEIRA, E. B. de. Estudo da estrutura diamétrica para a *Araucaria angustifolia* em florestas naturais na região sul do Brasil. *Floresta*, Curitiba, v. 26, n. 1/2, p. 59-70, dez. 1998.

MARTINS, F. R. Estrutura de uma floresta mesófila. Campinas, São Paulo. Editora da Unicamp, 1991.

MARTINS, S. V. Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil. Viçosa, Minas Gerais, Editora UFV, 2009.

MAZZA, C. A. S. Caracterização ambiental da paisagem da microrregião Colonial de Irati e zoneamento ambiental da Floresta Nacional de Irati, PR. São Carlos/ SP: UFSCar, 2006. 147 p. Tese de Doutorado.

MENDONÇA, A. C. A. Caracterização e simulação dos processos dinâmicos de uma área de floresta tropical de terra firme utilizando matrizes de transição. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do

Paraná.

MENDONÇA F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. Dinâmica atmosférica e tipos climáticos predominantes da bacia do rio Tibagi. In: A bacia do rio Tibagi, Cap.2. Londrina, PR: M.E. Medri, 2002. P.589.

MEYER, A.H.; RICKNAGEL, A.B.; STEVENSON, D.D.; BARTOO, R.A. Forest Management. New York: The Ronald Press Company, 1961.

MONSERUD, R. A.; and A. R. Ek. Comparison of two stand growth models for northern hardwoods. Paper presented at meeting of IUFRO working party S4.01 (Mensuration, Growth, and Yield), Oxford, England, September 17-20, 1979. 8 p.

MORAES, A. B.; JACOBI, L. F.; ZANINI, R. R. Estatística. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Departamento de Estatística, Núcleo de Estatística Aplicada da UFSM, 2009.

ORELLANA, E. Funções densidade de probabilidade no ajuste da distribuição diamétrica de um Fragmento de Floresta Ombrófila Mista. Dissertação de Mestrado. 2009. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - UNICENTRO, Irati, 2009.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Inventário Florestal. Curitiba, Editorado pelos autores, 1997, 316 p.

PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. Mensura Forestal. San José: GTZ, 561 p., 1997.

PULZ, F. A. Estudo da dinâmica e a modelagem da estrutura diamétrica de uma floresta semidecídua montana na região de Lavras – MG. Lavras – MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, 156 p., 1998.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. Revista CERNE, Lavras, v.5, n.1, p. 01-14, 1999.

RODE, R. Avaliação Florística e Estrutural de uma Floresta Ombrófila Mista e de uma Vegetação Arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S. Levantamento fitossociológico das principais associações arbóreas da Floresta Nacional de Irati – PR. *Revista Floresta*, p.30-49. 1989.

RODERJAN, C. V.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G. G. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná. *Ciência & Ambiente*, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, n. 24, p. 75-92, jan/ jun 2002.

ROSS, S. *Probabilidade: um curso moderno com aplicações*. Tradutor, Alberto Resende De Conti. 8ª ed. Porto Alegre: Bookman, 608 p. 2010.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. *Manejo Sustentado de Florestas Inequiâneas Heterogêneas*. UFSM, Santa Maria, 2000, 195 p.

SCOLFORO, J. R. S. *Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal, parte 1*. Lavras: ESAL, FAPE, 1994. 188 p.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Modelo de produção para floresta nativa como base para o manejo sustentado. *Cerne*, v.2, n.1, 1996.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de. Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural. In: *Manejo Florestal* (J.R.S. SCOLFORO, org). UFLA/FAEPE, 1998, Lavras, p. 189-246.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. *Florestas Nativas, estrutura, dinâmica e manejo*. Voçosa, MG: Ed. UFV, 2013. 322 p.

SPVS - SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. *Nossas árvores – manual para recuperação da reserva florestal legal*. Curitiba, SPVS, 1996.

USHER, M. B. A Matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests. *Journal of Applied Ecology*, Oxford, v. 3, p. 355-367, 1966.

VANCLAY, J. K. *Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests*. Wallingford: CAB International, 1994. 312 p.

VELOSO, H. P.; GOES-FILHO, L. *Fitogeografia brasileira, classificação fisionômica ecológica da vegetação neotropical*. Salvador: Ministério de Minas e Energia-Projeto RADAMBRASIL, 1982. 80P. (Boletim Técnico. Série Vegetação).