

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS CINOBELINA ELVAS – BOM JESUS (PI)
CURSO: BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Inga* sp. UTILIZANDO A
CADEIA DE MARKOV**

Nayra da Silva dos Anjos

**BOM JESUS, PI
MARÇO – 2023**

NAYRA DA SILVA DOS ANJOS

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Inga* sp. UTILIZANDO A
CADEIA DE MARKOV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharias da Universidade Federal do Piauí, *Campus* “Prof^a Cinobelina Elvas”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Florestal.

Orientadora: Profa. Dra. Andressa Ribeiro

BOM JESUS, PI

MARÇO – 2023

NAYRA DA SILVA DOS ANJOS

**DINÂMICA DE CRESCIMENTO DIAMÉTRICO DE *Inga* sp. UTILIZANDO A
CADEIA DE MARKOV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharias da Universidade Federal do Piauí, *Campus* “Profª Cinobelina Elvas”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Florestal.

Aprovado: 29 de março de 2023

Profa. Dra. Andressa Ribeiro
CPCE/UFPI
(Orientadora)

Prof. Dr. Antonio Carlos Ferraz Filho
CPCE/UFPI
(Membro Convidado)

Sabrina

Me. Sabrina Benmuyal Vieira
GRUPO ARBORIS
(Membro Convidado)

Aos meus pais, Hédio e Marinalva e aos meus irmãos, Mayara, Suyanny, Matheus e Maria Eduarda por toda força e incentivo para a realização deste sonho. Foi tudo por vocês!

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, e o refúgio em todos os momentos. E a Virgem Maria por sempre estar comigo.

Aos meus pais Marinalva da Silva dos Anjos e Hedio de Sousa dos Anjos e aos meus irmãos Mayara, Suyanny, Matheus e Maria Eduarda, por não medirem esforços para me manter em Bom Jesus, por acreditarem em mim e no meu potencial como profissional! Meus eternos agradecimentos.

Aos melhores amigos, Diógenes e Francisca por todo apoio oferecido, amizade incondicional, companheirismo e momentos felizes que compartilhamos durante a minha trajetória acadêmica. Vocês desempenharam um papel muito importante nesse processo, muito obrigada!

A minha orientadora Dra. Andressa Ribeiro por ter aceitado me orientar, por todos os conselhos, conhecimentos repassados para execução e conclusão deste trabalho, durante as disciplinas no decorrer do curso e por ser espelho de profissional para mim. Ao Professor Dr Antonio Carlos pelos conhecimentos compartilhados para execução desse trabalho.

A todos os professores do Curso de Engenharia Florestal do *Campus* Professora Cinobelina Elvas, pelos ensinamentos compartilhados e parceria, em especial ao Professor Marcelo Lopes.

A minha ex supervisora de estágio Sabrina Benmuyal pelo cuidado e dedicação ao compartilhar seus conhecimentos durante o estágio no Grupo Arboris e suas correções para este trabalho.

As minhas amigas e ex-colegas de trabalho, Ana Lúcia e Ana Paula pela motivação e parceria.

Ao Grupo Arboris e a Embrapa Amazônia Oriental por disponibilizar a base de dados para esse trabalho.

A todos que compartilharam momentos inesquecíveis de alegria durante o período de graduação, no qual ficará marcado por toda minha vida.

RESUMO

O gênero *Inga* possui a maioria das espécies inseridas no grupo ecológico das pioneiras, distribuindo-se por todo sudeste da América Central, América do Sul, exceto na região sul do Brasil. O objetivo desse trabalho foi validar o uso do modelo de Markov para projeção da distribuição diamétrica de *Inga* sp. em duas áreas florestais (manejada e não manejada), localizadas no estado do Pará. Foi observado a dinâmica florestal das áreas por meio de uma matriz de transição criada para um intervalo de tempo de 5 anos, incluindo mortalidade, recrutamento e suas transições. Os resultados indicaram que os indivíduos de *Inga* sp. presentes na classe 32,5 cm migrarão para a classe 42,5 cm após 5 anos na área manejada. Para área não manejada, as classes de diâmetro 27,5 e 42,5 cm apresentaram o estado absorvente, com probabilidade igual, característico do modelo. A validação do modelo de Markov representou melhor a área manejada sendo observado maior capacidade de transição e quando comparada à área não manejada, apresentou um erro médio de 1,8 arv/ha e 4,7arv/ha, respectivamente.

Palavras-chave: Modelo de Markov; classe de diâmetro; mortalidade; recrutamento.

ABSTRACT

The genus *Inga* has most of the species included in the ecological group of pioneers, distributed throughout southeastern Central America, South America, except in the southern region of Brazil. The objective of this work was to validate the use of the Markov model for projecting the diametric distribution of *Inga* sp. in two forest areas (managed and unmanaged), located in the state of Pará. The forest dynamics of the areas was observed through a transition matrix created for a time interval of 5 years, including mortality, recruitment and their transitions. The results indicated that individuals of *Inga* sp. present in the 32.5 cm class will migrate to the 42.5 cm class after 5 years in the managed area. For the unmanaged area, the 27.5 and 42.5 cm diameter classes presented the absorbent state, with probability equal to, characteristic of the model. The validation of the Markov model better represented the managed area, with greater transition capacity being observed and, when compared to the unmanaged area, it presented an average error of 1.8 N/ha and 4.7 N/ha, respectively.

Key words: Markov model; diameter class; mortality; recruitment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Gênero <i>Inga</i>	13
2.2 Dinâmica da floresta.....	14
2.3 Crescimento das árvores e Matriz de transição de Markov.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1 Caracterização e localização da área de estudo.....	18
Histórico da área	19
3.2 Análise de dados.....	20
3.2.1 Matriz de transição e prognose.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1 Área manejada	22
4.2 Área não manejada	24
4.3 Comparativo entre as duas áreas	27
5 CONCLUSÃO	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição das 30 parcelas permanentes na área de estudo (Dom Eliseu, PA).....	19
Figura 2 - Comparação da projeção realizada utilizando o Modelo de Markov com dados reais do inventário florestal de 2020 realizado na área manejada.....	24
Figura 3 - Comparação da projeção realizada utilizando o Modelo de Markov com dados reais do inventário florestal de 2020 realizado na área não manejada. ...	26
Figura 4 - Erro calculado para a projeção realizada no ano de 2020 para as áreas manejada e não manejada.	27
Figura 5 - Estimativa da distribuição diamétrica de árvores de <i>Inga</i> sp. no ano de 2024 para as duas áreas de manejo estudadas.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Informações biométricas da área obtida por meio do inventário de 2020.	19
Tabela 2 - Quantidade de árvores por hectare observadas na área manejada nos anos de 2009 e 2014.	22
Tabela 3 - Matriz de probabilidade de transição para a área manejada entre os anos de 2009 e 2014.	23
Tabela 4 - Quantidade de árvores por hectare observadas na área não manejada nos anos de 2009 e 2014.	24
Tabela 5 - Matriz de probabilidade de transição para a área não manejada entre os anos de 2009 e 2014.	25

1 INTRODUÇÃO

O gênero *Inga* Mill. pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae e tribo Ingeae, apresentando mais de 300 espécies registradas. O gênero distribui-se por todo sudeste da América Central, América do Sul, exceto na região sul do Brasil. As árvores de *Inga* são identificadas facilmente a nível de gênero, devido apresentarem características peculiares marcantes nas espécies, como: folhas compostas pinadas, flores com estames numerosos e frutos dispostos em vagens que podem chegar até 1m de comprimento (GOMES et al., 2014; GARCIA, 2017). O *Inga* possui espécies pioneiras (RHEM et al., 2021) e secundárias iniciais (SANTOS et al., 2004) que se beneficiam de áreas abertas ou clareiras na floresta.

Comumente, em áreas de clareiras o ingresso de indivíduos é mais elevado do que árvores mortas. Nessas áreas é onde se inicia o processo de sucessão florestal que ocorre a partir do recrutamento das plântulas até o clímax das árvores. Esse processo caracteriza-se pela dinâmica florestal em que ocorre a substituição de espécies tolerantes por espécies intolerantes a luz. A etapa de construção da floresta inclina-se para o equilíbrio por um período e posteriormente a quantidade de indivíduos mortos se sobressai sobre o ingresso de indivíduos. Já na etapa madura esses parâmetros tendem a alcançar o equilíbrio dinâmico (CARVALHO, 1999; D'ARACE, 2019; FERREIRA et al., 2023; GUILHERME et al., 2021; JARDIM; VASCONCELOS, 2006; VALERIANO, 2010).

O Inventário Florestal Contínuo (IFC) é um aliado fundamental para monitorar o fluxo natural da floresta, pois permite entender sua natureza dinâmica e obter dados quantitativos sobre a condição da floresta ao longo do tempo (NATIVIDADE et al., 2018). Conhecer a dinâmica de crescimento dos indivíduos na floresta possibilita a tomada de decisão no manejo florestal, com base em estimativas de produção, suscetibilidade de espécies e maior eficiência na utilização da madeira. Nesse sentido, Scolforo (1998) ressaltou que o modelo matemático Cadeia de Markov permite realizar a projeção de crescimento florestal por meio da sua estrutura diamétrica. A matriz de transição ou cadeia de Markov é um processo estocástico utilizado para estudar fenômenos que passam, a partir de um estado inicial, por uma sequência de estados, onde a transição de um determinado estado ocorre segundo uma certa probabilidade (ARCE et al., 1997). Esse método foi empregado em diversos estudos na floresta

Amazônica para fins de manejo florestal, tais como Teixeira et al. (2007); Vasconcelos et al. (2009), Higuchi (1988).

O objetivo desse trabalho foi validar o modelo de Markov e estimar o crescimento diamétrico de *Inga* sp. em uma área florestal manejada e não manejada no estado do Pará.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gênero *Inga*

O gênero *Inga* pertence à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae e tribo Ingeae, conhecido popularmente como ingá ou “ingazeiros”. O termo “ingá” deriva de um termo indígena (tupi) “angá = ingá”, que significa: “possui semente envolvida”, que por sua vez é caracterizada pela união entre o tegumento, endocarpo e semente GOMES et., al 2014).

As espécies de ingá são facilmente identificadas a nível de gênero por apresentarem folhas compostas pinadas com uma glândula entre cada par de folíolos opostos, as flores contêm diversos estames em formato tubular e os frutos são dispostos em vagens que podem atingir até 1 m de comprimento, mas a maioria das espécies costumam produzir frutos com diâmetro entre 10 e 30 cm (GOMES et., al 2014). A distribuição fitogeográfica do ingá estende-se pelo oeste da América do Sul e sudeste da América Central, o interior e litoral brasileiro (exceto a região sul), contando com aproximadamente 300 espécies catalogadas, tendo a Amazônia o seu atual centro de biodiversidade (BISHOP, 2023).

Este gênero é muito plástico, sendo comum encontrar ingazeiros ao longo de rios e lagos e em terra firme, além disso, é muito procurada por animais e humanos devido suas sementes serem cobertas por uma polpa marrom ou branca (dependendo da espécie), com um gosto adocicado. Em geral, o ingá apresenta crescimento floral periódico maior do que outros gêneros vegetais, podendo ser trimestrais, semestrais e anuais (FERREIRA, 2020).

A história do cultivo de ingá na América tropical remonta aos colonos pré-colombianos que primeiro plantaram as árvores para comer seus frutos. O tecido macio, doce e escuro que cobre as sementes dentro das vagens é um componente essencial da fruta. Toda a América tropical ainda está envolvida no cultivo de frutas para produção e comércio, e cada região tem sua própria espécie local preferida

(LIMA, SANTOS, PORTA, 2018), por serem usadas como um componente de uma cultura agrícola bem-sucedida e multifuncional.

As espécies do gênero *Inga* possuem árvores de crescimento rápido e exigente em luz que pode se estabelecer com sucesso na vegetação secundária e competir com plantas daninhas. Além disso, o gênero apresenta uma alta taxa de germinação podendo ser cultivado facilmente a partir de sementes com uma taxa de sucesso de cerca de 95 a 100% (LORENZI, 2021). Algumas espécies de ingá podem crescer em solos com pouca fertilidade, como as áreas quase áridas da Amazônia que muitas outras leguminosas não toleram. As espécies ingá também produzem nódulos radiculares contendo bactérias fixadoras de nitrogênio; estes fornecem nitrogênio às culturas cultivadas, melhorando seu crescimento e rendimento (ALMEIDA, 2013).

Algumas espécies deste gênero podem ser aproveitadas para compor sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas (PORTO et al., 2017). Suas folhas e galhos podem ser utilizadas na produção de adubo orgânico, proteção do solo contra insolação, conservação da umidade do solo (LEBLANC et al., 2005), no sombreamento de plantios de café e na fixação de nitrogênio para o solo (GROSSMAN et al., 2006).

No Estado do Pará o fuste do ingá é amplamente comercializado e beneficiado na produção de laminados, madeira aplainada em duas faces, toras de madeiras nativas, madeira laminada torneada, entre outros produtos. Sendo o *Inga lateriflora* com maior volume explorado representando 937,21 m³, seguido por *Inga macrophylla* com 731,96 m³ e *Inga quadrangularis* com 689,34 m³ (SISFLORA PARÁ, 2016).

2.2 Dinâmica da floresta

Estudos da dinâmica de populações de espécies arbóreas consistem no monitoramento ao longo do tempo das mudanças que ocorrem na floresta em termos de distribuição e abundância, sendo necessário realizar o acompanhamento de parcelas permanentes por meio do inventário contínuo (OLIVEIRA-FILHO et al., 1997; SOUZA et al., 2017; VATRAZ, 2023). Estudar o comportamento e a distribuição diamétrica de uma espécie ou floresta é considerado um fator essencial para um bom planejamento, controle de atividades florestais e principalmente para que se tenha um conhecimento e instrumento para predição de produções futuras, permitindo inferências sobre o comportamento do crescimento do maciço florestal (NETTO, 2008).

O início da dinâmica de um povoamento multiêneo se dá por meio da formação de clareiras, no qual resulta em alterações nas características edafoclimáticas, iniciando o processo de regeneração e posteriormente a sucessão florestal. Já o resultado final do processo dinâmico na formação de uma floresta são variáveis como, crescimento e mortalidade (MOSCOVICH, 2006).

As variáveis mortalidade e ingresso são consideradas alicerce para estudar a dinâmica florestal, pois indicam mudanças na abundância de espécies e potenciais fatores que podem estar influenciando no processo sucessivo, bem como as implicações para a comunidade, quando analisadas em conjunto com as taxas de crescimento (VANCLAY, 1994).

Um povoamento florestal nativo pode ser compreendido como um ecossistema complexo, no qual o seu desenvolvimento e estrutura envolvem uma gama de fatores, como: (BUCHMAN et al., 1983; GOMES et al., 2022). Segundo Sanquetta et al. (1994) e Sambuchi (2006) relatam que a complexidade do processo de mortalidade e a incerteza em torno do período que ocorreu a morte das árvores são as principais razões pelas quais a mortalidade continua sendo um dos componentes de menor compreensão das estimativas de crescimento da produção.

O ponto de partida para se estudar a dinâmica de populações é obter informações sobre as taxas de mortalidade e reprodução que ocorreu na respectiva área de estudo (ODUM, 1983; CALIMAN et al., 2020). A taxa de mortalidade de uma floresta, delibera-se acerca do número de árvores que perecem dentro da faixa de monitoramento (AZEVEDO, 2006). O oposto da mortalidade é a sobrevivência, que se exprime como a proporção de árvores vivas em relação à população inicial de indivíduos. Para Nascimento et al. (2012), essas variáveis em conjunto indicam a produção florestal considerando o total de árvores em uma parcela ou subparcela.

A entrada de indivíduos em uma população ou comunidade é considerada como recrutamento florestal. Logo, árvores recrutadas são aquelas que entraram no inventário, porém, não estavam presentes no monitoramento anterior ou são aqueles indivíduos que atingiram o diâmetro mínimo proposto no período analisado (CONDIT; HUBBEL, FOSTER, 1993; LANA et al., 2015). Para que a produção seja sustentável após o ingresso, é indispensável continuar os monitoramentos até a floresta apresentar as características desejadas em termos de altura e diâmetro (SILVA, 1989).

Vatraz (2023) e Kohyama e Takada (1998) afirmaram que para se obter estimativas de recrutamento em um tamanho mínimo de indivíduo é mais complexo do que prever a mortalidade de árvores, isso deve-se ao fato do número de árvores recrutadas ser diversa dependendo do tamanho da unidade amostral e sobretudo, o intervalo de tempo entre as medições.

Estudar e monitorar o ingresso de indivíduos em florestas naturais é significativo do ponto de vista silvicultural e de manejo, visto que a quantidade e qualidade de regenerantes vai determinar se a sucessão florestal será satisfatória. Para manter-se sustentável a produção florestal é imprescindível que ocorra uma taxa alta de regeneração de espécies que sejam frequentemente recrutadas no povoamento, e que estas sejam economicamente importantes e se estabeleçam com sucesso para continuidade dos ciclos de corte (AZEVEDO; SOUZA; JESUS, 1995).

2.3 Crescimento das árvores e Matriz de transição de Markov

O crescimento de uma árvore pode ser medido ao longo do tempo pela altura, diâmetro, área basal, biomassa e volume, entre outros. O crescimento pode variar entre espécies ou entre indivíduos da mesma espécie, sendo árvores de diferentes tamanhos, composição genética ou situadas em habitats distintos (SCOLFORO, 2006).

Para Imaña Encimas et al. (2005), fatores edáficos, climáticos, fisiológicos e topográficos afetam o ritmo de crescimento das árvores. O crescimento em altura ou crescimento primário se dá por meio da divisão celular no qual estimula a gema terminal, mais evidente na fase juvenil da planta. Já o crescimento em diâmetro, também chamado de crescimento secundário, se refere a estrutura horizontal da floresta onde é estimulado especialmente pelo espaçamento, e os mesmos aspectos presentes na altura. Em suma, uma planta cresce primeiro em altura e posteriormente em diâmetro (PAIVA et al., 2022).

A Cadeia de Markov ou matriz de transição de Markov é um modelo matemático estocástico de parâmetro discreto e homogêneo que utiliza como base as classes diamétricas para projetar o incremento da produção florestal nativa para o futuro (ARCE et al., 1997; VILLANOVA, et al., 2018). Usher (1969) aplicou a matriz de transição pela primeira vez no setor florestal em um plantio de *Pinus sylvestris* na Escócia, medindo em ciclos de seis anos. Desde então, diversos pesquisadores

passaram a estudar o incremento diamétrico de povoamentos florestais através da matriz de transição (DE AZEVEDO et al., 1994; MACHADO et al., 2017; VANCLAY, 1994; SCOLFORO, 1998; SANQUETTA et al., 1996).

Para se obter essa prognose em um período conhecido é necessário observar as transições que ocorreram nas classes de diâmetro, como por exemplo, as árvores senescentes, as árvores que não migraram de classe, a quantidade de árvores por classe, desde o início do monitoramento (REIS et al., 2018). A matriz de transição é considerada um modelo de classe diamétrica possível de ser realizado a partir de duas medições, podendo ser aplicado para florestas nativas e exóticas.

Não é recomendado utilizar o modelo da matriz de transição para medições com períodos muito longos, por dois motivos: o incremento horizontal periódico proveniente de parcelas permanentes, possui valores semelhantes ao obtido em medições anteriores. Diante disso, por mais que a floresta manifeste mudanças em sua estrutura, ela seguirá apresentando o mesmo incremento periódico comparado com a avaliação de entrada. E segundo, porque a prognose da floresta está atrelada apenas a medição de partida, nenhum atributo passado da floresta irá influenciar, sendo essa característica conhecida como propriedade Markoviana (MENON; FIGUEIREDO FILHO; WATZLAWICK, 2010; YEH e HSU, 2019).

A cadeia de Markov é composta por três variáveis importantes, sendo: mortalidade, ingresso e a matriz de transição. A possibilidade da transição de indivíduos em cada período de medição é possibilitada pela razão das árvores que mudaram de classe, as que morreram ou que permaneceram na mesma classe em função da quantidade de árvores presentes na classe desde o início do período de monitoramento. Logo, a distribuição diamétrica da floresta é projetada de um determinado tempo t para tempo $t+\theta$, e o estado da floresta no tempo $t+\theta$ podem ser integralmente deliberados pelo estado no tempo t e pelo recrutamento no período entre medições (SCOLFORO, 1998).

Uma particularidade marcante da cadeia de Markov é o estado absorvente, que é caracterizado pelas árvores que não migram de uma determinada classe diamétrica para outra, e sua probabilidade é igual a 1. Desse modo, as projeções da quantidade de indivíduos nas classes de diâmetros anteriores não podem extrapolar a classe que apresentou a característica de absorvência. Com isso, ocorrerá um aumento crescente na quantidade de indivíduos nessa classe. À medida que novas prognoses

forem realizadas, este aumento será mais evidente, já que as árvores não passam mais dessa classe. Essa é uma limitação desse modelo, pois afeta significativamente a prognose da floresta impossibilitando que o estado de equilíbrio seja identificado (PULZ et al., 1999).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e localização da área de estudo

O estudo foi realizado em um fragmento florestal de 535,6 ha, na Fazenda Shet, propriedade do Grupo Arboris, no município de Dom Eliseu, localizado no bioma amazônico (4°17'30.93"S e 47°48'38.54"O). O clima predominante da região é do tipo Awi (tropical chuvoso) caracterizada por uma estação seca definida, conforme classificação de Köppen. A temperatura média anual corresponde a 26° C e a precipitação anual média é de 1740 mm, sendo que de janeiro a maio são registrados os maiores volumes (GONÇALVES et al., 2008).

A área amostral é composta de 30 parcelas permanentes com dimensões de 50 x 50 m (2.500 m²), acumulando 7,5 ha de área amostral sendo 5 ha (20 parcelas) com interferência de extração de madeira e 2,5 ha (10 parcelas) classificadas como controle (sem colheita). Cada parcela é dividida em 25 subparcelas com dimensão de 10 x 10 m (100 m²).

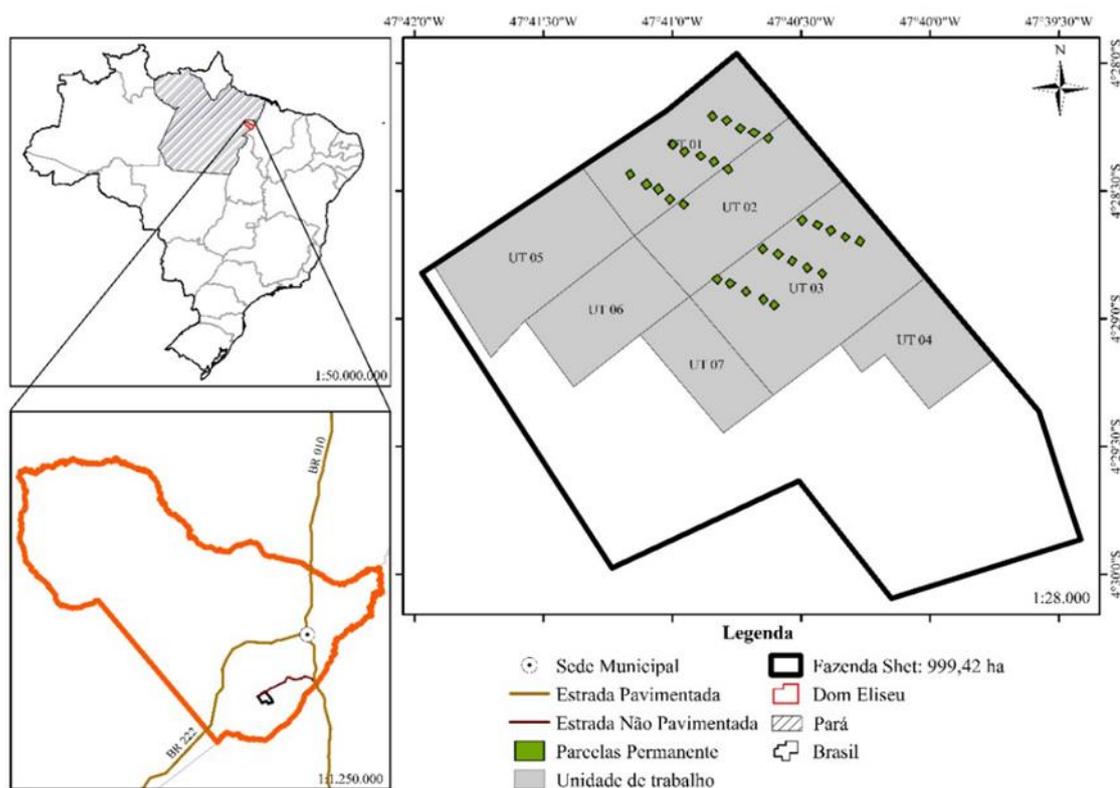
Foram utilizados dados de todas as árvores com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) \geq 5 cm de *Inga* sp., coletados nas 30 parcelas permanentes provenientes dos inventários florestais contínuos realizados nos anos de 2009, 2014 e 2020. As parcelas instaladas na Fazenda Shet, foram instaladas para fins de estudos científico. De acordo com Smoginski et al. (2012) o gênero *inga* é o segundo de maior dominância na área, sendo um dos motivos pelos quais o ingá foi escolhido para este estudo. Pois representa 9,4% das espécies inventariadas no censo florestal realizado em 2008, ficando atrás apenas do gênero *Cecropia* com 13,1%. A Tabela 1 mostra o ingá em relação a floresta analisada.

Tabela 1 - Informações biométricas da área obtida por meio do inventário de 2020.

	<i>Inga.sp</i>		Floresta	
	Manejada	Não manejada	Manejada	Não manejada
DAP (médio)	11,95	11,85	12,19	12,44
DAP (min)	5,00	5,00	5,00	5,00
DAP (máx)	55,10	45,80	95,20	109,60
N/ha (arv/ha)	116,40	116,00	1394,80	1234,80
G (m ² /ha)	8,79	4,18	129,11	64,97

Arv/ha: número de árvores por hectare; G: área basal; DAP's em cm.

Figura 1 - Disposição das 30 parcelas permanentes na área de estudo (Dom Eliseu, PA).



Fonte: Grupo Arboris

Histórico da área

No período de 1970 a 1990 não existiam leis ambientais específicas quando se falava em colheita de madeira na Amazônia. Com isso, a área de estudo sofreu intensa exploração florestal, onde não se tem dados sobre volume de madeira extraído. Entre 1993 e 1994, foi registrada a primeira extração legal de madeira com o volume médio de 64,2 m³.ha⁻¹, e a partir de 2006 a legislação sofreu alteração

permitindo a retirada de até 30 m³/há⁻¹. Nesse mesmo período, foi realizado plantio de enriquecimento de clareiras com a espécie *Schizolobium parayba* var. *amazonicum*, nativa da Amazônia, para promover o adensamento florestal resultante do intenso processo exploratório no passado (SIVIERO et al., 2020).

Em 2009, foi instalado 30 parcelas permanentes para fins de estudos das espécies ocorrentes em áreas exploradas e não exploradas. No ano de 2014, ocorreu a remedição das parcelas permanentes e a segunda colheita de madeira em que foi retirado 29,99 m³. ha⁻¹. O último monitoramento nas parcelas ocorreu em 2020, onde todas as medições realizadas foram em parceria com a Embrapa Amazônia Oriental.

3.2 Análise de dados

3.2.1 Matriz de transição e prognose

A estimativa de transição de cada período da prognose foi obtida por meio da matriz de transição (G):

$$G = \begin{matrix} & & i1 & i2 & i3 & i4 & & In \\ \begin{matrix} i1 \\ i2 \\ i3 \\ i4 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ In \end{matrix} & \left[\begin{matrix} a1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots 0 \\ b2 & a2 & 0 & 0 & 0 & \dots 0 \\ c3 & b3 & a3 & 0 & 0 & \dots 0 \\ d4 & c4 & b4 & a4 & 0 & \dots 0 \\ 0 & d5 & c5 & b5 & a5 & \dots 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & cn & bn & an \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Em que:

In = classes de diâmetro

$$ai = \frac{\text{Quantidade de árvores vivas que continuaram na } i\text{ésima classe diamétrica no período de tempo } (\Delta t)}{\text{Quantidade de árvores presentes na } i\text{ésima classe diamétrica no tempo } t_1}$$

$$bi = \frac{\text{Quantidade de árvores vivas que mudaram da } i\text{ésima classe diamétrica + para } i\text{ésima classe diamétrica}+1 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{Quantidade de árvores presentes na } i\text{ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

$$ci = \frac{\text{Quantidade de árvores vivas que mudaram da } i\text{ésima classe diamétrica + para } i\text{ésima classe diamétrica}+2 \text{ no período de tempo } (\Delta t)}{\text{Quantidade de árvores vivas que mudaram da } i\text{ésima classe diamétrica no tempo } t}$$

Para quantificar a matriz de transição, a árvore deve continuar viva e não ser extraída da floresta no período de monitoramento, para não interferir em *ai*, *bi* e *ci*. A sigla *ai* na matriz G, significa a probabilidade das árvores permanecerem na mesma classe, *bi* é a probabilidade das árvores migrarem um centro de classe diamétrica e já sigla *ci* é a probabilidade das árvores migrarem duas classes diamétricas, e assim sucessivamente.

Em um povoamento florestal é imprescindível levar em consideração a mortalidade (*mi*), bem como o ingresso de árvores (*li*), sobretudo nas primeiras classes diamétricas.

As árvores mortas e ingressantes foram contabilizadas em razão do segundo inventário. Para compor a matriz de Markov, são necessários dois parâmetros essenciais: a determinação do espaço matricial e a estruturação da matriz prognóstica (SANQUETTA et al., 1996). De acordo com os dados coletados no estudo, o espaço matricial foi composto por 12 estados para as parcelas colhidas: recrutamento (R), 10 centros de classe diamétricas (com amplitude de 5 cm) e a mortalidade (M); e 11 estados para as parcelas testemunhas: recrutamento (R), 9 centros de classes e mortalidade (M).

Inicialmente, para montar a matriz de Markov, calculou-se a frequência absoluta das mudanças ocorridas entre os estados em um intervalo de tempo de cinco anos (2009-2014) nas duas áreas analisadas.

A dinâmica florestal observada na matriz em cada intervalo de tempo foi empregada da seguinte maneira: transição para as classes superiores (CLD) por meio do crescimento em diâmetro, a continuação de indivíduos na mesma classe diamétrica, mortalidade e recrutamento (transição do primeiro estado para quaisquer um dos estados de recrutamento, classes diamétricas e mortalidade).

A projeção da floresta foi obtida pela fórmula:

$$Y_2 = G * (Y_1 - M) + R$$

Em que:

Y_2 = Número de árvores estimadas por classe após 5 ano;

G = Matriz de transição;

Y_1 = Vetor contendo o número de árvores por classe diamétrica no presente;

M = Árvores mortas por classe diamétricas;

R = Recrutamento.

Com base nos dados coletados no período de 2009 a 2014, realizou-se a projeção diamétrica para o ano de 2019 (5 anos). Entretanto, a matriz inicial de transição para a primeira entrada de dados, permanece igual em todas as projeções, mudando apenas os valores de entrada de Y_1 , que são os valores no presente. Os valores estimados para 2019 foram comparados aos valores observados no inventário florestal realizado em 2020.

Uma nova projeção foi realizada para 2024, utilizando-se a estimativa de árvores por CLD obtidas na projeção resultante ano de 2019, a fim de verificar a dinâmica de crescimento diamétrico do ingá 5 anos no futuro. Para avaliar o ajuste do modelo de transição, o erro absoluto foi calculado entre os valores observados e estimados nas diferentes classes diamétricas para as diferentes projeções realizadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Área manejada

A partir dos inventários executados em 2009 e 2014 contabilizou-se os indivíduos por classe de diâmetro, objetivando validar com o inventário realizado em 2020. A Tabela 1 mostra a quantidade de árvores por hectare nas diferentes classes diamétricas nos anos de 2009 e 2014 para a área manejada.

Tabela 2 - Quantidade de árvores por hectare observadas na área manejada nos anos de 2009 e 2014.

*CLD	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	37,5	42,5	47,5	R	M	2014
7,5	34,8								32,2	20,4	34,8
12,5	18,0	11,0							2,8	8,0	29,0
17,5	4,0	9,8	5,0						0,4	3,2	18,8
22,5		1,0	3,0	2,4					0,2	0,8	6,4
27,5		0,4	0,8	1,4	1,0				0,2	0,2	3,6
32,5				0,2						0,2	0,2
37,5				0,2	0,2					0,0	0,4
42,5						0,2	0,2			0,0	0,4
52,5								0,2		1,0	0,2
2009	56,8	22,2	8,8	4,2	1,2	0,2	0,2	0,2		0,0	

*CLD – centro de classe diamétrica (cm); R – árvores recruta/ingresso; M – mortalidade.

Em um intervalo de cinco anos em que ocorreu os inventários, houve o ingresso de 34,8 arv/ha no sistema, no qual 36% estavam presentes na primeira classe diamétrica. Observou-se também uma mortalidade de 37,10% do total de árvores

nessa mesma classe de diâmetro. Foi observado em 2009 um total de 93,8 arv/ha de *Inga sp.*, mensuradas nas 20 parcelas permanentes. Em 2014, a frequência de indivíduos observada foi de apenas 60 arv/ha, subtraindo o total de indivíduos senescentes.

Proveniente da tabela 1, a tabela 2 mostra a matriz G de probabilidade calculada para a área manejada. Tal matriz ilustra a chance de cada indivíduo migrar de classe diamétrica, passar para classes maiores, retirar-se do sistema através da mortalidade ou permanecer no estado atual.

Tabela 3 - Matriz de probabilidade de transição para a área manejada entre os anos de 2009 e 2014.

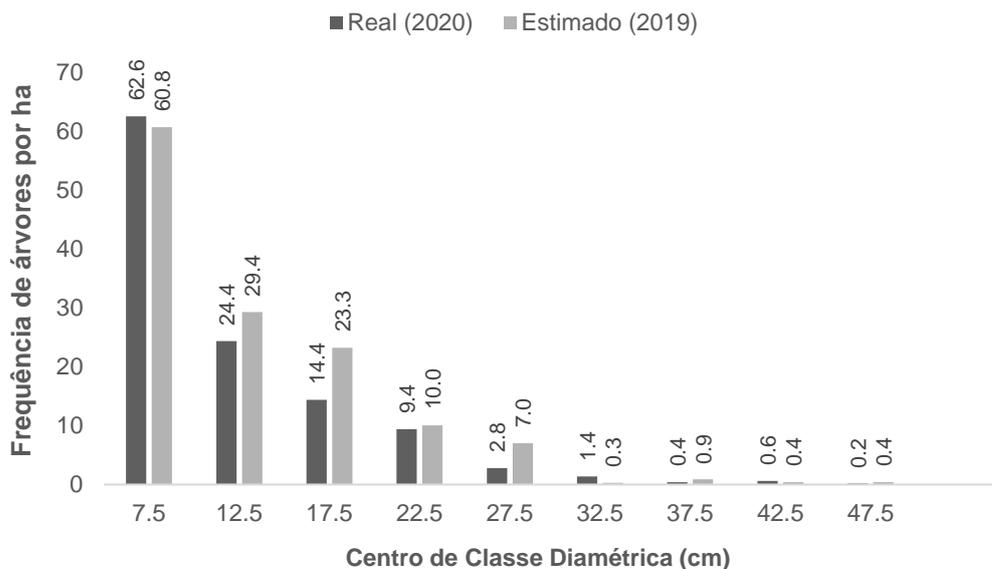
CLD (2009/2014)	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
7,5	0,613								
12,5	0,317	0,495							
17,5	0,070	0,441	0,568						
22,5		0,045	0,341	0,571					
27,5		0,018	0,091	0,333	0,833				
32,5				0,048					
37,5				0,048	0,167				
42,5						1	1		
47,5								1	

Foi observado que a probabilidade das árvores continuarem no centro de classe 7,5 cm no período de 2009 a 2014 é de 61,3%, considerando o total de árvores dessa classe que não atingiram incremento em diâmetro suficiente para avançar mais uma classe. O centro de classe 32,5 cm indica que todas as árvores presentes nessa classe de diâmetro no inventário de 2009, migrarão para a classe 42,5 cm após 5 anos, mesmo apresentando a probabilidade igual a 1. Uma das características da Cadeia de Markov é o estado absorvente, que é caracterizado pela não transição de árvores a partir de determinada classe diamétrica, quando apresenta valores de transição igual a 1 (SCOLFORO, 1998). Entretanto, essa característica de estado absorvente não foi encontrada na área manejada, o mesmo resultado foi encontrado por Reis et al. (2018).

Utilizou-se a medição realizada em 2020 para comparar com a projeção de Markov previamente realizada no intervalo de cinco anos (2009 - 2014) (Figura 2). Apesar de um ano de diferença (2019 para 2020), assumiu-se que tal diferença não

traria impactos significativos nos resultados comparativos, visto que é esperado um incremento baixo de um ano para o outro. Na Figura 2, é possível observar que o número de árvores na primeira classe comparado com o número estimado pelo modelo, representou 97,12% da realidade.

Figura 2 - Comparação da projeção realizada utilizando o Modelo de Markov com dados reais do inventário florestal de 2020 realizado na área manejada.



4.2 Área não manejada

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados encontrados na área não manejada.

Tabela 4 - Quantidade de árvores por hectare observadas na área não manejada nos anos de 2009 e 2014.

CLD	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5	M	R	2014
7,5	50,4									9,6	24,8	50,4
12,5	20,4	21,2								4,4	1,6	41,6
17,5	3,6	9,2	7,6							2,0	0	20,4
22,5		1,2	4,4	0,4						0,4	0	6,0
27,5			0,4	1,6	0,4					0,8	0	2,4
32,5						0,4				0	0	0,4
37,5							0,4			0	0	0,4
42,5						0,4		0,4		0	0	0,8
47,5							0,4			0	0	0,4
2009	74,4	31,6	12,4	2	0,4	0,8	0,8	0,4				

A Cadeia de Markov precisa ter necessariamente o mesmo número de linhas e colunas, que é o tipo de matriz mais conhecida como matriz quadrada (PÉREZ, 2021). Desse modo, a área não manejada apresentou um total de 122,8 arv/ha nos inventários realizados em 2009 e 2014 (mesma quantidade de árvores), sendo 41,04% presentes na primeira classe diamétrica. Em 2014, houve o ingresso de 26,4 arv/ha e mortalidade de 17,2 arv/ha. A partir da Tabela 3, os valores de probabilidade (Tabela 4) foram calculados para inserção na matriz inicial da área não manejada.

Tabela 5 - Matriz de probabilidade de transição para a área não manejada entre os anos de 2009 e 2014.

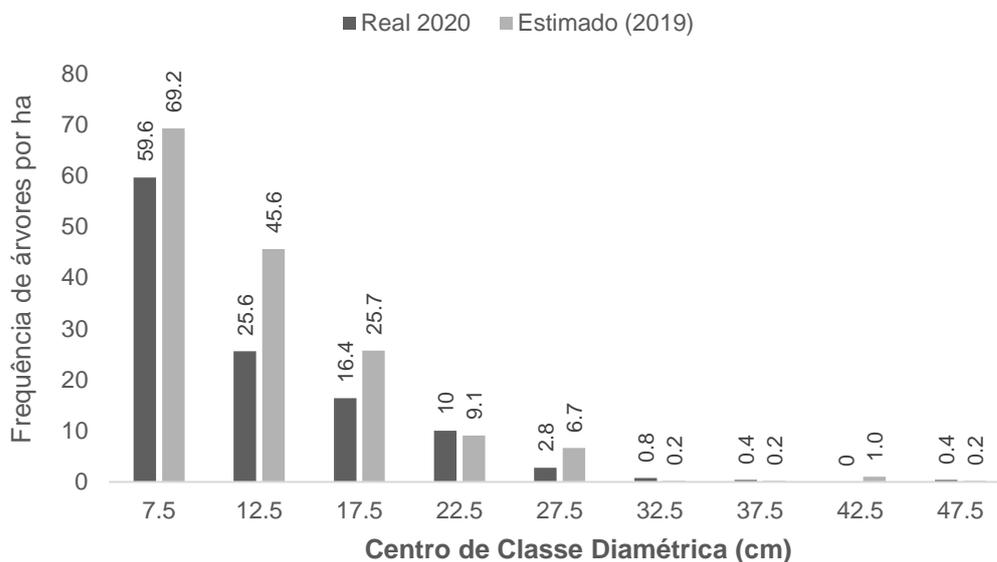
CLD	7,5	12,5	17,5	22,5	27,5	32,5	37,5	42,5	47,5
7,5	0,677								
12,5	0,274	0,671							
17,5	0,048	0,291	0,613						
22,5		0,038	0,355	0,200					
27,5			0,032	0,800	1				
32,5						0,500			
37,5							0,500		
42,5						0,500		1	
47,5							0,500		

Na diagonal principal da Cadeia de Markov as classes 27,5 e 42,5 cm entraram no estado absorvente, ou seja, mesmo após realizar outras projeções, as árvores anteriores a ambas as classes, não avançarão de estado. De acordo com Scolforo 1998, essa limitação pode ser resolvida diminuindo-se a amplitude das classes diamétricas utilizadas no estudo. A Matriz de probabilidade de Markov apresenta algumas desvantagens: o fato de que as prognoses para serem realizadas utilizam-se dados de dois inventários, passando a depender do seu estado inicial, implicando em uma certa inflexibilidade do modelo, visto que, as transformações ocorridas na floresta não são inseridas na transição. Outra restrição é que o período da projeção que só pode ser idêntico ao período em que a matriz de transição foi feita, neste caso 5 anos.

Entretanto, Austrégesilo et al. (2004) ressalta em seu estudo, as vantagens que a utilização desse modelo pode proporcionar, quando se fala na facilidade de obtenção da projeção de crescimento de uma floresta com poucas informações e ainda sim resultar em números bastante otimistas. Na Figura 3, é possível observar que o número de árvores na primeira classe comparado com o número estimado pelo

modelo, superestimou 16,1% a mais que o número de árvores observado em 2020. As classes posteriores (12,5; 17,5 e 27,5 cm) também apresentaram superestimativas, com destaque para o centro de classe 12,5 cm, que estimou 20 árvores/ha a mais que o número de árvores observado na medição realizada em 2020. Essas altas superestimativas ressaltam que o modelo Cadeia de Markov não representa bem a áreas que não são manejadas, já que o modelo apegar-se a um estado inicial e nas áreas sem exploração mudanças praticamente não são detectadas por não haver intervenção nessas áreas (REIS et al., 2018).

Figura 3 - Comparação da projeção realizada utilizando o Modelo de Markov com dados reais do inventário florestal de 2020 realizado na área não manejada.



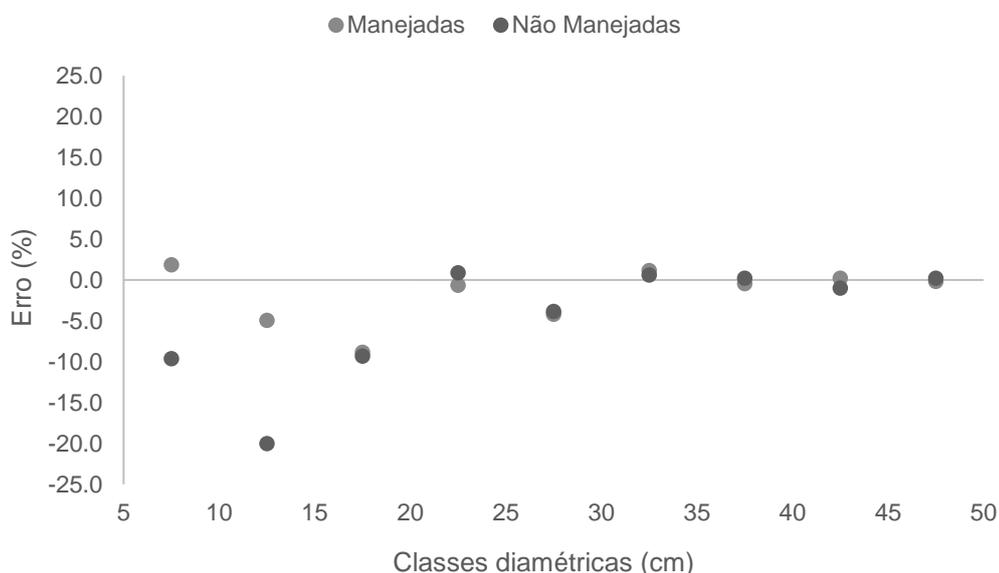
Os dados das duas áreas estudadas representadas pelas Figuras 2 e 3 mostraram que a distribuição diamétrica das áreas de manejo 1 e 2 apresentaram a configuração de exponencial negativa (J - invertido), em que a maioria dos indivíduos se encontram nas classes de diâmetros menores, como o previsto para florestas inequiâneas, resultados estes que corroboram com estudos realizados por Alves Júnior et al. (2009); Lima e Leão (2013); Dos Santos et al. (2016). Diante disso, pode se observar nas Figuras 2 e 3 que o padrão de distribuição do Inga está na mesma configuração estrutural que um povoamento florestal natural.

4.3 Comparativo entre as duas áreas

A área manejada apresentou 93,8 arv/ha (2009/2014) com DAP médio de 13,26 cm e a área não manejada 122,8 indivíduos por hectare com 12,51 cm em média. A área manejada apesar, de ter uma maior área apresentou menos indivíduos que a área não explorada, isso se deve provavelmente por uma extração de árvores ocorrida na área no ano de 2014, antes do inventário florestal onde alguns indivíduos de ingá e outras espécies foram selecionados para a colheita por apresentarem uma alta densidade arbórea (SIVIEIRO et al., 2020). A área manejada apresentou a maior capacidade de transição, pois detêm as menores probabilidades de permanência naquele centro de classe em comparação a área não manejada, ou seja, menores probabilidades nos centros de classes implica em maiores chances de migrações para as classes de maiores diâmetros (SCOLFORO, 1998; REIS et al., 2018).

Avaliando os erros de estimativa para o ano de 2020, a área não manejada, o modelo de Markov superestimou o número de árvores por hectare em comparação com as parcelas manejadas (Figura 4).

Figura 4 - Erro calculado para a projeção realizada no ano de 2020 para as áreas manejada e não manejada.

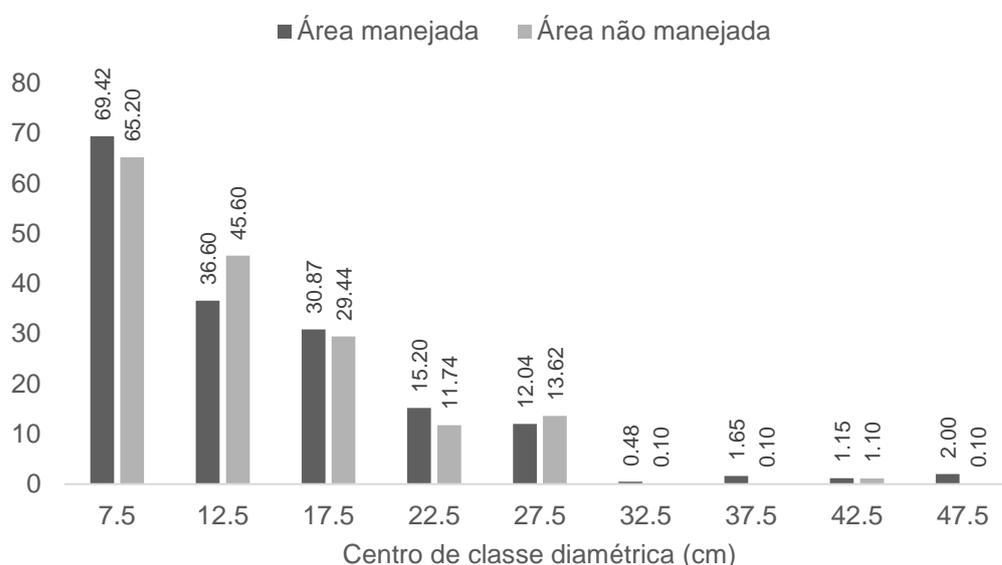


O erro de estimativa para a área manejada foi melhor em comparação a área não manejada, errando 1,8 arv/ha em média, diferente da área não manejada que foi 4,7 árvores por hectare. O centro de classe 12,5 cm sofreu superestimativas de 20 arv/ha, o maior identificado no modelo para as duas áreas. Já as classes 32,5; 37,5; 42,5 e

47,5, obtiveram os menores erros, devido a menor quantidade de árvores presentes na classe (<1 árvore).

Como o interesse do trabalho é focado ao manejo florestal do gênero *Inga*, e pela qualidade do ajuste na área manejada, uma projeção de crescimento diamétrico foi realizada para as duas áreas de manejo para o ano de 2024, a fim de auxiliar na tomada de decisão e gerenciamento florestal futuramente. Foi realizado a prognose do inga utilizando as estimativas de árvores obtidas no ano de 2019 junto a matriz de transição, resultando assim em uma prognose de cinco anos á frente para as duas áreas de manejo (Figura 5).

Figura 5 - Estimativa da distribuição diamétrica de árvores de *Inga* sp. no ano de 2024 para as duas áreas de manejo estudadas.



Foi estimado um total de 69,4 arv/ha de *Inga* sp para área manejada e 65,20 arv/ha para a área não manejada. Observa-se também que a projeção distribuição diamétrica mantém a exponencial negativa e quando comparada com as Figuras 2 e 3, é visível a dinâmica de migração de indivíduos para os centros de classes maiores, o que é esperado para florestas nativas ao longo do tempo.

5 CONCLUSÃO

A validação do modelo de transição de Markov apresentou melhores estimativas para a área manejada (erro médio de 1,8 arv/ha) em comparação à área não manejada (erro médio de 4,7 arv/ha) e apresentando também a maior capacidade de transição de árvores. O uso do modelo de transição de Markov é uma alternativa

para auxiliar no manejo do gênero *Inga*, porém maiores intervalos de tempo deverão ser avaliados até o ciclo final de corte.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, G. et al. Capacidade de nodulação em *Inga* sp. de ocorrência na Amazônia Ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, 2013.

ALVES JUNIOR, F. T. et al. Estrutura diamétrica de um fragmento de Floresta Atlântica em matriz de cana-de-açúcar, Catende, Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 328-333, 2009.

ARCE, J. E. et al. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 27, n. 1/2, 1997.

AZEVEDO, C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação**. Orientador: Carlos Roberto Sanquetta Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

AUSTREGÉSILO, S. L. et al. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. **Revista Árvore**, v. 28, p. 227-232, 2004.

DE AZEVEDO, C. P et al. Predição da distribuição diamétrica da floresta Atlântica pelo emprego da matriz de transição. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 179-193, 1994.

DE AZEVEDO, C. P et al. Predição do ingresso total de um povoamento florestal inequiano na Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 50-64, 1995.

BISHOP, J. Developing an identification key for the vital genus *Inga*. **Royal Botanic Garden Kew**, 2023. Disponível em: <https://www.kew.org/read-and-watch/developing-identification-key-for-inga>. Acesso em: 23 de jan. de 2023.

BUCHMAN et al. A tree survival model with application to species of the Great Lakes region. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 13, n. 4, p. 601-608, 1983.

CALIMAN, Jônio Pizzol et al. TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY OF THE DIAMETER DISTRIBUTION IN A SECONDARY BRAZILIAN ATLANTIC

FOREST SUGGESTS SITE-SPECIFIC MANAGEMENT PRACTICES. **Revista Árvore**, v. 44, 2020.

CARVALHO, J.O.P. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. In: Simpósio Silvicultural na Amazônia Oriental: Contribuições do projeto EMBRAPA/DFID, Belém. Resumos expandidos. Belém: Embrapa. CPATU: DFID. p. 174-179, 1999.

CONDIT, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Identifying fast-growing native trees from the Neotropics using data from a large, permanent census plot. **Forest Ecology and Management**, v. 62, n. 1-4, p. 123-143, 1993.

D'ARACE. **Regeneração natural em clareiras após a colheita florestal na Amazônia Oriental**. Orientador: Ademir Roberto Ruschel. 2019. Tese de Doutorado. UFRA.

DOS SANTOS, R. O. et al. Distribuição diamétrica de uma comunidade arbórea na Floresta Estadual do Amapá, Brasil. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 6, n. 2, p. 24-31, 2016.

FERREIRA, C. A. et al. Comparative wood anatomy of two tropical species. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 43-51, 2020.

FERREIRA, F. R. de L. et al. MODELING DIAMETER DISTRIBUTION OF TREE SPECIES IN A SEMIDECIDUOUS FOREST FRAGMENT. **Revista Árvore**, v. 47, 2023

GOMES, J. I. et al. Conhecendo espécies de plantas da Amazônia: ingá-vermelha [*Inga alba* (Sw.) Willd.-Leguminosae-Mimosoideae]. Belém, PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, Comunicado técnico, 242, 2014.

GOMES, M. da S. et al. Estratégias de projeção da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 902-922, 2022.

GONÇALVES, D. A. et al. Sistema Agroflorestal com Paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum) e banana (*Musa* spp.). Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, 2008. (Folheto).

GROSSMAN, J. M. et al. An assessment of nodulation and nitrogen fixation in inoculated *Inga oerstediana*, a nitrogen-fixing tree shading organically grown coffee in Chiapas, Mexico. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 4, p. 769-784, 2006.

HIGUCHI, N. Short-term growth of an Undisturbed Tropical moist Forest in the Brazilian Amazon. 1988.

HIGUCHI, N.; HUMMEL, A. Desenvolvimento sustentável: a experiência do setor madeireiro. **BIONTE-Biomassa e Nutrientes Florestais, Volume 1, pg. 33-46**, 1997.

ENCINAS, J. I. Idade e crescimento das árvores. Brasília, DF. Universidade de Brasília, Comunicações Técnicas Florestais. 2005.

JARDIM, F. C. DA S.; VASCONCELOS, L. M. R. Dinâmica da regeneração natural de *Rinorea guianensis* Aublet, em uma floresta tropical primária explorada seletivamente, Moju (PA). **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, n. 45, p. 121-134, 2006.

KOHYAMA, T.; TAKADA, T. Recruitment rates in forest plots: Estimates using growth rates and size distributions. **Journal of Ecology**, v. 86, n. 4, p. 633-639, 1998.

LANA, Mayara Dalla et al. Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 71-78, 2015.

LEBLANC, H. A. et al. Neotropical legume tree *Inga edulis* forms N₂-fixing symbiosis with fast-growing Bradyrhizobium strains. **Plant and soil**, v. 275, p. 123-133, 2005.

LIMA, J. P. da C; LEÃO, J. R. A. Dinâmica de crescimento e distribuição diamétrica de fragmentos de florestas nativa e plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, v. 20, p. 70-79, 2013.

LIMA, N. M.; SANTOS, V. N. C.; LA PORTA, F. de A. Quimiodiversidade, bioatividade e quimiosistemática do gênero *Inga* (Fabaceae): uma breve revisão. **Revista Virtual Química**, v. 10, n. 3, p. 459-473, 2018.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 1. ed. Nova Odessa: Plantarum. v. 2. 627p. 2021.

MACHADO, S. et al. Projeção da estrutura diamétrica de grupos ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MENON, M. U; FIGUEIREDO FILHO, A.; WATZLAWICK, L. F. Matriz de transição para predição da distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista na flona de Irati (PR) A transition matrix for diameter distribution prognosis in a Mixed Ombrophylla Forest in Irati National Forest. **Ambiência**, v. 6, n. 2, p. 271-280, 2010.

MOSCOVICH, F. A. **Dinâmica de crescimento de uma floresta ombrófila mista em Nova Prata, RS**. Orientador: Doadir Antônio Bena. 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria (Brasil).

NASCIMENTO, R. G. M. et al. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, p. 209-209, 2012.

NATIVIDADE, M. M. et al. Estrutura e dinâmica florestal, antes e após extração de madeira, em área de manejo florestal na Flona do Tapajós. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 113 – 124, 2018.

NETTO, C. C. et al. Dinâmica da distribuição diamétrica de povoamentos de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e espaçamentos. Orientador: Paulo Renato Schneider. Universidade Federal de Santa Maria. 2008.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Atlanta: University of Georgia, 1983, 434 p.

OLIVEIRA-FILHO. et al. Effects of past disturbance and edges on tree community structure and dynamics within a fragment of tropical semideciduous forest in south-eastern Brazil over a five-year period (1987–1992). **Plant Ecology**, v. 131, p. 45-66, 1997.

PÉREZ, F. L. **Cadeias de Markov**. Departamento de Estatística, UFPR. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~lucambio/CM/CMI.html>>. Acesso em: 3 abr. 2023.

PORTO, D. Set al. Symbiotic effectiveness of Bradyrhizobium ingae in promoting growth of *Inga edulis* Mart. seedlings. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

PULZ, F. A. et al. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiânea com a matriz de transição. **Cerne**, v. 5, n. 1, p. 01-14, 1999.

REIS, L. P. et al. PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA POR MATRIZ DE TRANSIÇÃO EM FLORESTA APÓS COLHEITA NO LESTE DA AMAZÔNIA. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 715–724, jun. 2018.

RHEM, M. F. K. et al. The large mimosoid genus *Inga* Mill.(tribe Ingeae, Caesalpinioideae) is nodulated by diverse Bradyrhizobium strains in its main centers of diversity in Brazil. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 44, n. 6, p. 126268, 2021.

SABOGAL, C. et al. **Diretrizes Técnicas Para a Exploração de Impacto Reduzido em Operações Florestais de Terra Firme na Amazônia brasileira**; Embrapa Amazônia Oriental: Belém, para, Brasil, 2009; pág. 51.

SAMBUICHI, R. H. R. Estrutura e dinâmica do componente arbóreo em área de cabruca na região cacauzeira do sul da Bahia, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, p. 943–954, dez. 2006.

SANTOS, J. H. da S. et al. Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. **Revista Árvore**, v. 28, p. 387-396, 2004.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical rain forest of the Brazilian Amazon after logging.** 1989. 302p. 1989. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)–University of Oxford, Oxford.

SANQUETTA, C. R. et al. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. **Floresta**, v. 24, n. 1/2, 1994.

SANQUETTA, C. R. et al. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v. 6, p. 65-78, 1996.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas.** Lavras: UFLA/FAEPE; 1998. 441p.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria Florestal: Modelos de Crescimento e Produção Florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.

SISFLORA/PA – Relatórios: Beneficiamento e Comércio de Produtos da Madeira por Espécie Florestal. Disponível em: <https://monitoramento.semas.pa.gov.br/sisflora/relatorios.html>. Acesso em: 03 de abril de 2023.

SIVIERO, M. A. et al 2020. Harvesting Criteria Application as a Technical and Financial Alternative for Management of Degraded Tropical Forests: A Case Study from Brazilian Amazon. **Diversity**. v.12, n. 373, p. 1-14, 2020.

SMOGINSKI, A. P. A. Aspectos fitossociológicos de uma floresta antropizada no município Dom Eliseu, Pará. *Reunião Anual da SBPC*, 64, 2 p, São Luís, Maranhão, 2013.

SOUZA, M. S. DE et al. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia Central. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 55–64, 31 mar. 2017.

TEIXEIRA, L. M. et al. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta amazonica**, v. 37, p. 377-384, 2007.

USHER, M. B. Matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forests--two extensions. **Journal of Applied Ecology**, 1969.

VALERIANO, D. D. B. **Dinâmica da floresta ombrófila mista altomontana, Campos do Jordão, São Paulo**. Orientador: Waldir Mantovani. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

VANCLAY, J. K. **Modelling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests**. Cab International, 1994. 329p.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 71-80, 2009.

VATRAZ, S. **Dinâmica de uma área de floresta ombrófila densa no período de oito anos após a colheita de madeira, no município de Paragominas, PA, Amazônia Brasileira**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, p. 114, 2012.

VILLANOVA, P. H. et al. Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a secondary atlantic forest by markov chain. **Revista Árvore**, v. 42, 2018.

YEH, H., HSU, H. **Usando a cadeia de Markov para analisar as características da precipitação e da seca das águas subterrâneas e sua ligação com a circulação atmosférica, 2019**. Sustentabilidade; Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1817/pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2020. doi: 10.3390/su11061817