



UNIVERSIDADE EDUARDO

MONDLANE

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

MESTRADO EM MANEIO E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE

*Estimativa de Estoque de Carbono nos Ecossistemas Florestais da
Província de Manica*



Autora: Flávia das Dores Lili José Tchaúque Dimande

Supervisor: Prof. Doutor Catedrático Almeida A. Siteo

*Estimativa de Estoque de Carbono nos Ecossistemas Florestais da
Província de Manica*

Elaborado por:

Flávia das Dores Lili José Tchaúque Dimande

Supervisionado por:

Prof. Doutor Catedrático Almeida A. Siteo

*Dissertação submetida à UEM-FAEF para a obtenção do Grau de Mestrado em
Manejo e Conservação da Biodiversidade*

Maputo, Setembro de 2018

Índice

AGRADECIMENTOS	v
DEDICATÓRIA	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problema de estudo e Justificação.....	3
1.2 Objectivos	5
1.2.1 Geral.....	5
1.2.2 Específicos	5
1.3 Hipóteses	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Conceitualização	6
2.1.1 Carbono	6
2.1.2 Efeito estufa.....	6
2.1.3 Ciclo de carbono.....	8
2.2 Florestas e Mudanças Climáticas	11
2.3 Fontes de emissão de dióxido de carbono	12
2.4 Importância da quantificação dos estoques de carbono nas Florestas.....	13
2.5 Carbono nos componentes dos ecossistemas florestais.....	15
2.5.1 Carbono da biomassa viva.....	16
2.5.2 Carbono da matéria morta	18
2.5.3 Carbono do solo	19
2.6 Métodos de quantificação do carbono florestal.....	22
2.6.1 Medição da biomassa	23
2.7 Métodos de quantificação do carbono do solo	26
2.8 Estimativas de estoque de carbono em Moçambique.....	28
2.9 Estimativas de estoque de carbono a nível global	29
2.10 Tipos de vegetação	30
2.10.1 Floresta de Mopane	31
2.10.2 Floresta de Miombo	32
2.10.3 Floresta Sempre Verde de Montanha (FSVM).....	34
2.11 Regimes de uso das florestas em Moçambique	35

3. METODOLOGIA.....	37
3.1 Descrição da área de estudo	37
3.2.1 Desenho da amostragem.....	39
3.3 Localização dos pontos de amostragem	40
3.4 Colheita de dados no campo.....	41
3.4.1 Colheita de dados de vegetação arbórea.....	41
3.4.2 Colheita de dados da vegetação herbácea	42
3.4.3 Colheita de dados de serapilheira.....	43
3.4.4 Colheita de dados de solo.....	44
3.5 Trabalho de laboratório	45
3.6 Processamento de dados.....	46
3.6.1 Determinação do estoque de carbono nos diferentes componentes dos ecossistemas florestais	46
3.6.2 Determinação do estoque de carbono florestal total nos diferentes regimes de uso e cobertura florestal.....	50
3.6.3 Análise estatística.....	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 Determinação do estoque de carbono nos diferentes componentes dos ecossistemas florestais (árvores, raízes, herbáceas, serapilheira e solo).	53
4.1.1 Estoque de carbono por componente no Miombo.....	53
4.1.2 Estoque de carbono por componente no Mopane.....	61
4.1.3 Estoque de carbono por componente na floresta sempre verde de montanha	66
4.2 Estimativa de estoque de carbono nos diferentes regimes de uso e cobertura florestal	73
4.2.1 Miombo	73
4.2.3 FSV-Montanha.....	81
5. CONCLUSÕES	86
6. RECOMENDAÇÕES.....	87
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
ANEXOS	103

I LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Depósitos de carbono nos ecossistemas florestais.....	16
Tabela 2: Algumas equações alométricas desenvolvidas em Moçambique	26
Tabela 3: Descrição da área de estudo	38
Tabela 4: Distribuição de parcelas por distrito, regime de uso e tipo de cobertura.....	41
Tabela 5: Equações usadas para a estimativa de biomassa arbórea no presente estudo.....	46
Tabela 6: Teste de independência entre as componentes no miombo.....	72
Tabela 7: Análise de variância do carbono total para Coutada 9/13, Floresta comunitária e Concessão florestal.....	74
Tabela 8: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) no Miombo por nível de cobertura.	77
Tabela 9: Análise de variância de carbono total na Coutada 7.....	79
Tabela 10: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) no Mopane por nível de cobertura.	80
Tabela 11: Análise de variância de carbono total na Reserva florestal.....	82
Tabela 12: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) na FSV-Montanha por nível de cobertura.	82

II LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo global do carbono com estoques (em Pg C = 10^{15} g C) nos diferentes compartimentos da Terra e fluxos de carbono (em Pg C ano ⁻¹). Fonte: Lal (1999).	9
Figura 2: Floresta de mopane (Distrito de Tambara)	32
Figura 3: Floresta de miombo (Distrito de Macossa).....	33
Figura 4: Floresta sempre verde de Montanha (Sussundenga).....	34
Figura 5: Mapa indicando as áreas de estudo.....	37
Figura 6: Mapa de distribuição dos pontos de amostragem	40
Figura 7: Esquema para o estabelecimento das parcelas e sub-parcelas	40
Figura 8: Colheita de dados de vegetação arbórea	42
Figura 9: Colheita de dados da vegetação herbácea.....	43
Figura 10: Colheita de dados da serapilheira	44
Figura 11: Colheita de amostras de solo	45
Figura 12: Fluxograma da metodologia para a estimativa de estoque de carbono para o presente estudo.	52
Figura 13: Proporção de estoque de carbono médio por componente no Miombo, província de Manica, centro de Moçambique.	54
Figura 14: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Coutada 9/13, Floresta comunitária e Concessão florestal. Letra máscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.....	57
Figura 15: Distribuição diamétrica das árvores inventariadas por níveis de cobertura para os regimes de uso estudados no miombo.	60
Figura 16: Proporção de estoque de carbono médio por componente na Coutada 7, província de Manica, centro de Moçambique.	62

Figura 17: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Coutada 7. Letra máscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.	63
Figura 18: Distribuição diamétrica por níveis de cobertura no mopane	65
Figura 19: Proporção de estoque de carbono médio por componente na reserva florestal de Moribane, província de Manica, centro de Moçambique.	66
Figura 20: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Reserva florestal. Letra máscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.	68
Figura 21: Distribuição diamétrica por níveis de cobertura na Reserva florestal.	70
Figura 22: Comparação do estoque de carbono entre os diferentes níveis de cobertura para a Coutada 9/13 e a Concessão Florestal. Mesma letra significa uma diferença não significativa de estoque de carbono. ..	75
Figura 23: Comparação do estoque de carbono médio entre os diferentes regimes de uso no miombo. Mesma letra significa uma diferença não significativa de estoque de carbono.....	76
Figura 24: Boxplot de carbono total por nível de cobertura e por regime de uso no ecossistema de miombo.	78
Figura 25: Boxplot de carbono total por nível de cobertura no mopane.	80
Figura 26: Boxplot de carbono total por nível de cobertura na FSVM.	83

III.LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha de campo para registo do peso húmido da vegetação herbácea e serapilheira para cada tipo de vegetação e regime de uso. Onde: Lat= latitude e Long= Longitude.....	104
Anexo 2: Ficha de campo para registo do DAP da vegetação arbórea para cada tipo de vegetação e regime de uso. Onde: DAP=diâmetro à altura do peito; Ht- altura total; Hc=altura comercial; ID- identificação da árvore; Lat= latitude e Long= Longitude.	105
Anexo 3: Ficha de Laboratório para o registo do peso seco diário para a vegetação herbácea.....	106
Anexo 4: Ficha de Laboratório para o registo do peso seco diário para a serapilheira.	107
Anexo 5: Ficha de laboratório para o registo da densidade e teor de carbono do solo para cada regime de uso. Onde: Ds= densidade do solo e Cs= teor de carbono do solo.....	108
Anexo 6: Médias de estoque de carbono por componente.	109
Anexo 7: Estoque de carbono total por tipo florestal	111
Anexo 8: Tabelas de ANOVA por componente, regime de uso e ecossistemas.	115

IV. LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNOMOS

%	percentagem
Al	Alumínio
ANOVA	Análise de variância
CH ₄	metano
cm	centímetros
cm ³	centímetro cúbico
CO	monóxido de Carbono
CO ₂	dióxido de Carbono
CO ₃	carbonato
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
Exp	exponencial
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FEB	Factor de Expansão de Biomassa
Fe	Ferro
g	gramas
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Global Positioning System
Gt	Gigatoneladas
HFC	Hidrofluorcarbono
IIED	International Institute for Environment and Development
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel for Climate Change
kg	quilogramas
ln	logarítmo natural
m	metros

m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
MAE	Ministério de Administração Estatal
Mg	Megagramas
Mha	Milhões de hectares
mm	milímetros
MRV	Monitoria, Relatório e Verificação
°C	Graus Centígrados
PFCs	Perfluorcarbonetos
Pg	Pentagrama
PMA	Precipitação Média Anual
ppm	partes por milhão
ppb	partes por bilião
REDD ⁺	Reduction Emissions from Deforestation and Degradation
TMA	Temperatura Média Anual
ton	toneladas
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas
UTM	Universal Transversal Mercator

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus, que sempre me amparou, iluminando os meus caminhos, ele que me deu força e vontade nos momentos difíceis, ele que me ensinou a conquistar e enfrentar o medo de não saber, o medo de abandonar a família e desbravar um caminho cheio de dificuldades. Graças ao teu poder hoje vejo que cada lágrima derramada não foi em vão.

Agradeço aos meus pais, José Tchaúque e Celina Siteo, aos meus irmãos Euclides, Etelvino, Hermínio, Alberto e Celina pelo incentivo para este grande desafio. Em particular à minha única irmã Celina por ter sido companheira e amiga nos momentos de desespero. A todos vocês dedico esta realização.

Quero agradecer de modo particular o meu esposo Fulgêncio Dimande que muito fez para tornar este desafio uma realidade, aos meus filhos, Karen, Fulgêncio Júnior e Luana, pelo carinho, paciência que tiveram de esperar por uma mãe quase ausente e que mesmo com pouca disponibilidade de tempo, eles sempre obedeceram.

Agradeço ao meu supervisor, Professor Doutor Almeida Siteo por ter feito parte desta trajetória, e que de forma sábia orientou a tese com a inestimável paciência, transmitindo-me conhecimentos que me fizeram chegar até este estágio.

A todos os Docentes do curso de Mestrado em Maneio e Conservação da Biodiversidade o meu muito obrigado que do mesmo modo se estende à turma nomeadamente aos companheiros Epifânia, Remígio, Buramuge, Pagule, Sevene, Agnaldo, Alex Boma e Sá Nogueira Lisboa que juntos batalhamos na longa e difícil caminhada.

Quero agradecer à Sr. Cândida por ter disponibilizado a estufa do laboratório de Silvicultura do Departamento de Engenharia Florestal, ao técnico de solos Sr. Machava, ao motorista Sr. Rafael e ajudantes de campo que com muita paciência me apoiaram na busca de dados.

Agradecer ao IIED (International Institute for Environment and Development) pelo financiamento para a realização da tese no âmbito do projecto de testagem do REDD+.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Aos meus filhos Karen, Fulgêncio Júnior e Luana que foram a minha fonte de inspiração e souberam esperar com muita paciência e respeito pela mãe coruja. Que este trabalho vos sirva de ensinamento para que lutem e nunca desistam dos vossos sonhos.

Ao meu esposo Fulgêncio Dimande, que tanto apoiou nesta caminhada, ocupando o lugar de pai e por vezes de mãe durante a minha ausência.

RESUMO

As florestas são consideradas grandes reservatórios de carbono, visto que removem o dióxido de carbono da atmosfera e acumulam nos seus componentes. A presente tese tem como objectivo principal, quantificar o estoque de carbono florestal nos diferentes ecossistemas, regimes de uso e cobertura florestal na Província de Manica. Para a colheita de dados de campo, fez-se uma amostragem estratificada tendo em conta o tipo de vegetação, nível de cobertura e regime de uso. Foram estabelecidas 77 parcelas de 20 X 50 m em quatro regimes de uso florestal nomeadamente Coutadas 7, 9 e 13, Floresta comunitária, Reserva florestal e Concessão florestal. Para estimar o estoque de carbono em cada ecossistema, fez-se a colheita de dados das arbóreas, herbácea, serapilheira, raízes e solo. Para se obter valores de carbono fez-se a estimativa da biomassa de todas as componentes em estudo excepto para o solo que se obteve a concentração de carbono pelo método de Walkley-Black e densidade aparente no laboratório e a posterior o seu estoque. As estimativas de estoque de carbono para vegetação foram obtidas seguindo as regras estabelecidas pelo IPCC (Painel Intergovernamental para Mudanças Climáticas), segundo as quais, 50% de biomassa corresponde ao carbono. Em todos os regimes de uso estudados no Miombo e Mopane, o solo foi a componente que apresentou maior média de estoque de carbono, correspondendo a mais de 60%, seguido pela vegetação arbórea. O mesmo não aconteceu na Floresta Sempre Verde de Montanha (FSVM) onde 50% do estoque de carbono foi contribuição da vegetação arbórea. As outras componentes foram pouco expressivas em termos de carbono. Foi estimado o estoque de carbono médio no Miombo de 83,57 ton/ha para Coutada 9/13, 127,2 ton/ha para a Floresta comunitária e 89,77 ton/ha para a Concessão florestal; no mopane de 97,95 para a Coutada 7 e na FSVM de 555,67 ton/ha para a Reserva florestal. Em todos os regimes verificou-se uma tendência de proporcionalidade directa entre o estoque de carbono médio e os níveis de cobertura, excepto para a Reserva florestal, podendo-se concluir que existe uma relação entre o estoque de carbono florestal e os níveis de cobertura florestal. Estes resultados têm potencial para serem utilizados em iniciativas de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD⁺).

Palavras-chave: Reservatórios de carbono, estoque de carbono, regimes de uso e ecossistemas

ABSTRACT

Forests are considered large reservoirs of carbon, as they remove carbon dioxide from the atmosphere and accumulate in their components. The main objective of this thesis is to quantify the forest carbon stock in the different ecosystems, forest use regimes and forest cover in the Province of Manica. For the field data collection, a stratified sampling was made taking into account the type of vegetation, level of cover and regime use. Were established 77 plots of 20 X 50 m in four forest use regimes, namely Coutada 7, 9 and 13, Community Forest, Forest Reserve and Forest Concession. To estimate the carbon stock in each ecosystem, data were collected on trees, herbaceous, litter, roots and soil. In order to obtain carbon values, the biomass of all the components under study was estimated except for the soil that obtained the carbon concentration by the Walkley-Black method and apparent density in the laboratory and subsequent to its stock. Estimates of carbon stock for vegetation were obtained following the rules established by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) according to which 50% of biomass corresponds to carbon. In all the regimes of use studied in the Miombo and Mopane, the soil was the component that presented the highest carbon stock average, corresponding to more than 60%, followed by tree vegetation. The same did not happen in the evergreen forest of mountain where 50% of the carbon stock was contribution of the arboreal vegetation. The other components were not very significant in terms of carbon. The average carbon stock in Miombo was estimated at 83.57 tons/ha for Coutada 9/13, 127.2 tons/ha for the community Forest and 89.77 tons/ha for the Forest Concession; in the Mopane of 97.95 for Coutada 7 and in the FSVM of 555.67 tons/ha for the Forest Reserve. In all regimes, there was a trend of direct proportionality between the average carbon stock and the coverage levels, except for the Forest Reserve, and it can be concluded that there is a relationship between the forest carbon stock and the levels of forest cover. These results have the potential to be used in initiatives to Reduce Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+).

Keywords: Carbon reservoirs, carbon stock, use regimes and ecosystems

1. INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais, surgidos em todo o planeta, aumentaram consideravelmente desde as últimas décadas do século passado, devido ao aumento das concentrações dos Gases de Efeito Estufa (GEE) responsáveis pelas mudanças climáticas globais. A concentração de dióxido de carbono (CO₂), um dos principais GEE, esteve perto de 350 ppm por vários séculos antes da era industrial. Mas com a queima de combustíveis fósseis e a acelerada conversão de florestas elevou esse valor que ultrapassou 380 ppm em 2006, em 2010 atingiu 388 ppm e em 2013 atingiu 400 ppm (Fearnside, 2008, Stephen, 2010 e IPCC, 2014).

As emissões de GEE pelo Homem têm estado a aumentar na atmosfera desde a era pré-industrial, impulsionados em grande parte pelo crescimento populacional e económico. No balanço global de carbono na atmosfera de todo o planeta, entre 1750 e 2011, as emissões de CO₂ antropogénicas cumulativas para atmosfera foram de 2040 ± 310 Gton. Cerca de 40% destas emissões manteve-se na atmosfera (880 ± 35 Gton) de CO₂ e a outra parte foi removida e armazenada em terra (nas plantas e no solo) e no oceano 30% causando acidificação (IPCC 2014).

A queima de combustíveis fósseis, a procura de lenha como fonte de energia, a agricultura (queimadas e desmatamentos), a indústria, entre outras, têm sido apontadas como a principal causa do aumento das concentrações dos gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente o dióxido de carbono, aumentando as temperaturas e causando o aquecimento global (IPCC, 2006 e Melillo *et al.*, 1996).

As emissões de CO₂ provenientes da queima de combustíveis fósseis e processos industriais contribuíram com cerca de 78% para a emissão total de GEE entre 1970 e 2010, com uma contribuição percentual semelhante durante o período de 2000-2010. As mesmas atingiram $32 \pm 2,5$ Gton de CO₂-eq/ano, em 2010 com crescimento de cerca de 3% entre 2010 e 2011 e 1 a 2 % entre 2011 e 2012 (IPCC 2014).

As emissões antropogénicas totais de GEE de 2000-2010 foram as maiores na história da humanidade onde atingiram $49 \pm 4,5$ Gton de CO₂-eq/ano em 2010. Essas emissões foram a contribuição directa dos sectores de transporte (14%), indústria (21%), construção (6,4%), energia (34,6%), agricultura, floresta e outros usos de terra (24%) (IPCC 2014).

Ao longo dos últimos anos, vem sendo discutidas formas de compensação das emissões de GEE e da mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, tais como, o aumento da cobertura florestal para o sequestro e armazenamento do carbono atmosférico (Roberto e Sano 2014, Castro 2017). De acordo com (UNFCCC 2008), em 2007, na sua 13^a Conferência das Partes, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (UNFCCC), reconheceu a degradação da floresta como um importante contribuinte para as emissões globais de carbono, ao incorporá-la ao mecanismo de REDD+.

Os ecossistemas florestais jogam um papel importante no mundo, pois são os principais componentes do ciclo global do carbono, com a capacidade de absorver e armazenar grandes quantidades deste elemento, na parte aérea, raízes, camadas decompostas sobre o solo, no solo, entre outros (Renner, 2004 e Pan *et al.*, 2011).

As árvores têm capacidade de absorção e fixação de carbono em função da espécie, da taxa de crescimento, da longevidade, do sítio, do clima e do período de rotação, entre outros. Em geral as florestas secundárias e as plantações jovens fixam mais carbono. As florestas primárias e as plantações maduras atingem um estágio de equilíbrio quanto à absorção de carbono, no sentido de que libertam a mesma quantidade mediante a decomposição da madeira morta e das árvores em senescência (Arevalo e Alegre 2002).

A floresta tropical cobre extensas áreas em todo o planeta (17 milhões de Km²), correspondendo a 20% da superfície terrestre (FAO 2011). Sendo um dos maiores ecossistemas do planeta, contém cerca de 2/3 da biodiversidade terrestre global e aproximadamente 37% do carbono. Para além de serem fontes de matéria-prima como a madeira e produtos usados na indústria farmacêutica, também fornecem serviços ecossistêmicos a nível local, regional e global tais como a regulação do clima por absorver o CO₂, a ciclagem de nutrientes, a qualidade da água, beleza cénica e recreação (Henrique 2010).

1.1 Problema de estudo e Justificação

Moçambique possui potencial para contribuir positivamente na redução das emissões de gases de efeito estufa (MICOA 2007), pois tem extensas áreas de florestas naturais de aproximadamente 40,1 milhões de hectares e outras formações lenhosas tais como vegetação arbustiva, matagais e florestas com agricultura itinerante que cobrem cerca de 14,5 milhões de hectares, entretanto ameaçadas, pelo desmatamento e degradação (Marzoli 2007). Apesar do alto potencial, enfrenta grandes desafios na gestão destes recursos, em parte devido à demanda da indústria florestal, e por outro lado, pelo facto de cerca de 85% das necessidades energéticas serem satisfeitas pela energia de biomassa (Siteo e Salomão 2012).

A Província de Manica é uma região rica em termos de biodiversidade, a destacar a Reserva Nacional de Chimanimani que tem um ecossistema intacto, especialmente nas zonas montanhosas, com paisagens esteticamente salientes, pinturas rupestres, crenças e estruturas tradicionais intactas. Possui também uma grande diversidade de plantas e espécies endémicas de aves, répteis e borboletas, tornando-se foco de atenção de muitos estudos. Contudo o actual estado das florestas nesta região e em outras é bastante preocupante dado que estas são usadas para vários fins, incluindo os comerciais, pelas comunidades locais (Marzoli 2007).

No último inventário florestal realizado a nível nacional foi estimada uma taxa de desmatamento anual de 0,58%, equivalente a 219 000 hectares de floresta que se perdem anualmente e os modelos desenvolvidos mostraram tendência de aumento desta taxa nos anos subsequentes (Marzoli 2007). Usando o modelo acima referido, associado ao modelo de crescimento populacional projectaram que durante os próximos 15 anos a contar desde 2004, a taxa de desmatamento poderia aumentar de 0,58% para 1,1%, podendo atingir 1,4% de taxa anual em 2025 (Siteo e Guedes 2013).

Moçambique realizou um inventário de gases de efeito estufa em 2011 usando a metodologia do (IPCC 2006), o qual colocou em evidência a falta de informação a cerca de carbono. Os poucos estudos que existem foram feitos a uma escala pequena em unidades de manejo florestal ou em pequenas regiões. Esta situação é aliada à fraca capacidade (em termos de recursos humanos e técnicos) para medir continuamente a variação da área florestal. Além disso, não existe um sistema de contabilidade de carbono e de controlo do impacto das mudanças no uso da terra a nível nacional (Siteo e Guedes 2013).

O problema fundamental que sustenta a presente dissertação, surge em parte devido à escassez de estudos que reportam estimativas de estoque de carbono nos ecossistemas florestais de Moçambique, e os que já foram desenvolvidos, tiveram mais enfoque nas florestas de miombo sem considerar os níveis de cobertura e os regimes de uso incluindo as áreas de conservação. Tendo como suporte o facto da desmatção e degradação florestal registar-se em todos os regimes de uso florestal incluindo as áreas de conservação (Sitoe e Salomão 2012).

O regime de uso florestal tem tido maior impacto no estoque de carbono florestal. Desta forma é crucial e necessário obter informações exactas e periódicas das mudanças no estoque de carbono florestal dentro e entre regiões para cumprir com os planos de manejo e com as políticas de mitigação às mudanças climáticas (Liu, Zhang e Fengri 2014).

Deste modo torna-se importante quantificar o estoque de carbono para servir de indicador da qualidade ambiental dos ecossistemas florestais e também, para avaliar adequadamente os impactos que podem surgir no ambiente sem as florestas (Watzalawick 2012). Se as florestas forem preservadas, grandes quantidades de carbono presente na atmosfera, serão armazenadas nos diferentes componentes destas, cujos resultados poderão contribuir para a determinação do potencial destes ecossistemas de armazenar carbono, factor essencial para a implementação de iniciativas do REDD⁺ a nível nacional.

1.2 Objectivos

1.2.1 Geral

- Quantificar o estoque de carbono em diferentes ecossistemas florestais, regimes de uso e cobertura florestal na Província de Manica.

1.2.2 Específicos

- Estimar o estoque de carbono nos diferentes componentes dos ecossistemas florestais (árvores, herbáceas, serapilheira, raízes e solo) e
- Estimar o estoque de carbono florestal nos diferentes regimes de uso e cobertura florestal (Coutada, Reserva florestal, Concessão florestal e Floresta comunitária).

1.3 Hipóteses

H₀: A alteração do nível de cobertura florestal não afecta os estoques de carbono.

H_a: Existe diferença de estoque de carbono entre os níveis de cobertura alto, médio e baixo.

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Conceitualização

2.1.1 Carbono

O carbono é o elemento químico fundamental dos compostos orgânicos, que circulam através dos oceanos, atmosfera, solo e subsolo. É considerado elemento fundamental para a vida na Terra, principalmente devido à sua propriedade de formar até quatro ligações covalentes, que permitem que seja constituinte estrutural de compostos essenciais como as proteínas, carboidratos, lípidos, entre outros. Para além disso o carbono desempenha um papel fundamental no ciclo de carbono dos ecossistemas, pois através da fotossíntese este é usado pelas plantas para a produção de oxigénio e hidratos de carbono e durante a respiração é libertado para a atmosfera (Souza, Longhini e Silva 2012).

A captura de carbono através do processo da fotossíntese, ocorre quando as plantas absorvem energia solar e CO₂ da atmosfera, produzindo oxigénio e hidratos de carbono (açúcares com a glicose) que servem de base para o seu crescimento. Através deste processo as plantas fixam carbono na sua biomassa, e constituem, junto com seus resíduos (madeira morta e serapilheira), um estoque natural de carbono (Rugnitz e Chacón 2009).

Deste modo o CO₂ pode ser removido da atmosfera por meio do crescimento das plantas. Quanto mais rápido o crescimento, maior é a taxa de absorção de CO₂. O processo inverso ocorre com a emissão de CO₂ através da respiração das plantas, animais e pela decomposição orgânica. Acrescenta-se a esta, as emissões devido ao desmatamento, queimada, gases industriais e queima de combustíveis fósseis (Baird, 2002 e Roberto *et al.*, 2014).

2.1.2 Efeito estufa

O efeito estufa é um processo natural de aquecimento da terra e é muito importante para manter a vida no planeta. São absorvidos cerca de 70% dos raios solares, deste montante 45% são absorvidos pela superfície da terra e os 25% pela camada de gases presentes na atmosfera, os chamados gases de efeito estufa (H₂O, CO₂, CH₄, N₂O- óxido nitroso), que tem a função de absorver parte da energia irradiada e reter o calor do sol na atmosfera, mantendo a superfície da Terra aquecida, em

média 33°C. Na ausência de GEE, a radiação infravermelha térmica absorvida pela terra se dissiparia e a superfície do planeta seria mais fria, impossibilitando a sobrevivência dos seres vivos (Wallace e Hobbs 2006).

Entretanto a elevação da temperatura média do planeta, ou seja, o aumento do efeito estufa, resulta do acúmulo de gases que retém o calor. Um dos principais gases de efeito estufa é o CO₂, resultante de processo de decomposição da matéria orgânica e de outros processos de combustão, podendo causar mudanças climáticas e por consequência, alterações no ambiente (Ohse *et al.*, 2007).

O quarto relatório de IPCC, em 2007, indicou que desde a era pré- industrial até ao ano de 2005, houve um aumento dos GEE, sendo o CO₂ de 280 ppm (partes por milhão) para 379 ppm, de metano de 715 ppb (partes por bilião) para 1774 ppb e do óxido nitroso de 270 ppb para 319 ppb. O último relatório, em 2013, concluiu que atmosfera e o oceano se aqueceram, a quantidade de gelo e neve diminuiu, elevou o nível do mar e as concentrações de GEE aumentaram. A média da temperatura da terra e do oceano aumentou em 0,78 °C (Castro 2017).

O aumento das emissões dos GEEs, vem provocando o aquecimento global e mudanças climáticas, sendo as actividades humanas as principais causas apontadas como responsáveis pelas emissões. O CO₂ é o gás mais emitido para a atmosfera e é apontado como o responsável por 80% do aquecimento global. Uma das determinações do acordo de Paris foi de deter o aumento da temperatura média global do planeta abaixo de 2°C, acima dos níveis pre-industriais e limitar o aumento a 1,5 °C (Castro 2017).

A preocupação mundial com o aumento da concentração de GEE na atmosfera é crescente, em virtude de sua capacidade de reter parcialmente a radiação infravermelha que é emitida pela Terra. Cerca de metade das emissões antropogénicas de CO₂ entre 1750 a 2011 ocorreram nos últimos 40 anos, com maiores aumentos absolutos entre 2000 a 2010 (10 Gton de CO₂) correspondendo a 47%. Estas emissões foram directas dos sectores de indústria (30%), transporte (11%) e de construção (3%). Desde 2000, as emissões de GEE tem estado a aumentar em todos os sectores, com excepção da agricultura, floresta e outros usos de terra (IPCC 2014).

Moçambique é vulnerável às mudanças climáticas devido à sua localização geográfica na zona de convergência intertropical e à jusante das bacias hidrográficas partilhadas, à sua longa costa e à

existência de extensas áreas com altitude abaixo do actual nível das águas do mar. Outros factores como a pobreza, os limitados investimentos em tecnologia avançada, a fragilidade das infra-estruturas e serviços sociais em especial a saúde e saneamento também contribuem para a sua vulnerabilidade e baixa capacidade de adaptação (Sítio e Salomão 2012).

A redução dos níveis de CO₂ na atmosfera pode ser feita de diferentes formas. Destaca-se o sequestro e estoque de carbono no solo e na biomassa florestal, sendo esta última considerada de grande importância, pois possibilita, em pouco tempo, o aumento do volume de carbono imobilizado (Schneider, Finger e Giacomelli 2005).

O conceito sequestro de carbono foi consagrado na Conferência de Quioto em 1997, com o objectivo de conter e reverter a acumulação de CO₂ na atmosfera e com a intenção de minimizar os impactos ambientais, referentes às mudanças climáticas quanto ao aquecimento global e ao aumento da concentração dos GEE (Castro 2017).

O pagamento pelos serviços ambientais é um incentivo para manter as áreas florestais protegidas. Estes pagamentos incluem para além do sequestro, a protecção da biodiversidade, protecção dos cursos de água e da paisagem. Acredita-se também que o cumprimento das leis e regulamentos sobre as áreas de conservação, o estabelecimento de fontes alternativas de energia, de renda e melhoria das práticas agro-florestais podem reduzir o desflorestamento (Ebeling e Yasue 2008). Razão pela qual têm estado a aumentar o interesse pelos estudos de quantificação dos estoques de biomassa e carbono em florestas (Chazdon 2008).

2.1.3 Ciclo de carbono

O carbono compõe quatro dos principais gases de efeito estufa, o metano (CH₄), o dióxido de carbono (CO₂), o hidrofluorcarbonos (HFCs) e os perfluorcarbonos (PFCs), e são essenciais à vida por ser um elemento “mestre” nos ciclos globais, chamados biogeoquímicos. Portanto o ciclo de carbono mostra a relação entre a vida, a atmosfera, os oceanos, rochas e florestas (Soares e Paula 2011).

O carbono atmosférico apresenta-se em menor proporção na forma de metano (CH₄), perfluorcarbonetos (PFCs) e hidrofluorcarbonos (HFC) mas todos estes GEE contribuem para o

equilíbrio térmico da terra. Qualquer actividade relacionada ao uso da terra que modifique a quantidade de biomassa na vegetação e no solo tem potencial para alterar a quantidade de carbono armazenada e emitida para a atmosfera, o que influencia directamente a dinâmica do clima na Terra (Rugnitz e Chacón 2009).

Após a Revolução Industrial, houve um crescimento acentuado na utilização de petróleo, gás natural, carvão e nas queimadas, no qual originou uma alta taxa de emissão de dióxido de carbono, fazendo com que os níveis de carbono na atmosfera ultrapassassem muito além do que o meio ambiente consegue renovar no seu ciclo. Além da taxa de emissão, os desmatamentos reduzem os níveis de vegetação que são indispensáveis, alterando o ciclo de carbono, fazendo com que a emissão deste gás seja maior que a sua captura (IPCC 2014).

O ciclo de carbono global é um processo natural que envolve a matéria e energia, ocorrendo na biosfera e atmosfera, onde a vegetação tem papel chave (Smith *et al.*, 2006). Existem quatro principais compartimentos de carbono na Terra, nomeadamente, oceanos, atmosfera, formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral e ecossistemas terrestres (Machado 2005).

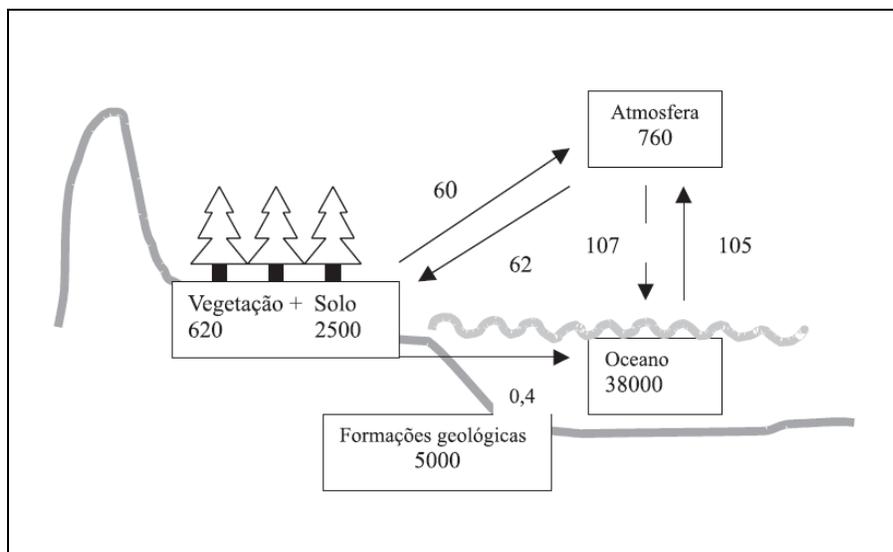


Figura 1: Ciclo global do carbono com estoques (em Pg C = 10^{15} g C) nos diferentes compartimentos da Terra e fluxos de carbono (em Pg C ano⁻¹). Fonte: Lal (1999).

Na Figura 1, observa-se que o maior compartimento de carbono na Terra é aquele presente no oceano (38.000 Pg C), seguido pelo presente nas formações geológicas (5.000 Pg C) do qual 4000

Pg C estão presentes no carvão, 500 Pg C no petróleo e 500 Pg C no gás natural. O solo com (2500 Pg C) é o maior compartimento de carbono nos ecossistemas terrestres, e é constituído pelo carbono orgânico (1.500 Pg C) e mineral (1.000 Pg C), de modo que o primeiro metro superior do solo armazena 2,5 vezes mais carbono que a vegetação terrestre (620 Pg C) e 2 vezes mais carbono que o presente na atmosfera 760 Pg C (Lal, 2002 e Machado, 2005).

Segundo (Rugnitz e Chacón 2009), a atmosfera é o reservatório menor e o mais dinâmico no ciclo de carbono. Entretanto, todas as mudanças que ocorrem neste reservatório têm uma relação estreita com as mudanças do ciclo global de carbono e do clima. Grande parte de carbono presente na atmosfera ocorre na forma de dióxido de carbono (CO₂), também conhecido como gás carbónico.

Os ecossistemas terrestres desempenham um papel importante no ciclo global de carbono, sendo estes, reservatórios de carbono actualmente estimado em 2200 Gton C (600 Gt C na biomassa vegetal e 1600 Gton C em solos) e fonte de fluxos de CO₂ na ordem de 120 Gton C por ano que é emitida através das plantas e respiração microbiana. O efeito combinado destes fluxos resulta em uma absorção líquida de carbono em ecossistemas terrestres da atmosfera actualmente estimado em 2,8 Gton C por ano (Stephen 2010).

Os solos são os sumidouros mais importantes de carbono terrestre na biosfera e desempenham um papel crucial na regulação do ciclo global de carbono e na oferta de serviços ecossistêmicos essenciais (Giardina *et al.*, 2014). A quantidade de carbono do solo depende de vários factores, tais como o clima, topografia, propriedades do solo, vegetação e uso da terra (Munoz-Rojas *et al.*, 2012).

O ciclo de carbono pode ser a chave para o entendimento das mudanças climáticas globais, contudo considera-se a necessidade de realização de muitos estudos especialmente da função da vegetação e dos solos neste processo, com destaque para os efeitos das mudanças no uso da terra, pois estes alteram os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de carbono e no fluxo de gases entre o solo e a atmosfera (Roberto e Sano 2014).

2.2 Florestas e Mudanças Climáticas

As florestas ocupam grandes áreas no planeta e tem grande importância para a sociedade. O homem sempre utilizou produtos advindos delas, porém sua importância vai além destes produtos, como a regulação do clima, protecção dos ciclos hidrológicos, conservação da biodiversidade, recuperação de áreas degradadas, armazenamento e sequestro de carbono, redução dos gases de efeito estufa e do aquecimento global (MMA 2011). No mundo aproximadamente 60 milhões de habitantes, principalmente indígenas, dependem quase na sua totalidade das florestas e, outros 350 milhões, que vivem dentro ou perto das florestas, dependem delas como fonte de subsistência e de renda (Dieterle 2010).

Existem quatro categorias dos serviços proporcionados pelos ecossistemas florestais: produção (madeira, fibra, mel, resina, plantas, papel, entre outros), regulação (do clima, ciclo de água e solo), suporte (habitat para animais e plantas), recreação (paisagens, praias, pesca e caça). Os ecossistemas terrestres são componentes importantes dos ciclos biogeoquímicos (de água, carbono, nitrogénio e oxigénio), que são fontes e sumidouros de GEE (Castro 2017).

As florestas tropicais proporcionam enormes benefícios para além de contribuírem significativamente para estocar gases de efeito estufa em particular o dióxido de carbono, na biomassa das plantas acima e abaixo do solo e na matéria orgânica do solo comparado às outras tipologias vegetais (Van der Sand *et al.*, 2018). Contudo estão a degradar-se como resultado da actividade humana (Gardner, Barlow e Sodhi 2010). Cerca de 1,6 Gton CO₂ são anualmente emitidos para a atmosfera como resultado das mudanças de cobertura de terra e as florestas tropicais contribuem em cerca de 20% do total das emissões globais de GEE a nível mundial (IPCC 2007).

As plantas sequestram carbono ao fixar o CO₂, por meio do processo da fotossíntese. Neste processo ocorre a síntese de compostos orgânicos complexos (açúcares) a partir de compostos orgânicos simples (CO₂ e H₂O), em que na presença da luz solar, retiram o CO₂ da atmosfera e usam o carbono para o seu desenvolvimento e retornam o O₂ para a atmosfera, ou seja as plantas estocam carbono em forma de biomassa viva (Silveira *et al.*, 2008).

Desta forma, as florestas são importantes para o equilíbrio do estoque de carbono, uma vez que armazenam nas árvores e no solo mais carbono do que o existente na atmosfera (Houghton 1994,

Mognon *et al.*, 2013 e Stephenson *et al.*, 2014). No entanto se transformam em fonte de emissão quando ocorrem distúrbios naturais ou antrópicos, através da libertação rápida de carbono, seja pelas queimadas, ou de forma gradual, pela decomposição (Ribeiro 2007).

2.3 Fontes de emissão de dióxido de carbono

As fontes de emissão de gases poluentes, principalmente o dióxido de carbono podem ser naturais (queimadas naturais e actividades vulcânicas) ou antropogênicas (queima de combustíveis fósseis e mudanças no uso de terra) alterando os estoques naturais de carbono e contribuindo para a mudança do clima do planeta. Deste modo, cerca de metade das emissões antropogênicas de CO₂ entre 1750 e 2011 ocorreram nos últimos 40 anos, com maiores aumentos absolutos entre 2000 a 2010 apesar de um número crescente de políticas de mitigação das mudanças climáticas (IPCC 2014).

Actualmente uma das principais causas da emissão de gás carbónico para a atmosfera é a queima de combustíveis fósseis, principalmente pelo sector industrial e de transportes. Globalmente, o crescimento económico e demográfico continua sendo o principal impulsionador do aumento das emissões de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis. Desde 1970, as emissões cumulativas CO₂ da combustão dos combustíveis fósseis, produção de cimento e queima triplicaram. No período de 1970 a 2010 a emissão CO₂ derivado dos combustíveis fósseis e processos industriais foi na ordem de 65% e em 2011, as emissões anuais foram de $34,8 \pm 2,9$ Gton de CO₂/ano (IPCC 2014).

Perdas florestais são tidas como a segunda maior fonte antropogénica de emissão de dióxido de carbono para a atmosfera. Desde 1970, as emissões provenientes das florestas e outros usos de terra aumentaram em cerca de 40%. No intervalo de 2002 a 2011, as suas emissões anuais médias foram de $3,3 \pm 2,9$ Gton de CO₂/ano. Em 2010, 24% das emissões foram atribuídas à agricultura, floresta e outros usos de terra. Os dados relativos às emissões pela agricultura, floresta e outros usos de terra, incluem emissões de CO₂ terrestres de incêndios nas florestas e nas machambas (IPCC 2014).

A desflorestação, resultante principalmente da conversão de florestas para agricultura foi estimada em cerca de 13 a 16 milhões de hectares (Mha) por ano entre 1990 a 2010 (FAO 2010). Segundo (Martin e Newton 2013), a desflorestação e degradação da floresta contribuem em 15 a 20% das emissões globais de carbono, e maior parte deste índice é das regiões tropicais, pois nestas regiões

as florestas armazenam grande quantidade de carbono que libertam quando são cortadas, decompostas ou queimadas. Em florestas Africanas, a agricultura de pequena escala e a necessidade de combustível levam à redução de estoques de carbono da vegetação.

Os estoques de carbono nas florestas podem ser aumentados pela redução da exploração e do desmatamento, por exemplo, pela protecção especial das florestas primárias, pela regeneração de florestas secundárias e degradadas com biomassa em pé e carbono orgânico do solo abaixo de seus valores potenciais e pela aplicação de determinadas práticas silviculturais (Stephen 2010).

A emissão de gases poluentes altera a composição química da atmosfera, podendo modificar a temperatura média do planeta, o que pode causar o desequilíbrio no efeito estufa e o aquecimento global, para além de prejudicar a saúde humana e ameaçar espécies sensíveis a essas alterações. De outro modo tais emissões de carbono podem ser parcialmente compensadas por um aumento natural no fluxo do carbono atmosfera-terrestre que vai ocorrendo através da produção fotossintética (Stephen 2010).

2.4 Importância da quantificação dos estoques de carbono nas Florestas

O papel das florestas tropicais nos ciclos biogeoquímicos, especialmente o de carbono e a sua relação com o efeito estufa, tem aumentado o interesse em estimativas de biomassa neste tipo de florestas. Estimou-se que o estoque de carbono em uma árvore seja de 48 a 50% de sua biomassa (Lacerda *et al.*, 2009).

Um dos papéis desempenhados pela floresta é a fixação do gás carbónico através da fotossíntese, na biomassa viva das árvores (Buckeridge *et al.*, 2002). Assim no contexto das mudanças climáticas globais, as áreas florestais são consideradas sumidouros de Carbono, e têm sua importância destacada graças à capacidade natural de capturar CO₂ na atmosfera por meio da fotossíntese, e fixá-lo sob a forma de carbono nos seus compartimentos (Soares *et al.*, 2005 e Liu *et al.*, 2007).

Embora as florestas absorvam o CO₂ da atmosfera através da fotossíntese, este mesmo gás também é emitido por elas durante a respiração, morte, decomposição das plantas, queima da vegetação, exploração florestal entre outros (Soares *et al.*, 2005 e Liu *et al.*, 2007). As florestas para além de

armazenarem carbono, são importantes repositórios de biodiversidade animal e vegetal. Daí que o REDD⁺ reconhece e valoriza a necessidade de conservação de biodiversidade como um dos elementos de base para ligar a mitigação à adaptação (Siteo e Salomão 2012).

Torna-se importante quantificar a biomassa e carbono nos ecossistemas florestais para a avaliação do potencial destes em armazenar este gás nos seus componentes (Carvalho, Cerqueira e Silva 2014). Pois, a partir dessas informações, podem ser elaborados novos projectos de florestamento ou reflorestamento, visando à mitigação das mudanças climáticas e à comercialização de créditos de carbono (Soares e Leite 2005, Baker *et al.*, 2004).

Actualmente as informações sobre as florestas são relevantes, visto que os processos dinâmicos da floresta, bem como os aspectos florísticos e estruturais são indicadores importantes das condições de conservação e do estágio sucessional em que se encontra um determinado remanescente (Barreto *et al.*, 2016). Deste modo a sua compreensão é importante para a elaboração de planos de manejo e conservação dos ecossistemas florestais (Sanquetta 2008).

Factores ambientais como água e nutrientes, podem afectar a produção de matéria seca e conseqüentemente, interferir no balanço de carbono. Ainda a cerca desses factores, uma maior radiação luminosa (Intensidade e/ou exposição) é capaz de promover aumentos no incremento de biomassa, já que espécies com elevadas taxas de crescimento relativo precisam de mais luz para alcançar os respectivos óptimos metabólicos (Taiz 2008).

Nas florestas tropicais, os estoques de carbono acima do solo são influenciados pelos factores climáticos, edáficos, topográficos e humanos associados. Contudo esses factores são altamente dependentes tanto da escala espacial da avaliação de carbono assim como das variáveis usadas para modelar mudanças nos estoques (Baraloto, Rabaud e Molto 2011). Em uma escala regional, as variáveis chaves na determinação das diferenças na biomassa das plantas incluem a precipitação anual total, a duração da estação seca e a fertilidade do solo (Quesada, Phillips e Schwarz 2012).

De acordo com (Berenguer *et al.*, 2014), a degradação florestal em particular, quando resultante da combinação de queimadas e exploração florestal pode alterar a estrutura da floresta, resultando na degradação aguda dos estoques de carbono e principalmente do carbono vivo acima do solo do que na matéria orgânica morta ou no solo. Em conjunto com o tipo de perturbação, os efeitos da borda

também desempenham um papel importante em influenciar os estoques acima do solo em florestas primárias (Aragão, Poulter e Barlow 2014).

Nas florestas tropicais húmidas as árvores grandes são responsáveis por armazenar enormes quantidades de carbono acima do solo, no entanto, são mais vulneráveis aos impactos da exploração madeireira, das queimadas e da fragmentação. A perda de árvores grandes é visível, no sentido de que afecta a estrutura da floresta e cria novas aberturas no dóssel, permitindo que mais luz penetre no interior da floresta (Saatchi *et al.*, 2013). Com a perda da estrutura vertical, ocorre a proliferação de pequenas lianas e espécies de árvores pioneiras de rápido crescimento, fazendo com que este tipo de florestas percam a alta capacidade de armazenar carbono pelas árvores grandes, passando a ser armazenada no sub-bosque (Berenguer *et al.*, 2014).

O conhecimento da variabilidade e distribuição espacial dos estoques de carbono no solo é fundamental para a caracterização e monitoramento de uma dada área em relação à qualidade do solo e que é condicionado pelo clima, relevo, classes de solo e tipos de cobertura vegetal e uso de terra (Oliveira, Reatto e Roig 2015). Contudo, é difícil estimar a dinâmica do estoque de carbono do solo e os altos custos de medições por vezes são incompatíveis aos benefícios recebidos (Pearson e Sarah 2005).

Torna-se difícil avaliar as mudanças nos estoques de carbono florestal, devido a heterogeneidade das paisagens, onde as propriedades do solo e a estrutura e funcionalidade da floresta variam no espaço e no tempo (Segueda *et al.*, 2018).

2.5 Carbono nos componentes dos ecossistemas florestais

De acordo com (IPCC 2003), existem três grupos de reservatório de carbono potencialmente elegíveis para o REDD, nomeadamente, carbono da biomassa viva, carbono da matéria morta e carbono orgânico do solo, que pode ser observado na Tabela 1. O carbono da biomassa viva engloba o carbono da biomassa aérea das árvores e das plantas que não sejam árvores (gramíneas, herbáceas, lianas, etc) e biomassa subterrânea (das raízes). O carbono da matéria morta engloba os detritos orgânicos de plantas e animais (serapilheira) e madeira morta que pode estar em pé ou caída no chão.

Tabela 1: Depósitos de carbono nos ecossistemas florestais

Tipo de Depósito		Descrição
Biomassa viva	Biomassa acima do solo	Toda biomassa viva que se encontra acima do solo, incluindo troncos, tocos vivos, ramos, casca, sementes e folhas.
	Biomassa subterrânea	Toda a biomassa de raízes viva. Excluem-se as raízes finas com menos de 2 mm de diâmetro porque distinguem-se com dificuldades da matéria orgânica do solo.
Biomassa Morta	Madeira morta	Toda biomassa florestal não viva que não faz parte da serapilheira ou seja aquilo que está caído no solo: troncos caídos, árvores mortas em pé, tocos maiores que 10 cm de diâmetro.
	Serapilheira	Toda biomassa morta acima do solo (folhas, ramos, caules e cascas de frutos) em diferentes estágios de decomposição.
Solo	Matéria orgânica do solo	Compreende o carbono orgânico nos solos minerais e orgânicos a uma profundidade específica.

Fonte: (IPCC 2006)

Segundo (Qureshi, Pariva e Hussain 2012), o carbono estocado por um ecossistema florestal está compartimentado da seguinte maneira: 45-55% na biomassa acima do solo; 20-26% na biomassa abaixo do solo (raízes); 20% no próprio solo (respiração das raízes e respiração heterotrófica dos microorganismos do solo e 6-8% na serapilheira. Estes valores variam conforme o tipo e estágio de desenvolvimento da floresta. Portanto, nos ecossistemas florestais a relação directa entre o tamanho da floresta e a matéria orgânica é esperada, uma vez que, quanto maior for a ocupação do ambiente florestal, maior também é a deposição de serapilheira que irá compor a matéria orgânica (Rodrigues 2012).

2.5.1 Carbono da biomassa viva

A biomassa viva inclui a biomassa acima do solo e a biomassa subterrânea. As florestas têm um papel de relevo na assimilação de carbono através da fotossíntese e armazená-lo na sua biomassa viva (Pereira 2007). Por meio da fotossíntese, as florestas conseguem absorver e armazenar átomos de carbono em seus tecidos estruturais, realizando assim, um dos serviços ambientais mais importantes e essenciais à vida de todos os seres vivos. O importante é que o carbono se mantenha nas moléculas orgânicas e não regresse rapidamente à sua forma oxidada, podendo ser acelerado devido à desflorestação e queimadas (Magnon 2011).

A biomassa viva apresenta grande variabilidade na capacidade de armazenar carbono, dependendo de vários factores aos quais a planta é susceptível, tais como as condições ecológicas da região, para além dos factores inerentes à própria planta (idade, estrutura fisionómica, distribuição e acumulação de hidratos de carbono), tipo de espécies florestal, histórico de manejo florestal e do tempo de permanência dos resíduos ou produtos resultantes da floresta (Afonso, Magalhães 2005 e Lipinski *et al.*, 2017). Alguns estudos em florestas tropicais na Amazônia central observaram uma correlação entre a biomassa e os gradientes de textura, de fertilidade do solo e a topografia do terreno (Castilho *et al.*, 2006).

Na fase inicial de desenvolvimento as árvores removem e armazenam quantidades significativas de carbono da atmosfera e vai reduzindo com a idade (Castro 2017). O estoque de carbono decresce ao decorrer da idade das plantas, pois no início as plantas investem mais na fotossíntese e ao longo dos anos começam a investir menos em folhas e mais em sustentação, tornando grandes absorventes as raízes e os troncos. O estoque de carbono das raízes aumenta com a idade da planta até certo ponto e depois decresce devido ao aumento da necessidade de absorção da água, fazendo com que a planta invista mais em raízes profundas (Baesso, Ribeiro e Silva 2010).

Em geral, o maior estoque de biomassa florestal é esperado em solos mais férteis independentemente da composição de espécies, isto porque, no solo há mais recursos disponíveis para o crescimento das plantas (Castilho *et al.*, 2006).

O padrão de distribuição espacial e temporal da serapilheira é um indicador eficiente da função dos ecossistemas com relação aos estoques e fontes de nutrientes, aspectos da estabilidade da vegetação

e interação da vegetação ao clima. O aumento da humidade no solo e maiores temperaturas favorecem a actividade microbiana. A temperatura e a humidade do solo, são os factores abióticos com maior influência sobre o efluxo de CO₂ do solo em diversos ecossistemas (Silva *et al.*, 2017).

2.5.2 Carbono da matéria morta

De acordo com (Brun, Schumacher e Vaccaro 2001), pode-se definir serapilheira como material de origem vegetal (folhas, caules, galhos, frutos, flores e partes não facilmente identificáveis), em diferentes estágios de decomposição que se acumula sobre o solo, servindo de fonte de energia e nutrientes para seres decompositores e para a vegetação.

A serapilheira é um dos principais elementos de formação de material orgânico para o solo que têm importância fundamental dentro de uma floresta, pois é responsável pela estabilidade e produtividade das plantas. Ela é lentamente alterada por fragmentação e degradação física ou química, processos em que participam os microrganismos e outros componentes da fauna edáfica (Vieira e Schumacher 2010).

A quantidade de serapilheira, que constitui o estoque de carbono varia em função da vegetação (tipo de floresta, procedência, espécie, fisionomia, do estágio sucessional, idade), da época de colheita de dados, atributos edáficos e do local. Também depende da temperatura, precipitação, luminosidade, altitude, latitude, relevo, herbivoria, deciduidade, evapotranspiração, disponibilidade hídrica, entre outros. A serapilheira acumulada desempenha um papel importante no crescimento das plantas, pois influencia nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (Caldeira, Marques e Soares 2007).

Em períodos húmidos verifica-se maior deposição de serapilheira, destacando também a influência da temperatura como factor actuante nesse processo e tende a aumentar com a diminuição dos valores médios de precipitação (Antoneli e Francisquini 2015). Alguns autores verificaram maior deposição de serapilheira na época seca em relação ao verão e outono, em especial nas áreas de floresta secundária. Maiores valores de deposição de serapilheira na estação seca podem estar relacionados à resposta da vegetação ao estresse hídrico, determinando à queda de folhas (Viera *et al.*, 2014 e Alonso *et al.*, 2015).

Os maiores valores de estoque de serapilheira podem estar relacionados com o estágio sucessional avançado no qual a área se encontra, sendo caracterizada pela maior densidade de indivíduos, maior número de espécies, bem como maior biomassa. Essas características da vegetação, possivelmente podem estar influenciando na deposição de serapilheira e consequente acúmulo de material na superfície do solo (Diniz *et al.*, 2015).

A biomassa de serapilheira contribui com os demais componentes florestais, na interceptação da água da chuva, favorecendo seu armazenamento no solo e aumento das taxas de infiltração. Outros factores que também podem contribuir para o acúmulo de serapilheira na superfície do solo, são os ambientais (temperatura e humidade), qualidade nutricional do material que formou a serapilheira e acção de organismos e microorganismos do solo (Brun *et al.*, 2001 e Correia, 2008).

2.5.3 Carbono do solo

Definiu-se carbono do solo como sendo o carbono orgânico presente nos solos minerais e inorgânicos numa profundidade de até 30 cm (FAO 2006). O carbono orgânico do solo é encontrado na biomassa dos microrganismos, no húmus, nos resíduos vegetais e animais em diferentes estágios de decomposição e em materiais inertes como o carvão vegetal e animal e na forma inorgânica em carbonatos, bicarbonatos e dióxido de carbono (Roberto e Sano 2014).

Segundo (Machado 2005), o carbono do solo está presente na forma orgânica e inorgânica. A forma orgânica equivale à maior reserva em interacção com a atmosfera. O carbono orgânico presente no solo representa o equilíbrio entre o carbono adicionado ao solo pela vegetação e o perdido para as águas profundas e, finalmente para os oceanos por lixiviação como carbono orgânico dissolvido ou para a atmosfera por via da actividade microbiana como dióxido de carbono em solos aerados ou metano em solos saturados com água.

As plantas, através da fotossíntese, capturam o CO₂ da atmosfera e acumulam grandes quantidades no solo. O carbono é importante no solo, pois melhora a estrutura física do solo pela melhor agregação, maior porosidade, melhor infiltração e armazenamento de água. Nestas condições, as plantas produzem sistemas radiculares abundantes, com raízes profundas, podendo buscar nutrientes e água nas camadas mais profundas do solo. Em contrapartida, o desmatamento, a

queima de combustíveis fósseis, revolvimento do solo, aração e gradagem contínuas proporcionam a emissão de CO₂ para a atmosfera (Meersmans 2009).

A concentração do carbono orgânico é inversamente proporcional à densidade do solo, isso acontece porque o próprio acúmulo de matéria orgânica do solo diminui a densidade do solo. Deste modo, devido às quantidades de carbono que o solo armazena, é um dos condicionantes de processos poluentes do ar, tendo em conta que a variação no estoque de carbono, regula os teores do referido elemento emitido para a atmosfera (Silva e Mendonça 2007).

A quantidade de carbono orgânico armazenado no solo resulta do equilíbrio entre entradas e saídas de carbono, condicionadas pelo processo de decomposição da biomassa pela actividade microbiana e mineralização, onde parte deste carbono volta à atmosfera. A outra parte do carbono orgânico é levada pelos rios até chegar aos oceanos, onde se deposita sob forma de Carbonatos. Não obstante a decomposição de resíduos orgânicos é influenciada pelos elementos do clima como a temperatura e a precipitação (Acenolaza *et al.*, 2007 e Roberto *et al.*, 2014).

Estima-se que a quantidade de carbono estocada no solo, até 1m de profundidade, é de aproximadamente 1576 Pg de C (Eswaran, Van Den Berg e Reich 1993). O estoque de carbono nos primeiros 30 cm de profundidade, é de aproximadamente 800Pg de C. Neste contexto o solo aparece como uma alternativa para o sequestro de carbono presente na atmosfera tornando-se alternativa para mitigar o aumento das concentrações de gases de efeito estufa contribuindo assim para a redução do aquecimento global e das mudanças climáticas (Cerri *et al.*, 2006).

Segundo (Carvalho 2010), a variabilidade espacial altera os estoques de carbono dentro de uma mesma floresta. O que significa que diferentes relevos e características da vegetação também podem influenciar no estoque de carbono do solo, por exemplo, em regiões baixas ocorre maior deposição de matéria orgânica no período chuvoso do ano.

Para além de desempenhar um papel primordial no ciclo hidrológico, no ciclo de carbono e dos nutrientes, o solo contém uma grande parte da biodiversidade terrestre e é a base de sustentação das espécies vegetais e florestais (Bauhus *et al.*, 2002). É também reconhecido por vários autores como tendo potencial para ser o maior reservatório de carbono terrestre (Madeira *et al.*, 2004 e

Valentini, Espinosa e Paulo 2008) assumindo deste modo um papel de destaque no ciclo global do carbono, tornando-se importante a sua estimação.

As propriedades físicas do solo são importantes na perspectiva de sequestro e estocagem de carbono, podendo ser significativas para a realidade climática global. Muitas variáveis podem controlar os estoques de carbono no solo. A uma escala regional, as variáveis climáticas, como a temperatura e precipitação, exercem grande importância e localmente, as propriedades do solo, como a densidade, fertilidades natural e o tipo de manejo do solo (Smith 2008 e Assad *et al.*, 2013).

Além da textura, a drenagem do solo têm efeito significativo sobre o teor do carbono orgânico no perfil do solo, sendo a interação dessas duas propriedades significativa em todas as profundidades (Meersmans 2009). Em contrapartida a erosão, decomposição (aeróbica e anaeróbica), volatilização e lixiviação são os principais processos responsáveis pelas perdas de carbono para a atmosfera (Lal *et al.*, 1998 e Paula *et al.*, 2007).

Segundo (Resck *et al.*, 2008), o carbono orgânico do solo define-se pelas relações existentes entre a vegetação, manejo, clima e drenagem, além das propriedades intrínsecas do próprio solo, tais como a mineralogia e a textura. A relação dos estoques de carbono com a textura do solo é apresentada por (Lal 2007), que afirmaram que solos mais arenosos tendem a apresentar maior perda de carbono. Esse factor é explicado pela maior lixiviação, menor agregação das partículas do solo e baixa actividade das argilas. Verificaram também que existe uma relação directa entre o aumento do índice de agregação e o aumento do carbono do solo até a profundidade de 20 cm (Corado Neto *et al.*, 2015).

A altitude, déficit hídrico e teores de argila e alumínio são características responsáveis pelas maiores variações dos estoques de carbono até 1m. Existe correlação positiva entre o teor de C no solo e a altitude. A correlação aponta a influência do regime hidrológico sobre a dinâmica do CO e sua migração para áreas rebaixadas no terreno (Manfrinato *et al.*, 2002).

De acordo com (Aduan, Vilela e Klink 2003), constataram em seus estudos que a argila possui uma das propriedades físicas determinantes para a estabilização da matéria orgânica do solo e que os estoques de carbono do solo possuem correlação directa com ela. Outros autores, também observaram a influência da textura na estabilidade física da matéria orgânica, em que os estoques

carbono do solo sobre a vegetação nativa em solos de textura muito argilosa foi superior aos dos solos de textura média (Bayer *et al.*, 2006).

Nos ecossistemas florestais a devolução de nutrientes e carbono orgânico para o solo é feita principalmente pela queda da serapilheira. Por isso, a fertilidade, o estoque do carbono e da matéria orgânica do solo em ambientes naturais depende da deposição da serapilheira, pois a cobertura vegetal e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, estão directamente relacionados com a manutenção da fertilidade do mesmo e a produtividade vegetal. Nesse contexto, a avaliação do estoque carbono do orgânico do solo em ambientes naturais é muito importante devido à sua sensibilidade às alterações na qualidade do solo (Carneiro *et al.*, 2009).

O solo é um reservatório de carbono que sofre mudanças significativas após a conversão de florestas tropicais em outros tipos de uso de terra, como pastagens por exemplo, mas pouco se sabe sobre sua resposta à perturbações em florestas em pé (Cerri *et al.*, 2003). A concentração do carbono orgânico é extremamente variável em solos de acordo com as condições climáticas, sendo baixa em solos de regiões áridas, alto em zonas temperadas e extremamente alto em solos de origem orgânica em zonas tropicais (Lal 2004).

Resultados do estudo feito por (Berenguer *et al.*, 2014), mostraram que os primeiros 30 cm do solo em florestas primárias perturbadas contém uma quantidade comparável de carbono como a de áreas de floresta não perturbadas, sugerindo que este reservatório é resistente a impactos de corte selectivo e incêndio do sub-bosque e ainda não estava claro se os distúrbios causados pelo homem afectam os solos mais profundos.

2.6 Métodos de quantificação do carbono florestal

De acordo com (IPCC 2006), as estimativas de estoque de carbono são regulamentadas pela UNFCCC através do guião de inventário de gases de efeito estufa para florestas e alterações de uso e cobertura de terra. O referido guião fornece as funções e parâmetros globais que podem ser utilizados para estimar o estoque de carbono em três níveis nomeadamente Tier 1, Tier 2 e Tier 3:

- i) Tier 1 é o nível mais simples, usa dados globais obtidos a partir da literatura mas não é recomendável durante a implementação de projectos de REDD⁺;

- ii) Tier 2 é o nível intermediário, usa dados específicos de cada país, o seu uso é aconselhável para a implementação de projectos de REDD⁺ e
- iii) Tier 3 é a abordagem mais rigorosa, pois utiliza dados de inventário florestal local, os quais facilitam a monitoria e a planificação das actividades de REDD⁺.

A quantificação do estoque de carbono florestal pode ser feita com base em informações resultantes de: (i) inventários florestais (volume das árvores), (ii) medição de biomassa (peso das plantas) e (iii) imagens satélite (densidade de cobertura) (Siteo e Guedes 2013).

2.6.1 Medição da biomassa

Uma das formas usadas para estimar o estoque de carbono florestal, é a medição da sua biomassa que é definida como sendo o peso seco das plantas por unidade de área (Brown, 1997). Os valores de biomassa são convertidos para carbono, assumindo que o carbono representa 50% da quantidade de biomassa estimada (IPCC 2003).

De acordo com (IPCC 2003), as estimativas de estoque fixado na biomassa florestal podem ser obtidas por meio da multiplicação do valor da biomassa pelo teor de carbono, recomendando-se o uso do factor 0,5 e mais recentemente, o factor 0,47 (IPCC 2006). A adopção de um valor genérico pode originar subestimativas ou superestimativas, contudo podem ser evitados erros se forem empregues teores de carbono determinados no laboratório (Dallagnol, Magnon e Sanquetta 2011).

A biomassa florestal aérea assim como das raízes pode ser estimada utilizando dois métodos, nomeadamente: (i) os métodos directos (destrutivos) e (ii) métodos indirectos (não destrutivos) mediante o uso de equações alométricas estabelecidas com base nos métodos directos e com variáveis dendométricas (Chaves *et al.*, 2005) ou com dados provenientes de sensoriamento remoto (Silveira *et al.*, 2008).

No método directo, derruba-se um número significativo de árvores numa área, separam-se os seus componentes, faz-se a pesagem e as amostras são colhidas e secas na estufa, fornecendo estimativa de biomassa presente em um hectare da área de estudo. O método directo tem a desvantagem de ter que derrubar as árvores, e portanto não é prático para trabalhos de rotina, mas, apresenta

resultados satisfatórios quanto à precisão das estimativas geradas (Brown 1997; Losi, Siccame e Condit 2003; Soares e Paula 2011).

Os métodos indirectos envolvem o uso de equações alométricas ou imagens de satélite. Em geral, as equações alométricas apresentam como variáveis independentes características directamente mensuráveis das árvores de amostra, como DAP e altura e as variáveis dependentes representadas pela massa de matéria seca dos diferentes compartimentos ou pela quantidade de carbono (Brown 1997; Losi, Siccame e Condit 2003; Soares, Paula 2011).

Nos métodos indirectos para além de se usar equações alométricas, usa-se também os factores de expansão de biomassa (FEB) que estimam a quantidade de biomassa com base em informações geradas pelos inventários florestais que operam por meio de conversão de volume em pé para biomassa e por meio de equações que estabelecem uma relação entre biomassa total das árvores individuais com o seu diâmetro (Sanquetta *et al.*, 2002; Siteo e Tchaúque 2007).

No método indirecto a possibilidade de ocorrência de erros significativos é maior no cálculo da biomassa, em casos de existência de árvores ocas ou de tamanhos grandes, podendo levar a uma subestimativa ou superestimativa de biomassa florestal. Recomenda-se a selecção cuidadosa da equação a ser usada e esta deve ser apropriada à área de estudo (Silva 2014).

A conversão para carbono deve ser feita de acordo com factores ajustados, pois o carbono contido na biomassa varia em função de factores ambientais e humanos, entre os quais destacam-se, o balanço entre a fotossíntese e respiração das plantas, sucessão natural, o crescimento e a mortalidade, as actividades humanas como por exemplo a exploração florestal, queimadas florestais e também é afectado pela variação da latitude (Siteo e Tchaúque 2007).

2.6.1.1 Equações alométricas de biomassa

Segundo (Atazadeh 2011), alometria (do grego *allos*, “outros” e *metron*, “medida”) é a correlação entre o tamanho ou o número de organismos e seus componentes. As equações alométricas são criadas para estimar variáveis de difícil medição (como biomassa e o carbono florestal), com base no uso de outras variáveis de fácil obtenção, tal como o DAP ou imagens satélites.

Uma equação alométrica de biomassa é uma ferramenta matemática que permite conhecer de forma simples, a quantidade de biomassa de uma árvore através de medição de outras variáveis. As equações são geradas a partir da análise de regressão, onde se estudam as relações entre a massa (geralmente em peso seco) das árvores e seus dados dimensionais (p.ex: DAP, altura). Dependendo do número de variáveis independentes a equação pode ser uma regressão simples (uma única variável, p.ex: DAP), ou regressão múltipla (mais de duas variáveis, p.ex: DAP, altura, etc) (Nath *et al.*, 2017)

Em relação à sua natureza as equações alométricas podem ser lineares ou não lineares (Rugnitz e Chacón 2009). O comportamento não linear da maioria das variáveis naturais tem levado ao uso de modelos não lineares. O modelo não linear é desvantajoso devido ao tamanho dos erros provenientes das estimativas. Contudo são simples e os erros podem ser facilmente minimizados pelo método dos mínimos quadrados (Silveira *et al.*, 2008).

As equações de biomassa que tem apenas o DAP como variável independente, são mais fáceis de usar. O único problema deste tipo de equação é que o peso será sempre o mesmo para um determinado diâmetro, independentemente da altura da árvore, da espécie e de outros atributos da planta (Higuchiet *et al.*, 1998). As funções alométricas e seus parâmetros podem variar de uma região para a outra, como consta na Tabela 2, e são influenciadas pela arquitetura das árvores e a densidade da madeira (Siteo e Guedes 2013).

Estimativas de biomassa e estoque de carbono em florestas tropicais, geralmente são realizadas utilizando modelos alométricos (Baker *et al.*, 2004 e Chaves *et al.*, 2005), através de variáveis independentes como o DAP, altura e densidade da madeira (Koehler *et al.*, 2008). Métodos indirectos fornecem dados essenciais que permitem a extrapolação de estoques de biomassa e carbono para os ecossistemas avaliados (Samogyi *et al.*, 2007).

Tabela 2: Algumas equações alométricas desenvolvidas em Moçambique.

Ecosistema	Local	Equação alométrica	Referências
Miombo	Corredor da Beira	$PSt = -11,055 + 1,6769DAP + 0,14307DAP^2$	(Tchaúque 2004)
Miombo	Gondola	$PSt = 0,056 * DAP^{2,599}$	(Tomo 2012)
Mopane	Tambara	$PSt = 0,204 * DAP^{2,275}$	(Sevene 2015)
FSVM	Moribane	$PSt = 0,066 * DAP^{2,694}$	(Lisboa 2014)
Miombo	Corredor da Beira	$PSt = 0,1754 * DAP^{2,3238}$	(Guedes e Siteo 2017)

2.7 Métodos de quantificação do carbono do solo

Existem vários métodos para determinar o teor de carbono do solo. O método da combustão a seco é considerado padrão, devido à sua alta precisão e exactidão nos resultados. Contudo o carbono orgânico também pode ser obtido da seguinte maneira: (i) pela análise do carbono total do solo e do carbono inorgânico e posteriormente subtrair-se essa fracção da total; (ii) pela determinação do carbono total após remoção do carbono inorgânico; oxidação de CO por dicromato e subsequente determinação do dicromato não reduzido pela oxirredução com Fe^{2+} ou por métodos calorimétricos (Nelson 1996).

O carbono no solo, pode ser estimado através do somatório do carbono armazenado em cada profundidade (horizonte). Para o efeito é necessário medir a densidade aparente do solo a cada nível de profundidade a que são colhidas as amostras (Schlegel, Gayoso e Guerra 2001; Pearson e Sarah 2005). O teor de carbono pode ser determinado pela análise química de carbono orgânico nos tecidos vegetais pelo método de Walkley-Black (método de oxidação húmida) e o mais utilizado em laboratórios devido ao facto de não exigir equipamentos sofisticados (Muukkonen 2006 e Sato 2013). Tendo a densidade aparente e o teor de carbono pode-se usar a seguinte relação:

$$C_s = (D_s * E * C) * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: **Cs** é o estoque de carbono do solo (ton/ha), **Ds** é a densidade aparente do solo da camada analisada (g/cm^3), **E** é a profundidade da camada do solo (cm) e **C** é o teor de carbono total (% expressa como fracção decimal sem unidades) e **100** é o factor de conversão de g/m^3 para ton/ha.

Geralmente as concentrações do carbono orgânico do solo são altas na camada superior e decrescem exponencialmente a medida que aumenta a profundidade. Recomenda-se que a medição do estoque de carbono do solo seja feita à profundidade de pelo menos 30 cm, dividindo-a em horizontes, (0-10, 10-20 e 20-30), considerando que é a esta profundidade onde provavelmente possam ocorrer variações perceptíveis no depósito de carbono (Pearson *et al.*, 2005; FAO, 2006; Roberto *et al.*, 2014 e Heinze *et al.*, 2018).

Estudo realizado por (Sallan *et al.*, 2018), mostrou que a dinâmica do carbono orgânico do solo nos horizontes do sub-solo depende do tipo de solo e que as diferenças entre os tipos de solo não podem ser clarificadas quando a amostragem é limitada a uma profundidade de 30 cm. Este autor sugere que as directrizes do IPCC para as medições do carbono orgânico do solo devem incluir amostragens em horizontes do sub-solo, para se poder obter informações do carbono entre os diferentes tipos de solos.

Segundo (Araújo, Zinn e Lal 2017), nas florestas tropicais húmidas, as concentrações de carbono orgânico do solo, têm sido relatadas como sendo proporcionais aos teores de argila, argila+silte e Fe/Al. Particularmente a textura e a mineralogia do solo são fortemente dependentes dos materiais de origem do solo, contudo não se sabendo se a retenção do carbono orgânico do solo também seria afectada pelo material de origem do solo

O estoque de carbono do solo pode ser expresso como massa de carbono por unidade de volume (kg/m^3 ou mg/m^3), como massa de carbono por unidade de massa do solo (g ou kg) ou como uma densidade de carbono (kg/m^2) por unidade de profundidade do solo (Pearson e Sarah 2005).

2.8 Estimativas de estoque de carbono em Moçambique

Foi conduzido um estudo sobre o sequestro de carbono e biodiversidade da regeneração de florestas de Miombo em Moçambique, na comunidade de Nhambita, nas proximidades do Parque Nacional de Gorongosa em Sofala, onde estimaram estoques de carbono que variaram de 8-19 ton/ha para as arbóreas, 3,9-15,7 ton/ha para as herbáceas nas machambas abandonadas e 18-140 ton/ha de carbono do solo (Williams *et al.*, 2008). Na mesma área, foi estimado o estoque de carbono que variou de 1,4-21,3 ton/ha para as arbóreas e 30-130 ton/ha para o solo (Ryan 2009) e 30-60 ton/ha para arbóreas e 8,5 ton/ha para raízes grossas (Ryan *et al.*, 2011).

Num estudo foi feito por (Mavie 2012), sobre a estimativa de perda de carbono associadas à mudanças de cobertura florestal em Gondola (Manica), obteve-se um estoque de carbono acima do solo de 60,57 ton/ha na floresta densa, 54,04 ton/ha na floresta aberta e 22,5 ton/ha correspondeu ao estoque de carbono das outras formações lenhosas. Na mesma área foi feito um estudo por (Tomo 2012), sobre a estimativa de estoque de carbono, onde foi encontrado 158,54 ton/ha na floresta densa; 100,36 ton/ha na floresta aberta e 133,05 ton/ha de outras formações lenhosas, e o solo foi a componente que mais contribuiu com uma média de carbono de cerca de 67,05%, resultando numa média de 23 ton/ha de carbono acima do solo e 60 ton/ha de carbono do solo e obteve correlação forte entre biomassa e diâmetro.

Na Reserva Florestal de Moribane foi desenvolvido um estudo sobre a estimativa de biomassa e carbono, do qual usando a equação de regressão desenvolvida para o local, obteve-se um estoque de carbono de 100,89 ton/ha e o factor de expansão de biomassa (FEB) foi de 104,49 ton/ha de carbono médio (Lisboa 2014).

Um outro estudo foi conduzido na Reserva Nacional de Niassa, ecossistema de Miombo, onde obteve-se um estoque de carbono de 67 ton/ha dos quais a média de 34,72 ton/ha eram da componente solo e a de 29,8 ton/ha eram da vegetação arbórea (Ribeiro *et al.*, 2013).

Estudos feitos nas florestas de Miombo, nas províncias de Manica e Sofala, indicam que o solo constitui o maior reservatório de carbono, com cerca de 45% do carbono total. A biomassa aérea das árvores e das raízes com cerca de 39% e 11% do carbono total, respectivamente (Sitoe e Guedes 2013). Um outro estudo foi feito por (Guedes *et al.*, 2016), nas unidades florestais de Penhalonga,

Rotanda e Inhamacari na província de Manica, onde determinaram um estoque de carbono para a componente arbórea de 106 ton/ha e, 156 ton/ha nas plantações de *Pinus taeda* e *Eucalyptus cloeziana* e 16 ton/ha na floresta de miombo.

Um estudo feito por (Boma 2017) de estimativa de estoque de carbono de florestas nativas e de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* na Província de Manica, Centro de Moçambique, foi estimado para o Mopane, Miombo e FSVM o estoque de 46,9; 468 e 58,5 ton/ha para as arbóreas; 17,7; 51,02 e 19,6 ton/ha para as raízes; 60,7; 94,6 e 81,9 ton/ha para o solo respectivamente.

2.9 Estimativas de estoque de carbono a nível global

A estimativa de estoque de carbono encontrada em um estudo feito numa floresta húmida em Lesio-Louna no Congo foi em média de 168,60 ton/ha - (81%) na biomassa acima do solo, e em média de 39,55 ton/ha - (19%) na biomassa abaixo do solo. O estoque de carbono total em toda a biomassa nas 22 parcelas estabelecidas neste estudo foi de 3395,37 ton/ha para biomassa acima do solo e 909,69 ton/ha para biomassa abaixo do solo. Não obstante neste estudo houve uma parcela dominante em termos de carbono com 363,90 ton/ha acima do solo e 85,52 ton/ha abaixo do solo (Liu, Zhang e Fengri 2014).

Foi feito um estudo por (Munish *et al.*, 2004), em Tanzania em duas áreas nomeadamente Usambaras e Ulugurus, onde determinou-se o estoque de carbono das arbóreas em Usambaras de 517 ton/ha e em Ulugurus de 388 ton/ha. Em termos de solo foi estimado o carbono de 418 ton/ha para Usambaras e 295 ton/ha para Ulugurus. O estudo revelou ainda que as plantas das altitudes médias tiveram mais carbono armazenado do que as plantas das altitudes mais elevadas. Outro estudo desenvolvido por (Munishi *et al.*, 2010), foi encontrado um estoque de carbono nas florestas afro-montanas na Tanzania que variavam de 252 a 581 ton/ha.

Estudos realizados por (Borem e Ramos 2002), em algumas florestas tropicais húmidas de Brasil, mostraram que o estoque de carbono variou de 5,6-31,2 ton/ha e (Correia 2008) tiveram valores que variaram de 3,6-12,4 ton/ha, também em zonas tropicais.

Um estudo realizado por (Nath *et al.*, 2017), numa floresta de *Barringtonia*, caracterizada pela presença de espécie de árvores adaptadas a planícies inundadas, estimaram a biomassa das componentes acima do solo, onde as árvores contribuíram em maior proporção com 45%, os brotos

em 27%, os ramos em 24% e folhas em 4% e o estoque de carbono acima do solo foi estimado em 263 ± 11 ton/ha.

Resultados do estudo realizado por (Borah *et al.*, 2015) na Índia, numa floresta tropical húmida, em duas áreas nomeadamente, o Santuário de vida selvagem de Gibbon e a Reserva florestal, mostraram que o estoque de carbono médio do solo na camada superior, média e inferior foi de 57,74-78,44 ton/ha; 39,22-64,93 ton/ha; 30,32-42,86 ton/ha respectivamente, e a maior biomassa acima do solo (135,30-146,42 ton/ha) e abaixo deste (67,64-73-21 ton/ha), foi achada na Reserva florestal, onde a floresta era madura e com diversidade de espécies.

Num dos maiores estudos de campo realizado por (Berenguer *et al.*, 2014), na floresta tropical no Brasil, sobre os impactos dos distúrbios humanos nos estoques de carbono acima e abaixo do solo, mostraram que a vegetação viva, o maior reservatório de carbono, era extremamente sensível à distúrbios, tendo se constatado que as florestas que sofreram queimadas armazenaram em média menos 40% de carbono acima do solo do que as florestas não perturbadas e foram estruturalmente semelhante as florestas secundárias.

Segundo (Berenguer *et al.*, 2014), os efeitos de borda também explicam a variabilidade nos estoques de carbono acima do solo em florestas perturbadas. Os resultados indicam um grande potencial de recuperação das reservas de carbono da madeira morta e da serapilheira, enquanto os estoques de carbono do solo (0-30 cm) parecem resistentes aos efeitos da exploração madeireira e do fogo. A serapilheira aparentemente não foi afectada pelo nível de cobertura. Já para o solo o estoque de carbono foi significativamente maior em florestas exploradas do que nas não perturbadas, provavelmente pelo facto das áreas não perturbadas estarem concentradas em áreas onde os solos eram mais arenosos.

2.10 Tipos de Ecossistemas

A flora Moçambicana é vasta e diversificada, nela encontra-se biodiversidade diferente na zona Norte, Centro e Sul do País. Encontra-se uma variedade de plantas desde medicinais até plantas para a exploração madeireira de diferentes tipos e muitas delas de boa qualidade e muito procuradas no mercado internacional (Ferreira 2008).

Em Moçambique assim como na maioria dos países tropicais, a área florestal tende a diminuir a um ritmo relativamente acelerado, não apenas pelo crescimento demográfico, derrube para agricultura, mas também devido á prática de queimadas descontroladas. As queimadas ocorrem anualmente em todo o território durante o período seco e no início das campanhas agrícolas e caça (MICOA 2007).

O ecossistema predominante em Moçambique é o Miombo que ocupa maior extensão da superfície territorial e vem a seguir a floresta de Mopane e a Floresta Sempre Verde de Montanha (FSVM). Cada um destes ecossistemas tem um papel crucial para as comunidades rurais, quem delas obtém vários produtos para a subsistência, para além de contribuírem nas suas actividades culturais e espirituais bem como no fornecimento dos serviços ecossistémicos (Marzoli 2007).

Para o presente estudo foram escolhidos estes tipos florestais, por serem mais comuns na área de estudo e por apresentar estruturas fisionómicas com densidade elevada de árvores, número elevado de espécies por unidade de superfície, número de estratos, constituindo grande potencial para armazenar o carbono face à mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

2.10.1 Floresta de Mopane

Mopane deriva do nome científico da espécie dominante, *Colophospermum mopane*. Este ecossistema ocorre no vale do Limpopo, em toda a região nordeste da província de Gaza até a parte alta do vale de Zambeze no centro da província de Tete (Sitoe 2003).

Este ecossistema é caracterizado pela ocorrência de árvores e arbustos com alturas que variam e que chegam a atingir 10 a 15 m. Particularmente a espécie *Colophospermum mopane* pode ocorrer em pequeno porte ou em forma de arbusto com alturas que variam de 1 a 3m em solos alcalinos impenetráveis *Colophospermum mopane* geralmente encontra-se associado a outras espécies tais como *Acacia exuvialis*, *Combretum apiculatum*, *Combretum imberbe*, *Sclerocarya birrea*, *Terminalia sericea*, *Strychnos.sp* e *Commiphora.sp* (Marzoli 2007).



Figura 2: Floresta de mopane (Distrito de Tambara)

Fonte: Flávia Tchaúque (2014)

2.10.2 Floresta de Miombo

Miombo é o terceiro maior tipo florestal entre as florestas tropicais de baixa altitude do mundo, ocupando uma área de cerca de 530 milhões de hectares (Lamprecht 1990). A vegetação é predominantemente xerófila e desfolhada em períodos secos, a precipitação média anual é de 700-1000 mm e a temperatura de 23 a 28 °C. Dependendo das condições do sítio a altura varia entre 4 a 12 m e por vezes atinge 20m, copas baixas, largas e frequentemente umbiliformes (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002).

Miombo é a formação vegetal mais comum na África Central e Austral especialmente no Zimbabwe, Zâmbia, Malawi, Tanzania e Moçambique (Campbell 1996). Na África Austral o termo miombo é usado para designar as formações florestais compostas à base de espécies do género *Brachystegia*, *Julbernardia* e *Isoberlinia*. Nas regiões de média altitude, ocorre o Miombo semidecíduo devido à alta pluviosidade, e em sítios mais baixos ocorre o Miombo decíduo seco (Wild e Barbosa 1967).

Conforme as variações topográficas e fisiográficas, a estrutura e composição do Miombo é modificada pelo clima, solo e altitude, distinguindo-se de uma região para a outra (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002). De acordo com a precipitação, o Miombo subdivide-se em húmido e seco. O

Miombo húmido ocorre em áreas com precipitação superior a 1000 mm, sendo pouco frequente em Moçambique, podendo ser encontrado em Gorué (Zambézia) e em algumas regiões da Província de Nampula e Cabo Delgado (Chidumayo 1997).

Em Moçambique o Miombo é o ecossistema florestal e ocupa aproximadamente 2/3 da superfície total, estende-se desde o extremo norte do país do Rio Rovuma ao Rio Limpopo, sendo mais dominante no norte. Este em Moçambique é maioritariamente seco, pois ocorre mais em áreas cuja precipitação média anual é inferior a 1000 mm. A diversidade florística é menor que a do miombo húmido. As espécies mais dominantes são a *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia bohemii* e *Julbernardia globiflora* (Chidumayo 1997).

Conforme as variações do clima, solos e altitude, o Miombo em Moçambique pode ser dividido em três tipos: denso, médio e pobre. Este ecossistema florestal geralmente apresenta 2 a 3 estratos. O estrato inferior em geral compõe-se de uma mistura de arbustos, árvores em regeneração, árvores jovens oprimidas pelas copas das árvores maiores, gramíneas, espécies invasivas como a *Digitaria* sp., *Eragrostis* sp., *Andropogon* sp., *Hyparrhenia* sp., entre outras e fetos no miombo húmido (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002).

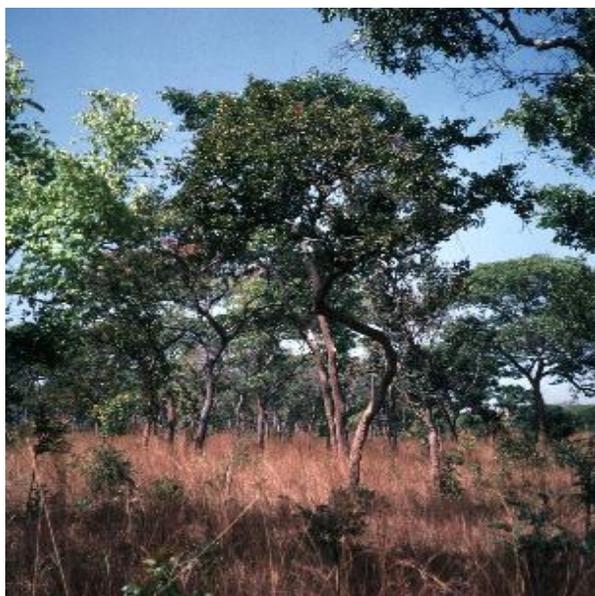


Figura 3: Floresta de Miombo (Distrito de Macossa)

Fonte: Flávia Tchaúque (2014)

As florestas de Miombo são queimadas anualmente durante a limpeza das machambas e actividade de caça. O fogo é um importante componente ecológico, pois permite a germinação das sementes e a nitrificação do solo. No início da estação chuvosa, os temporais com trovoadas podem incendiar a vegetação com facilidade, contudo a vegetação verde e os solos húmidos impedem que o fogo se espalhe (Chidumayo 1997).

2.10.3 Floresta Sempre Verde de Montanha (FSVM)

De acordo com o Atlas Geográfico de Moçambique a FSVM é um tipo de ecossistema florestal determinado pelas condições climáticas, especialmente a humidade atmosférica, precipitação e a temperatura do ar (MEC 1983).

Segundo (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002), a nível mundial as florestas de montanha estendem-se por uma área de aproximadamente 0,5 milhões de km², apresentam uma diversidade específica menor e uma abundância relativamente maior e possui geralmente 3 estratos, sendo o estrato superior mais fechado. Segundo (Gomes e Sousa 1967), normalmente é constituído por 3 a 4 estratos de vegetação lenhosa cerrada, sendo mais dominante o arbóreo com árvores de 20 metros ou mais e o estrato inferior, geralmente o arbustivo e herbáceo é menos desenvolvido devido à escassez de luz.



Figura 4: Floresta sempre verde de Montanha (Sussundenga)

Fonte: Flávia Tchaúque (2014)

Em Moçambique a FSVM encontra-se em altitudes que variam entre 1200 a 1600 m, com precipitação de 1700 a 2000 mm por ano. Pode ser encontrada nas seguintes regiões: Gorué, Milange, Chimanimani, Vumba, Gorongosa, planalto de Mueda e outras zonas altas (Siteo, 2003 e Marzoli, 2007). As espécies predominantes são: *Khaya anthoteca*, *Erithrophleum suaveolens*, *Albizia spp.* e *Macaranga spp.* entre outras (Wild e Barbosa 1967).

2.11 Regimes de uso das florestas em Moçambique

A conservação de áreas florestais é extremamente necessária para garantir a manutenção da biodiversidade, para além de assegurar o armazenamento de carbono contido na biomassa e nos solos. Moçambique possui áreas protegidas com floresta em diferentes estágios de conservação, as quais contribuem para a manutenção da biodiversidade, melhoria da qualidade de vida das populações e também auxiliam na mitigação das mudanças climáticas, armazenando grandes quantidades de carbono nos diferentes componentes florestais (Cardoso *et al.*, 2009). As Reservas florestais em Moçambique representam real potencial para aplicação de Projectos REDD (Siteo e Enosse 2003).

A Lei de Floresta e Fauna Bravia nº 10/99 de 7 de Julho define Reserva Nacional como espaço territorial que se destina à preservação de certas espécies de flora e fauna raras, endémicas, ameaçadas ou em vias de extinção, ou que denunciem declínio, e os ecossistemas frágeis tais como zonas húmidas, dunas mangais e corais.

A maioria das Reservas florestais em Moçambique possui populações humanas a residirem no seu interior, com excepção das reservas de Licuáti e Matibane onde a população encontra-se na periferia. A presença humana é atraída pela existência de produtos com valor de mercado como por exemplo a madeira comercial e animais de caça assim como o fácil acesso para actividades ilegais (Siteo *et al.*, 2006).

A Lei de Floresta e Fauna Bravia nº 10/99 de 7 de Julho define Coutada oficial como sendo áreas delimitadas de domínio público, destinadas a caça desportiva, fomento de turismo cinegético e protecção das espécies nas quais o direito de caçar só é reconhecido por via de um contrato de concessão celebrado entre o operador e o estado. O conflito homem animal caracteriza as comunidades residentes nas áreas de coutadas (Siteo e Tchaúque 2007). Para uma boa convivência

entre o operador privado e as comunidades locais é necessário que o conflito seja resolvido ou gerido como forma de minimizar os níveis de ataque dos animais aos bens da comunidade (Siteo, Guedes e e Maússe-Sitoe 2007).

Concessão florestal foi definida segundo a Lei de Floresta e Fauna Bravia nº 10/99 de 7 de Julho como sendo área de domínio público delimitada, concedida a um determinado operador através de contrato de concessão, destinada à exploração florestal para o abastecimento da indústria, mediante um plano de manejo previamente aprovado. A área de concessão geralmente é do Estado e é cedida a um operador privado por contrato de concessão de até um máximo de 50 anos renováveis. Um dos principais requisitos para o estabelecimento de uma concessão é a disponibilidade do recurso florestal.

Todas as Reservas nacionais estão sob gestão do Estado, contudo existe a possibilidade de co-gestão com a participação das comunidades locais ou delegação de autoridade para as comunidades locais. Com o início das actividades de manejo comunitário em Moçambique, as reservas foram as áreas sobre as quais as experiências de manejo comunitário foram testadas (Siteo *et al.*, 2006).

A Lei de Floresta e Fauna Bravia nº 10/99 de 7 de Julho definiu Florestas comunitárias na zona de uso múltiplo como sendo aquelas florestas habitadas e/ou utilizadas por comunidades e grupos de familiares. Existe uma ampla diversidade na organização social e cultural desses grupos e comunidades, bem como a forma de acesso aos recursos florestais, e no modo como estes recursos são usados. Segundo (Siteo e Enosse 2003), estas áreas não estão especificamente designadas como áreas de produção florestal permanente, podem ser convertidas para outras formas de uso e cobertura que não seja florestal.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi feito em cinco distritos da província de Manica, nomeadamente, Tambara, Macossa Gondola, Sussundenga e Mossurize, tendo em conta os seguintes regimes de uso: Coutada 7 (Tambara) e Coutada 9/13 (Macossa), Floresta comunitária (Gondola), Reserva florestal (Sussundenga) e Concessão florestal (Mossurize). A Figura 5 abaixo indica as áreas onde decorreu o estudo.

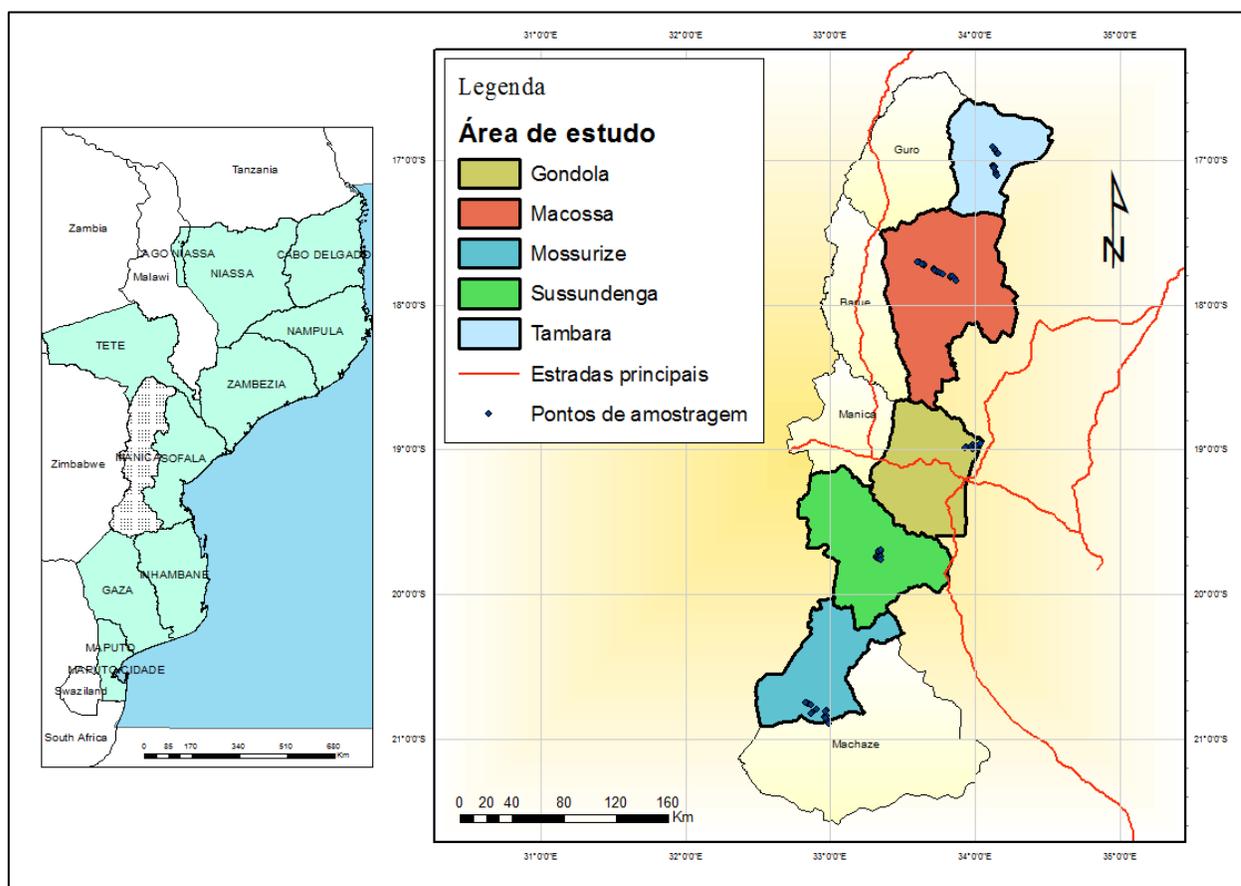


Figura 5: Mapa indicando as áreas de estudo

Fonte: Flávia Tchaúque (2014)

Tabela 3: Descrição da área de estudo

Tipo de Ecossistema	Mopane	Miombo			FSVM
Regimes de uso	Coutada 7	Coutada 9/13	Floresta comunitária	Concessão Florestal	Reserva Florestal
Localização	Tambara	Macossa	Gondola	Mossurize	Sussundenga
População	48195	35678	300576	235984	148277
Clima	Seco de estepe	Sub - húmido seco	Tropical com estação chuvosa e seca	Temperado húmido	Tropical chuvoso de savana (duas estações)
TMA (°C)	20,5 -32,5	22 - 26	10,1 -39,1	15,1 - 25	17,6 - 29,5
PMA (mm)	500 - 800	800 -1000	850 -1500	1501	1171
Solo	Textura variável, profundos a muito profundos	Textura grosseira ou mediana	Profundos e mistos, franco-argilo-arenosos	Profundos e férteis, argilosos vermelhos e castanhos	Argilosos e arenosos, vermelhos de textura média. Moderadamente profundos a muito profundos excepto os litólicos
Topografia	Declive quase plano e fortemente ondulados	Influenciado pelo sistema de montanhas	Varia de suavemente ondulado à ondulada	Colinas e montanhas, fortemente dissecadas por riachos	Montanhosa

Fonte: (MAE 2005) População com base na projecção de 2011 (INE, 2007).

3.2 Métodos

3.2.1 Desenho da amostragem

O desenho da amostragem teve em conta os diferentes regimes de uso, tipo de ecossistema florestal e níveis de cobertura, resultante do cruzamento de tabelas dos critérios: regime de uso, tipos de vegetação e província.

Com base no mapa de uso e cobertura florestal de Moçambique, fez-se a estratificação da área de estudo considerando três tipos de cobertura nomeadamente a alta, média e baixa. Foi considerada cobertura alta àquela maior que 60%, média entre 20 a 60% e baixa a menor que 20% de acordo com a classificação feita por (Filipe 2008).

Os regimes de uso seleccionados para o presente estudo foram: Áreas de concessão em Mossurize, Coutada 9 e 13 em Macossa, Coutada 7 em Tambara, Reserva florestal em Sussundenga e zona de uso múltiplo em Gondola.

A alocação dos pontos de amostragem na área de estudo foi feita com base no pressuposto de que o nível de cobertura varia, sendo que no centro onde se encontra o aglomerado populacional as áreas florestais encontram-se mais perturbadas e à medida e que o raio aumenta o nível de perturbação tende a reduzir, e mais distante ainda é possível encontrar florestas intactas, conforme ilustra a Figura 6 abaixo.

Onde: 1- É a área habitada pela população humana;

2 - É a área imediatamente em volta do povoado em que o nível de cobertura geralmente é baixo pois é onde as populações abrem as suas machambas;

3 - É a área pouco perturbada, devido ao distanciamento com a população e o nível de cobertura tende a ser médio;

4 - É a área muito distante da população e é possível encontrar floresta intacta e a cobertura é alta.

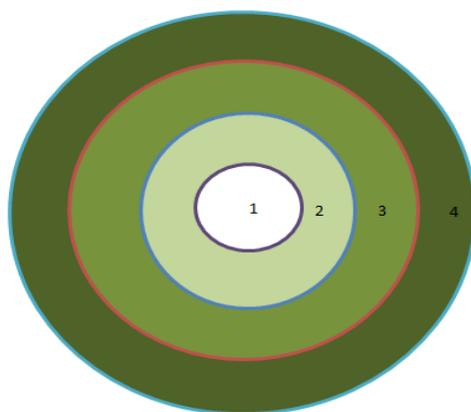


Figura 6: Mapa de distribuição dos pontos de amostragem

Todos os pontos alocados foram registados no GPS (Global Positioning System) com as suas coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) e depois lançados no mapa da área de estudo.

3.3 Localização dos pontos de amostragem

Foram estabelecidas 77 parcelas de 20m x 50m cada totalizando uma área de 7,7 ha em 5 distritos da província de Manica, como ilustram a Figura 7 e a Tabela 4 abaixo tendo em conta o tipo de cobertura, regime de uso e tipo de vegetação.

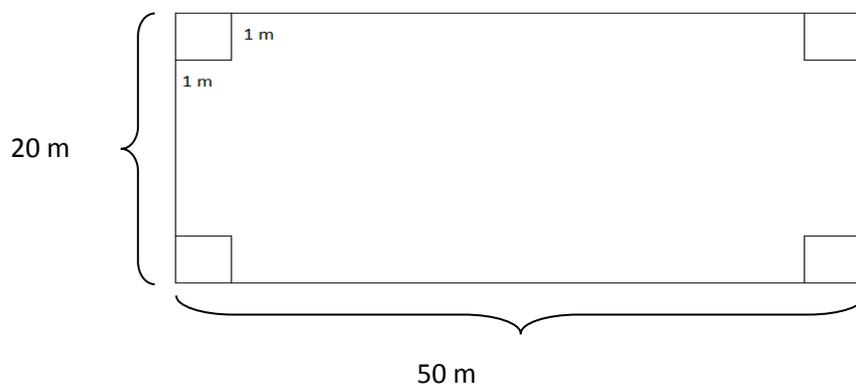


Figura 7: Esquema para o estabelecimento das parcelas e sub-parcelas

Tabela 4: Distribuição de parcelas por ecossistemas, regime de uso e níveis de cobertura.

Ecossistema	Regime de uso	Nível de cobertura			Total de Parcelas
		Alto	Médio	Baixo	
Miombo	Coutada 9/13	6	6	6	18
	Floresta Comunitária	4	4	4	12
	Concessão florestal	6	6	6	18
Mopane	Coutada 7	3	4	7	14
FSVM	Reserva florestal	5	5	5	15
Total		24	25	28	77

As directrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), para inventários nacionais de gases de efeito estufa recomendam que as avaliações de carbono em áreas florestais quantifiquem cinco reservatórios de carbono funcionalmente distintos tais como o carbono acima do solo (árvores vivas), madeira morta (detritos lenhosos grossos e árvores mortas em pé), detritos (detritos lenhosos finos e serapilheira), solo (acima de 30 cm) e raízes (IPCC 2006). Para o presente estudo, fez-se a estimativa de carbono em cinco reservatórios (árvores com diâmetro acima de 5 cm, raízes, herbáceas, serapilheiras e solo (a uma profundidade de 30 cm).

3.4 Colheita de dados no campo

3.4.1 Colheita de dados de vegetação arbórea

Para a colheita de dados de vegetação arbórea, necessários para a estimação da biomassa recorreu-se ao método não destrutivo, uma vez que já existem equações de biomassa calibradas para alguns ecossistemas florestais de Manica. Em cada ponto localizado foram estabelecidas parcelas de 20 x 50m. Dentro de cada parcela fez-se a medição de todos os indivíduos com DAP acima de 5 cm, usando uma suta e/ou fita diamétrica, Figura 8. A fita diamétrica apenas foi usada para casos de árvores com diâmetros acima de 1m, incapazes de serem medidos com suta. Foi escolhido para este estudo o DAP > 5 cm por ser muito usado em estudos de natureza, podendo permitir comparações com outras áreas amostradas de formação florestal semelhante.

As árvores mortas (com ramos e galhos seco), não foram consideradas, uma vez que elas não representam sumidouro, mas fonte de CO₂ (Carvalho, Cerqueira e Silva 2014). Feitas as medições, os dados foram registados na respectiva ficha de campo.



Figura 8: Colheita de dados de vegetação arbórea.

3.4.2 Colheita de dados da vegetação herbácea

Para a colheita de dados da vegetação herbácea, foram estabelecidas sub-parcelas de 1m x 1m (área amostral de 1m²), nas 4 extremidades de cada parcela de 20m x50m. Dentro de cada sub-parcela fez-se o corte de todo o material herbáceo até ao nível do solo com auxílio de uma tesoura e a posterior, o material foi pesado numa balança electrónica (15 kg) para a extracção do peso húmido. Em cada sub-parcela foi retirada uma sub-amostra do material herbáceo, totalizando 4 sub-amostras, as quais foram misturadas para compor a amostra da parcela, em quantidades cuja variação foi de 60 a 100g, Figura 9. As amostras foram colocadas em sacos de papel previamente identificados com marcador para a obtenção do peso seco no laboratório.



Figura 9: Colheita de dados da vegetação herbácea.

3.4.3 Colheita de dados de serapilheira

Nas mesmas sub-parcelas de 1 m x 1 m, onde foram recolhidos dados da vegetação herbácea, fez-se a recolha da serapilheira (folhas mortas, galhos, frutos secos, gramíneas mortas, pequenos ramos e ainda algum material orgânico decomposto que não foi possível identificar). A serapilheira recolhida em cada sub-parcela foi pesada no local com auxílio da mesma balança electrónica para a extracção do peso húmido. Do material verde de cada sub-parcela retirou-se uma sub-amostra. As quatro sub-amostras da serapilheira foram misturadas para perfazer uma amostra de cerca de 60 a 100g, Figura 10. As amostras da serapilheira foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados com marcador para a extracção do peso seco no laboratório.



Figura 10: Colheita de dados da serapilheira.

3.4.4 Colheita de dados de solo

A colheita de dados de solo foi feita nas sub-parcelas anteriormente montadas nas extremidades das parcelas de 20m x 50m para a colheita de material herbáceo e serapilheira. Nestas sub-parcelas fez-se a colheita de sub-amostras de solo a uma profundidade de 0-30cm com auxílio de uma sonda padrão. Estas sub-amostras, num total de 4 foram misturadas num balde e desta mistura retirou-se apenas uma amostra que foi armazenada em saco plástico previamente identificado, Figura 11. As amostras perturbadas foram levadas ao laboratório para a determinação da concentração do carbono.

Para a colheita de solo não perturbado, necessário para a determinação da densidade aparente do solo, foi montada uma quinta sub-parcela no centro de cada parcela. A uma profundidade de 0-30cm foram retiradas amostras, com auxílio da sonda, e estas foram armazenadas em anéis, previamente identificados de acordo com a metodologia proposta por (Arevalo *et al.*, 2002). Pesquisas sobre carbono do solo tendem a se concentrar no solo a uma profundidade de 0-30 cm e segundo o estudo feito por (Sallan *et al.*, 2018), mostrou que não existia diferenças de carbono orgânico do solo entre os tipos de solo a esta profundidade.



Figura 11: Colheita de amostras de solo.

3.5 Trabalho de laboratório

Foram levadas 77 amostras de material herbáceo e 62 de serapilheira ao laboratório de Silvicultura da FAEF para as análises. De referir que a diferença no número de amostras entre o material herbáceo e serapilheira foi originada pelo facto de algumas sub-parcelas (1m^2), não terem apresentado material para a colheita. As amostras foram novamente pesadas antes da secagem para corrigir as perdas ou ganho de humidade devido ao armazenamento. Feita a pesagem foram colocadas numa estufa a uma temperatura de 75°C com os respectivos sacos para a sua posterior identificação (Alonso *et al.*, 2015). Passados dois dias (48 horas) na estufa, as amostras da vegetação herbácea e serapilheira, foram submetidas a pesagens diárias até atingirem o peso constante. Os dados foram registados nos formulários apropriados. Tendo-se obtido deste modo o peso seco das amostras, necessário para a determinação da matéria seca em quilogramas (kg).

No laboratório de solos da FAEF na UEM, foram processadas 77 amostras de solo perturbado para a determinação da concentração de carbono usando o método Walkley-Black e 77 de solo não perturbado para a determinação da densidade aparente do solo de acordo com (EMBRAPA 1997).

3.6 Processamento de dados

3.6.1 Determinação do estoque de carbono nos diferentes componentes dos ecossistemas florestais

3.6.1.1 Determinação do peso seco das árvores acima do solo

Com as medidas de DAP extraídas das árvores, com diâmetro acima de 5 cm, obteve-se o valor do peso seco total usando as equações alométricas da Tabela 5. A Equação 2, desenvolvida por (Guedes e Siteo 2017), no ecossistema de Miombo, ajustada com base em árvores com DAP de 5-53 cm, foi usada para a estimativa de biomassa das espécies arbóreas encontradas na Coutada 9/13, na Floresta comunitária, na Concessão florestal e para as espécies diferentes de *Colophospermum mopane* encontradas na Coutada 7. Para determinar o peso seco total de *Colophospermum mopane* no ecossistema de Mopane na Coutada 7 usou-se a Equação 3 desenvolvida por (Sevene 2015), nas florestas de Mopane em Manica, com base em DAP de 5-44 cm. Para a Reserva florestal, FSVM, foi usada a Equação 4 desenvolvida por (Lisboa 2014), na mesma area, com base no DAP de 5-57 cm.

Tabela 5: Equações usadas para a estimativa de biomassa arbórea no presente estudo.

Ecossistema	Equação	Referência	Designação
Miombo	$P_{st} = 0,1754 * DAP^{2,3238}$	(Guedes e Siteo 2017)	Equação 2
Mopane	$P_{st} = 0,204 * DAP^{2,275}$	(Sevene 2015)	Equação 3
FSVM	$P_{st} = 0,066 * DAP^{2,694}$	(Lisboa 2014)	Equação 4

Onde: Pst - Peso seco total da árvore acima do solo (árvore individual) (kg)

DAP - Diâmetro à altura do peito (cm) (medido à altura de 1,30 m)

Os pesos secos em quilogramas obtido através das equações 2, 3 e 4 foram convertidos para toneladas por hectare e já com a área de cada parcela estabelecida de 0.1ha, determinou-se a biomassa usando a Equação 5 abaixo.

$$BmArv = \frac{\sum(Pst)}{n * Ap} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

BmArv - Biomassa média das árvores acima do solo por nível de cobertura (ton/ha)

$\sum(Pst)$ - Somatório de peso seco total das árvores por nível de cobertura (ton)

n - número total de parcelas por nível de cobertura

Ap - Área da parcela (ha)

3.6.1.2 Biomassa das raízes

A quantificação da biomassa das raízes foi feita com base no método indirecto, usando a Equação 6 desenvolvida por (Pearson e Sarah 2005), tendo em conta que a biomassa das árvores acima do solo, que é um dos parâmetros da equação já havia sido determinada.

$$BBDi = \exp(-1,0587 + 0,8836 * \ln BASi) \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

BBDi - Biomassa das raízes (dentro de cada parcela i) (ton/ha)

BASi - Biomassa das árvores acima do solo (dentro de cada parcela i) (ton/ha)

Ln - Logaritmo natural

3.6.1.3 Determinação do peso seco das herbáceas e serapilheira

Com o peso húmido da amostra de cada componente (herbácea ou serapilheira) dentro de cada parcela, peso húmido da sub-amostra levada ao laboratório e peso da sub-amostra depois de seca, usou-se a Equação 7 de acordo com (Pearson e Sarah 2005), para determinar o peso seco da amostra das respectivas componentes em quilogramas:

$$MSamostra = \left(\frac{MSsub-amostra}{MFsub-amostra} \right) * MFamostra \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

MS amostra - matéria seca da amostra (kg)

MF amostra - matéria fresca da amostra (kg)

MS sub-amostra - matéria seca da sub-amostra (kg)

MF sub-amostra - matéria fresca da sub-amostra (kg)

O peso seco obtido para estas componentes (herbácea e serapilheira) em quilogramas foi convertido para toneladas e tendo a área das sub-parcelas dentro de cada parcela de 0.0004 ha e o número de parcelas para cada nível de cobertura, dentro de um regime de uso, determinou-se a biomassa média das referidas componentes em toneladas por hectare usando a Equação 8 abaixo.

$$BmHS = \frac{Ms amostra}{n*Asp} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

BmHS - Biomassa média das herbáceas ou serapilheira (ton/ha)

Ms - Matéria seca da amostra das herbáceas ou serapilheira (ton)

n - número total de parcelas por nível de cobertura

Asp - Área da subparcela (ha)

3.6.1.4 Determinação do estoque de carbono da vegetação arbórea, herbácea, serapilheira e raízes

Para determinar o estoque de carbono da vegetação nos ecossistemas florestais da província de Manica usou-se um factor de conversão de biomassa em carbono que pode variar entre autores. Para o presente estudo foi adotado o factor utilizado pelo IPCC de 0.5, ou seja, que considera que quase 50% da biomassa é composta por carbono (IPCC 2006).

Feito o cálculo da biomassa média de cada componente determinou-se a quantidade de carbono armazenada nas mesmas (árvores, herbáceas, serapilheira e raízes) multiplicando a biomassa média pelo factor 0,5, usando a Equação 9 abaixo.

$$C = Bm * 0.5 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

C - estoque de carbono por nível de cobertura (ton/ha)

Bm - Biomassa média por nível de cobertura (ton/ha)

0,5- Factor de Conversão de biomassa em carbono (Pearson *et al*, 2005)

3.6.1.4 Determinação de estoque do carbono do solo

Para a quantificação da concentração de carbono contido no solo dos diferentes regimes de uso, fez-se a determinação laboratorial da concentração do carbono orgânico do solo pelo método de Walkley-Black (EMBRAPA 1997 e Sato, 2013) e a determinação da densidade aparente do solo pelo método de cilindro com volume conhecido (Schlegel, Gayoso e Guerra 2001) e determinou-se o estoque de carbono usando a Equação 10 (Pearson e Sarah 2005).

$$Cs = (Ds * E * C) * 100 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

Cs - Estoque de carbono do solo (ton/ha)

Ds - Densidade do solo a granel (g/cm³)

E - Profundidade do solo (cm)

C - Teor de carbono do solo determinado no laboratório (% expressa como fracção decimal sem unidades)

100 - Factor de conversão de g/cm² para ton/ha

3.6.2 Determinação do estoque de carbono florestal total nos diferentes regimes de uso e cobertura florestal

O estoque de carbono total em cada regime de uso e cobertura florestal, consistiu na soma dos estoques de carbono de todos os componentes, dentro de cada regime de uso, com base na Equação 11 abaixo. Todos os valores foram representados em toneladas por hectare (ton/ha).

$$EC_{total} = C_a + C_h + C_{se} + C_{so} + C_r \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

C_a - Estoque de carbono de árvores (ton/ha)

C_h - Carbono de herbáceas (ton/ha)

C_{se} - Carbono da serapilheira (ton/ha)

C_{so} - Carbono do solo (ton/ha)

C_r - Estoque de carbono das raízes (ton/ha)

3.6.3 Análise estatística

Todas as análises estatísticas foram feitas usando o pacote estatístico R versão 3.3.2 (R Core Development Team, 2016). Antes os dados foram analisados quanto à normalidade através do teste Shapiro-wilk a 5% de nível de significância, para aferir se os dados seguiam uma distribuição normal. Nos casos em que os dados não seguissem a distribuição normal fez-se uma transformação logarítmica (ln) e em casos em que se verificou que os dados continuavam não seguindo a distribuição normal recorreu-se a transformação via raiz quadrada a fim de satisfazer os pressupostos da análise de variância (ANOVA).

Depois de verificar a normalidade dos dados, fez-se a ANOVA, para verificar se existiam diferenças de estoque de carbono entre as componentes para cada regimes de uso e entre os níveis de cobertura florestal dentro de cada ecossistema florestal. Para o efeito foram testadas as seguintes hipóteses.

H₀: A alteração do nível de cobertura florestal não afecta os estoques de carbono

H_a: Existe diferença de estoque de carbono entre os níveis de cobertura alto, médio e baixo

Para a análise da variância foram usados os seguintes pressupostos: Valor de $p > 0.05$ aceitou-se a hipótese nula e $p < 0.05$ rejeitou-se a hipótese nula.

Para os casos em que não foi observado um efeito significativo para o factor nível de cobertura, não houve necessidade de fazer o teste de comparação de média (*TukeyHSD*). Apenas para os casos em que os resultados da ANOVA tenham mostrado a existência de diferenças entre os estoques de carbono, recorreu-se ao teste de comparação múltipla das médias (*TukeyHSD*) a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), para aferir até que ponto as diferenças verificadas eram estatisticamente significativas.

Fez-se também o teste de independência Chi-quadrado a um nível de significância de 5% para avaliar a relação existente entre as componentes em estudo. Os resultados dos testes foram apresentados em tabelas e gráficos.

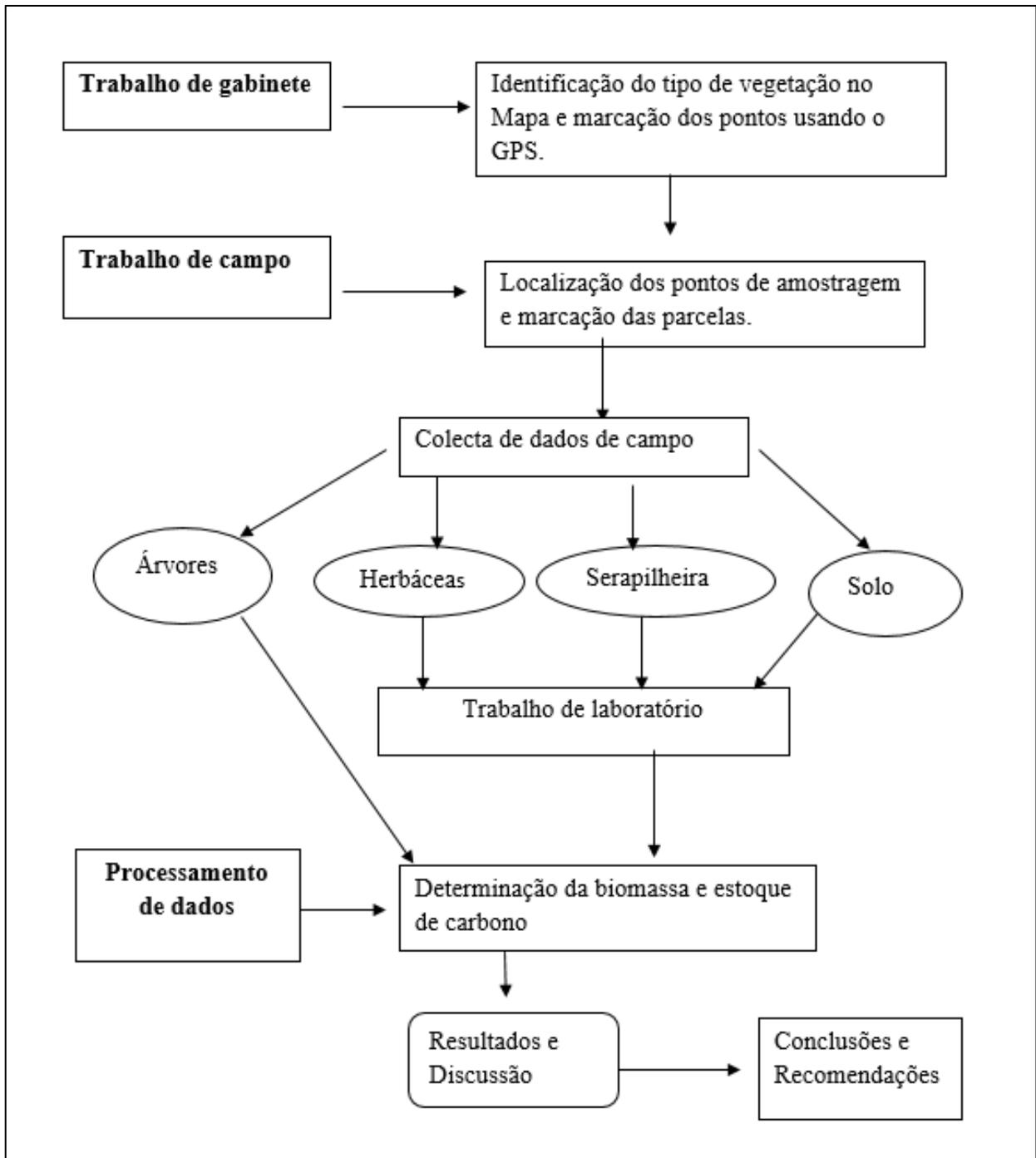


Figura 12: Fluxograma da metodologia para a estimativa de estoque de carbono para o presente estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Determinação do estoque de carbono nos diferentes componentes dos ecossistemas florestais (árvores, raízes, herbáceas, serapilheira e solo)

4.1.1 Estoque de carbono por componente no Miombo

Na Figura 13, pode-se observar que num total de 48,90 ton/ha de estoque de carbono médio estimado na Coutada 9/13, a contribuição do solo foi de 39,30 ton/ha e das árvores 6,59 ton/ha, correspondendo a 80% e 14% respectivamente. Ainda sobre o mesmo total, a componente herbácea contribuiu em 0,20 ton/ha (0%), a serapilheira em 0,25 ton/ha (1%) e as raízes em 2,55 ton/ha (5%). Na Floresta comunitária, com um total de 81,63 ton/ha, o solo contribuiu com 61,62 ton/ha e as arbóreas com 14,63 ton/ha. Em termos percentuais, correspondeu ao solo 76% e às arbóreas 18%, sendo que a parte remanescente foi a contribuição das raízes em 4,82 ton/ha (6%), das herbáceas e da serapilheira em 0,25 e 0,31 ton/ha respectivamente, ambas abaixo de 1%. Na Concessão florestal, foi estimado um estoque de 57,75 ton/ha, deste total o solo contribuiu com 48,93 ton/ha e as arbóreas com 10,52 ton/ha correspondendo a 85% e 11 % respectivamente. Quanto às raízes estimou-se em 2,25 ton/ha (4%), as herbáceas em 0,28 ton/ha e serapilheira em 0,22 ton/ha, sendo para estas duas últimas componentes, uma proporção também abaixo de 1%.

Observando a Figura 13, para todos os regimes de uso estudados no Miombo, o solo foi a componente que se destacou com maior média de estoque de carbono, seguido pela vegetação arbórea. Esta constatação teve suporte do estudo feito por (Siteo e Guedes 2013), em Manica e Sofala, onde o solo foi considerado maior reservatório de carbono com 45%, seguido pelas arbóreas com 39%. A tendência de maior estoque de carbono do solo também foi encontrada no mesmo ecossistema florestal (Miombo) em Gondola, por (Tomo 2012) com 60 ton/ha em relação à 23 ton/ha das arbóreas, por (Williams *et al.*, 2008), na comunidade de Nhambita, que variou entre 18-140 ton/ha e na Reserva de Niassa com 34,72 e 29,8 ton/ha para o solo e arbóreas respectivamente (Ribeiro *et al.*, 2013).

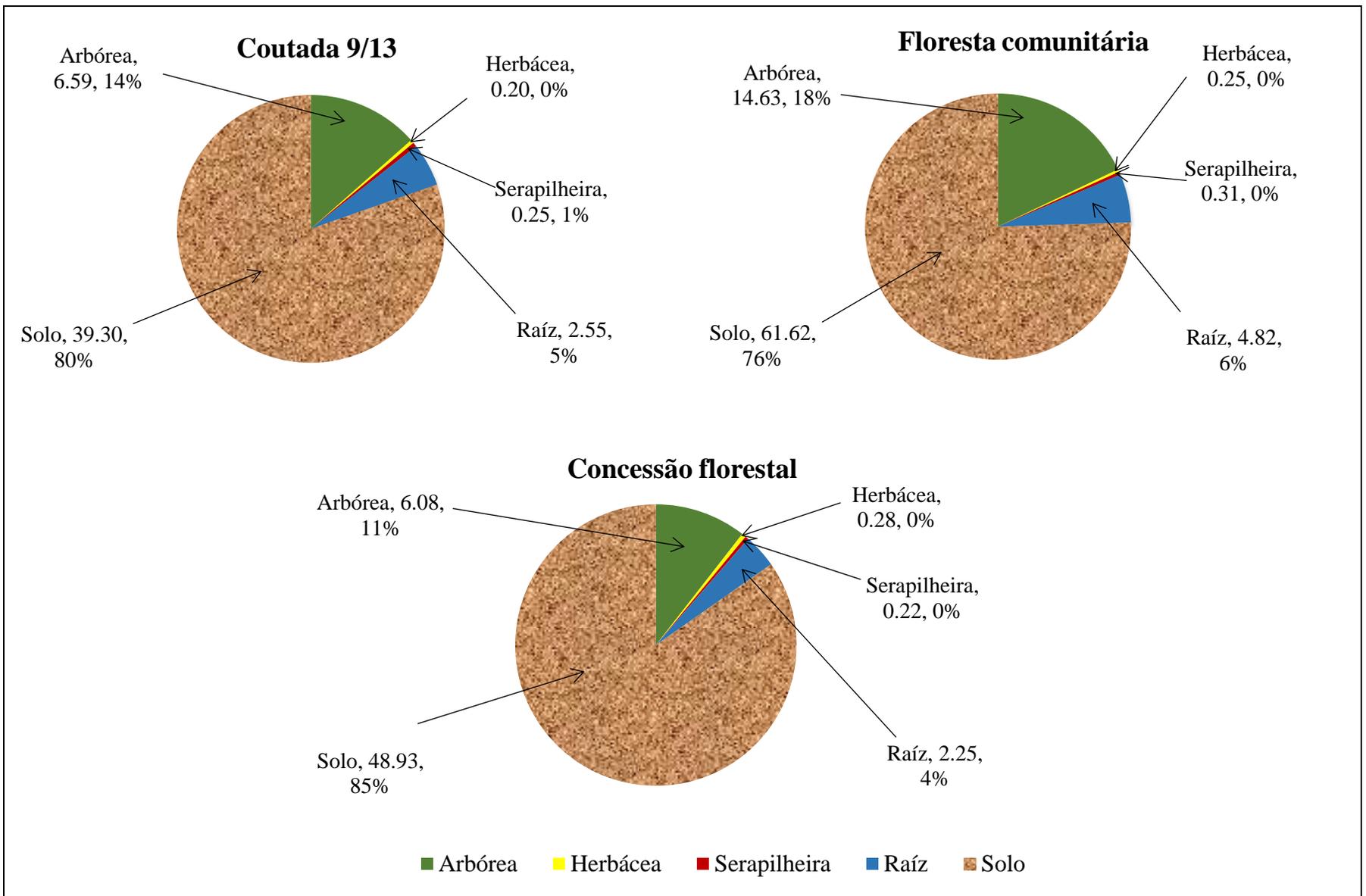


Figura 13: Proporção de estoque de carbono médio por componente no Miombo, província de Manica, centro de Moçambique.

A maior quantidade de carbono do solo em relação às outras componentes pode ser explicada através do ciclo de carbono, onde mostra que o solo é o maior reservatório de carbono nos ecossistemas terrestre, de modo que o primeiro metro superior deste armazena 2,5 vezes mais carbono que a vegetação terrestre (620 Pg C) e 2 vezes mais carbono que o presente na atmosfera 760 Pg C (Lal, 2002 e Machado, 2005). As alterações das concentrações de carbono nos diferentes reservatórios dependem, não apenas das actividades humanas, mas também dos processos biogeoquímicos e climáticos e suas interações com o ciclo do carbono (Lal 2004).

A contribuição das outras componentes em termos de estoque de carbono, em cada regime de uso, nomeadamente raízes, herbáceas, foi baixa, e para o caso concreto da Concessão florestal, não houve registo de serapilheira no nível de cobertura baixo.

Os valores de estoque de carbono da Floresta comunitária estimados neste estudo para as arbóreas (14,63 ton/ha), herbáceas (0,25 ton/ha), serapilheira (0,31 ton/ha) e solo (61,62 ton/ha) estão fora dos intervalos de estoque de carbono obtidos no estudo realizado por (Tomo 2012), na mesma área, com a excepção do solo, onde se obteve uma média de estoque de carbono de 22,95-60,57 ton/ha das arbóreas; 0,72-1,04 ton/ha das herbáceas; 0,4-3,85 ton/ha da serapilheira e 60,26-93,0 ton/ha do solo. Já (Mavie 2012), também na mesma área de estudo estimou valores de estoque de carbono das arbóreas, que variaram de 54,04 a 60,57 ton/ha entre a floresta densa e aberta. Nos estudos realizados por (Boma 2017) obteve-se 58,5; 81,9; 19,6 ton/ha para as arbóreas, solo e raízes respectivamente.

As diferenças verificadas podem ser explicadas pelo facto dos estoques de carbono serem influenciados por vários factores, tais como o estágio sucessional e o grau de perturbação da floresta na época de colheita de dados, o clima, solo, topografia entre outros. Contudo esses factores são dependentes do local e a época em que os dados foram colhidos para a avaliação de carbono (Baraloto, Rabaud e Molto 2011). Pois segundo (Diniz *et al.*, 2015), as quantidades de carbono aumentam em função do avanço sucessional ou por outras palavras o tempo de sucessão pode influenciar na acumulação de biomassa, bem como nos estoques de serapilheira.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do estoque de carbono médio por níveis de cobertura para cada componente em estudo, a um nível de significância de 5% como constam no Anexo 8, mostraram que o valor de p foi maior que 0,05 para o solo e herbáceas na Coutada 9/13 e para todas as componentes na Floresta comunitária, indicando que não foi encontrada diferença de estoque de carbono entre os níveis de cobertura para essas componentes. Por outro lado, na Coutada 9/13 obteve-se um valor p menor que 0,05 para as arbóreas, raízes e serapilheira e o mesmo foi observado para a Concessão florestal, neste caso, para todas as componentes em estudo, indicando que, pelo menos um nível de cobertura, apresentou estoque de carbono médio diferente dos demais em estudo nestas componentes em específico, conferindo-as capacidades diferentes no que se refere ao armazenamento de carbono.

Com base no teste de *TukeyHSD* ao nível de significância de 5%, como ilustra a Figura 14, na Coutada 9/13 os estoque de carbono médio das arbóreas, entre os níveis de cobertura alto (53,64 ton/ha) e médio (38,24 ton/ha) e entre médio e baixo (26,70 ton/ha), não diferiram significativamente, mas ainda para esta componente a diferença foi significativa entre os níveis alto e baixo. A constatação para as arbóreas foi a mesma para as raízes, com o nível alto (3,33 ton/ha), médio (2,50 ton/ha) e baixo (1,81 ton/ha). Para o caso da serapilheira apresentou diferença significativa de estoque de carbono médio quando comparado o nível alto com 1,87 ton/ha em relação ao médio e baixo com 0,48 e 0,50 ton/ha respectivamente, e não foi estatisticamente significativa entre o nível médio e baixo para esta componente.

Ainda na Figura 14, na Concessão florestal, a componente arbórea, herbácea e serapilheira apresentaram a mesma tendência, em que o estoque de carbono médio não diferiu significativamente entre os níveis alto e médio e entre o médio e baixo. Contudo a diferença foi significativa entre os níveis alto e baixo. Para o caso da componente raíz, a diferença de estoque de carbono médio não foi significativa entre os níveis alto (3,16 ton/ha) e médio (2,17 ton/ha) mas foi significativa quando comparado o nível baixo (1,40 ton/ha) em relação ao alto ou ao médio. Para o solo, o estoque de carbono médio não diferiu significativamente se for comparado o nível baixo (46,81 ton/ha) em relação ao nível alto (61,93 ton/ha) ou ao nível médio (38,05 ton/ha), contudo foi significativa entre o nível alto e médio.

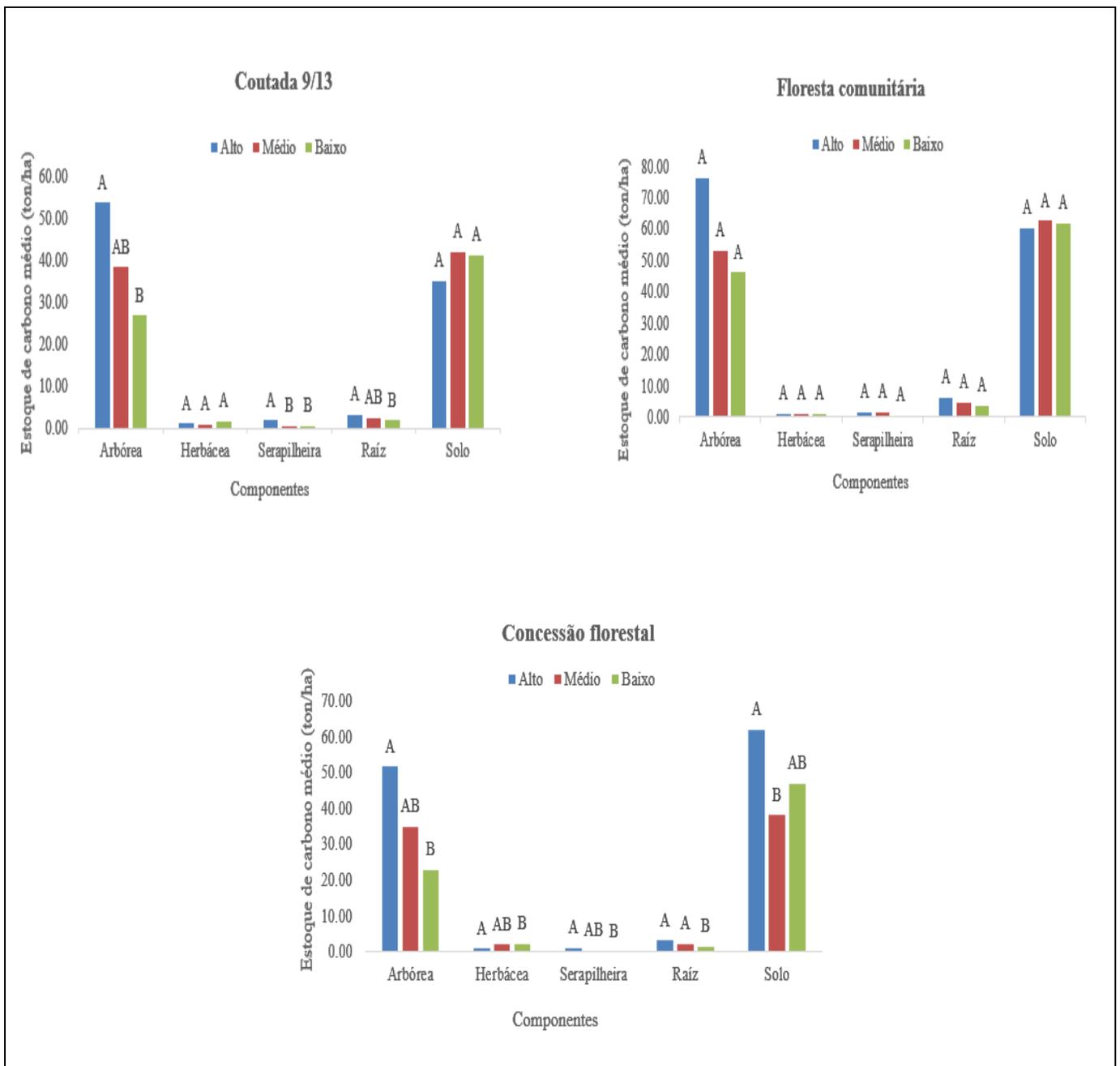


Figura 14: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Coutada 9/13, Floresta comunitária e Concessão florestal. Letra maiúscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.

Analisando as componentes em estudo sob ponto de vista de nível de cobertura, para a Coutada 9/13, constatou-se uma tendência proporcionalidade directa entre os valores de estoque de carbono médio por níveis de cobertura para as arbóreas, raízes e serapilheira, onde o maior estoque foi no nível alto e foi decrescendo até ao nível baixo. A tendência proporcionalidade directa também foi

observada na Floresta comunitária para as arbóreas e raízes, mas o mesmo já não foi possível constatar em relação às outras componentes, de modo particular o solo com maior média de estoque de carbono no nível médio de 62,57 ton/ha, apesar de este valor não diferir muito com o encontrado no nível alto e baixo de 60,49 e 61,81 ton/ha respectivamente, em termos de valor.

Para o caso da Concessão florestal, verificou-se uma tendência de proporcionalidade directa entre estoque de carbono médio e os níveis de cobertura para as componentes arbóreas, serapilheira e raízes, enquanto para as herbáceas a tendência foi de proporcionalidade inversa, sendo que o nível baixo foi o que registou maior estoque de carbono, podendo estar associado à maior clareira, contribuindo para a aparição desta componente. Já para o solo, o estoque de carbono médio foi maior no nível alto (61,93 ton/ha), seguido pelo nível baixo (46,81 ton/ha) e por fim o médio (38,05 ton/ha).

Para a componente solo a desproporcionalidade do estoque de carbono em relação aos níveis de cobertura observado na Coutada 9/13 e na Concessão florestal, pode estar relacionado a outros factores inerentes ao próprio solo como é o caso do grau de actividade microbiana, localização da parcela, tipo de manejo do solo a textura, que contribuem bastante para a decomposição da matéria orgânica do solo, a precipitação (Diniz *et al.*, 2015, Andriamananjara *et al.*, 2016 e Van der Sand *et al.*, 2018).

Em todos os casos do Miombo, para as arbóreas e raízes, observou-se uma tendência de proporcionalidade directa entre o estoque de carbono médio e os níveis de cobertura. Isto pode ser explicado pelo facto de no nível de cobertura alto ter sido encontrado maior número de árvores e com DAP maiores, constituindo fonte de biomassa elevada e com capacidade de armazenar mais carbono que o nível médio e baixo (Castro 2017). Contudo o estoque de carbono pode decrescer com o crescimento das plantas, pois no início as plantas investem mais na fotossíntese e ao longo dos anos começam a investir menos em folhas e mais em sustentação, tornando-se grandes absorventes as raízes e os troncos (Baesso, Ribeiro e Silva 2010). O estoque de carbono das raízes aumenta com a idade da planta até certo ponto e decresce com o aumento da necessidade de absorção da água, fazendo com que a planta invista mais em raízes profundas (Baesso, Ribeiro e Silva 2010).

Para o caso da Coutada 9/13 e Floresta comunitária, a componente solo não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os três níveis de cobertura, o que significa que os níveis de cobertura não influenciaram no estoque de carbono do solo. Aliado a esta constatação, poderão existir outros factores inerentes ao próprio solo, como por exemplo a textura, a topografia, a capacidade de decomposição da matéria orgânica, tipo de uso do solo. Além da textura, a condição de drenagem do solo têm efeito significativo sobre o teor do carbono orgânico no perfil do solo, sendo a interacção dessas duas propriedades significativa em todas as profundidades (MAE 2005 e Meersmans 2009). Segundo (Meersmans *et al.*, 2008 e Wang *et al.*, 2010), o fluxo e o balanço do carbono orgânico do solo dependem significativamente das condições climáticas, nomeadamente a temperatura e precipitação, sendo que o clima participa na produção de serapilheira e mineralização da matéria orgânica do solo, que é a fonte de nutrientes no solo.

Registou-se maior estoque de serapilheira no nível de cobertura alto, isto porque a quantidade de serapilheira, que constitui o estoque de carbono varia em função da vegetação (tipo de floresta, procedência, espécie, fisionomia, do estágio sucessional, idade), da época de colheita de dados, atributos edáficos, temperatura, precipitação, luminosidade, humidade, relevo, herbivoria, evapotranspiração (Caldeira, Marques e Soares 2007), qualidade nutricional do material que formou a serapilheira e acção de organismos e microorganismos do solo, pois na época seca há maior deposição de folhas e ramos secos e maior grau de decomposição da serapilheira com a humidade (Brun, Schumacher e Vaccaro 2001 e Correia 2008).

Para a Coutada 9/13 e Concessão florestal, a maior contribuição das herbáceas foi no nível baixo com 0,27 e 0,36 ton/ha respectivamente, facto que pode ser explicado pela baixa cobertura das copas das árvores. Para o caso concreto da Concessão florestal, na época de colheita de dados, muitas árvores se encontravam em estágio de regeneração o que de alguma forma poderá ter permitido a entrada de maiores clareiras e favorecido para o estabelecimento desta componente e se calhar de outras espécies pioneiras e invasivas de rápido crescimento. Este facto teve suporte em (Taiz 2008 e Saatchi *et al.*, 2013) ao referir que uma maior radiação luminosa (Intensidade e/ou exposição) é capaz de promover aumentos no incremento de biomassa.

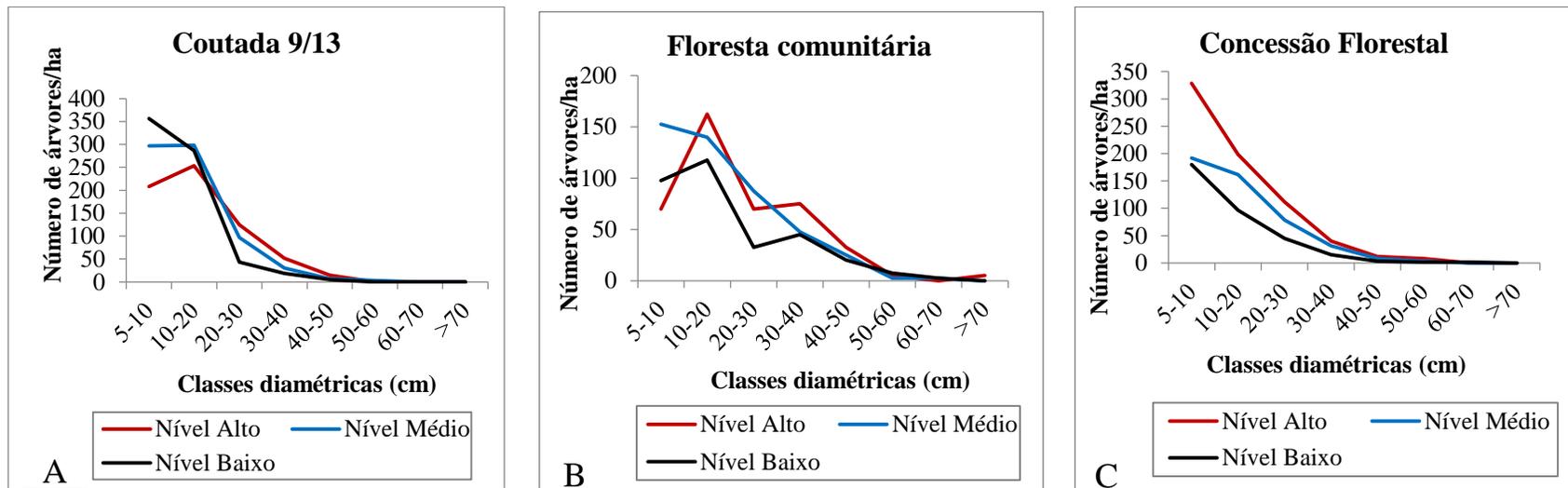


Figura 15: Distribuição diamétrica das árvores inventariadas por níveis de cobertura para os regimes de uso estudados no Miombo.

A distribuição diamétrica explica algumas constatações verificadas no miombo. Na Coutada 9/13, Figura 15A, nas classes diamétricas de 5-10 cm, foram encontradas mais árvores por hectare no nível de cobertura baixo, contudo não influenciou na proporcionalidade directa entre os níveis de cobertura e o estoque de carbono, o seu estoque continuou abaixo do nível alto e médio. Na Floresta comunitária, Figura 15B, o nível médio apresentou maior número de árvores por hectare na classe diamétrica de 5-10 cm e 20-30 cm, em relação ao nível alto e médio, contudo não influenciou no estoque de carbono para este nível ao ponto de estar acima do nível alto.

Para a concessão florestal na Figura 15C, foi possível constatar que distribuição da classe de diâmetro para os três níveis de cobertura apresentam-se graficamente em forma de j invertido, uma representação típica de florestas naturais e em processo regenerativo (Reis *et al.*, 2014), onde o maior número de indivíduos por hectare foi encontrado nas classes de menor diâmetro, que variavam de 5-10 cm, e que à medida que as classes diamétricas foram aumentando acima de 50 cm, o número de indivíduos por hectare foi diminuindo.

Do teste de independência efectuado para avaliar a distribuição diamétrica, constatou-se que com base no teste Chi-quadrado, ao nível de significância de 5%, existe uma relação entre a distribuição diamétrica e o número de indivíduos por hectare para os três níveis de cobertura em todos os regimes de uso estudados no miombo, pois apresentaram um valor ($p > 0,05$), assumindo que uma variação no diâmetro das árvores pode influenciar no número de indivíduos por hectare. O facto do gráfico de distribuição diamétrica apresentar-se em forma de J invertido, segundo (Magalhães 2016), esta é uma característica típica de florestas com idades irregulares.

4.1.2 Estoque de carbono por componente no Mopane

Em termos proporcionais, como ilustra a Figura 16, num total de 64,03 ton/ha de carbono encontrado na Coutada 7, a contribuição do solo foi de 47,34 ton/ha e 12,21 ton/ha das arbóreas, correspondendo a 74% e 19% respectivamente. As raízes tiveram 4,16 ton/ha (7%) e da mesma forma que foi observado no Miombo, neste ecossistema as herbáceas com 0,08 ton/ha e serapilheira com 0,24 ton/ha tiveram um contributo abaixo de 1% no mesmo total de estoque de carbono.

Os valores de estoque de carbono estimados para as componentes na Coutada 7 diferem dos encontrados no estudo feito por (Boma 2017), na floresta de Mopane em Manica, onde estimou um estoque de 46,9; 60,7; 17,7 ton/ha, para as arbóreas, solo e raízes respectivamente. O estoque do solo (47,34 ton/ha) foi diferente do encontrado por (Lisboa 2017), estimado em $18,97 \pm 2,22$ ton/ha, do estudo de (Mapaure e Ndeinona 2011) para a floresta de Mopane em Namíbia estimado em 48,36 ton/ha, sendo para este, estimativas de carbono que incluíram as áreas de conservação, considerando a biomassa acima do solo, reunindo todas as componentes (arbórea, serapilheira, capim e detritos lenhosos) foi estimada em 22,30 ton/ha por (Veurm *et al.*, 2011). Estas diferenças podem estar aliadas, por um lado ao tipo de conservação da floresta, por outro lado à taxa de

distúrbios humanos, pois estes contribuem bastante para a redução da biomassa e do estoque de carbono.

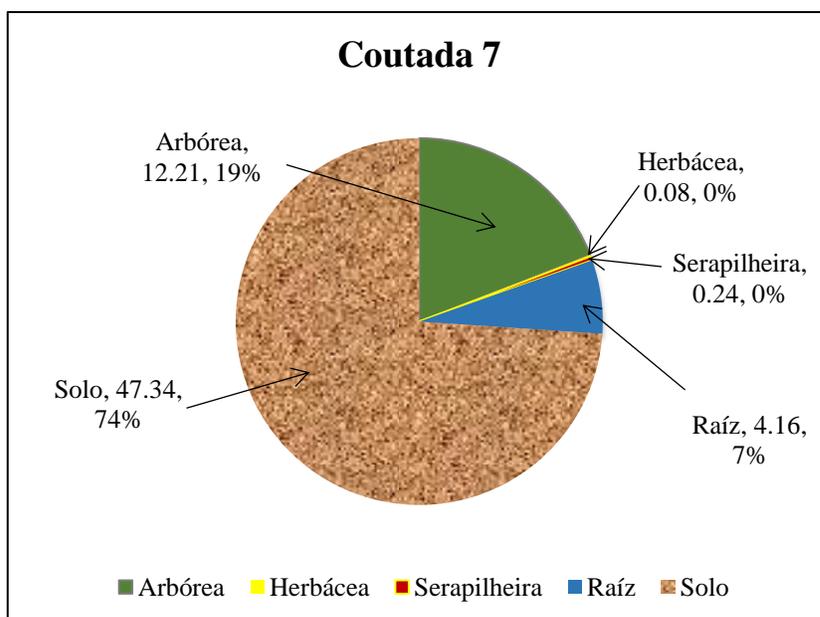


Figura 16: Proporção de estoque de carbono médio por componente na Coutada 7, província de Manica, centro de Moçambique.

Os resultados da análise da variância (ANOVA) do estoque de carbono médio por níveis de cobertura para cada componente estudada na Coutada 7 a um nível de significância de 5%, como pode ser observado no Anexo 8, mostram que o valor de p foi maior que o nível de significância (0,05) para as componentes arbórea, herbácea, serapilheira e solo, indicando que não foi encontrada diferença de estoque de carbono entre os níveis de cobertura para essas componentes. Por outro lado para as raízes obteve-se um valor de p menor que o nível de significância de 0,05, indicando para esta componente em específico, que pelo menos um nível de cobertura (entre alto, médio e baixo), apresentou estoque de carbono médio diferente dos demais.

O teste *TukeyHSD* ao nível de significância de 5%, cujos resultados podem ser vistos na Figura 17, indicam que na Coutada 7, não houve diferença estatisticamente significativa do estoque de carbono médio das raízes entre os níveis alto e médio com 6,36 e 3,83 ton/ha respectivamente e entre o nível médio e baixo com 2,28 ton/ha, contudo a diferença foi significativa quando comparado o nível alto com o baixo.

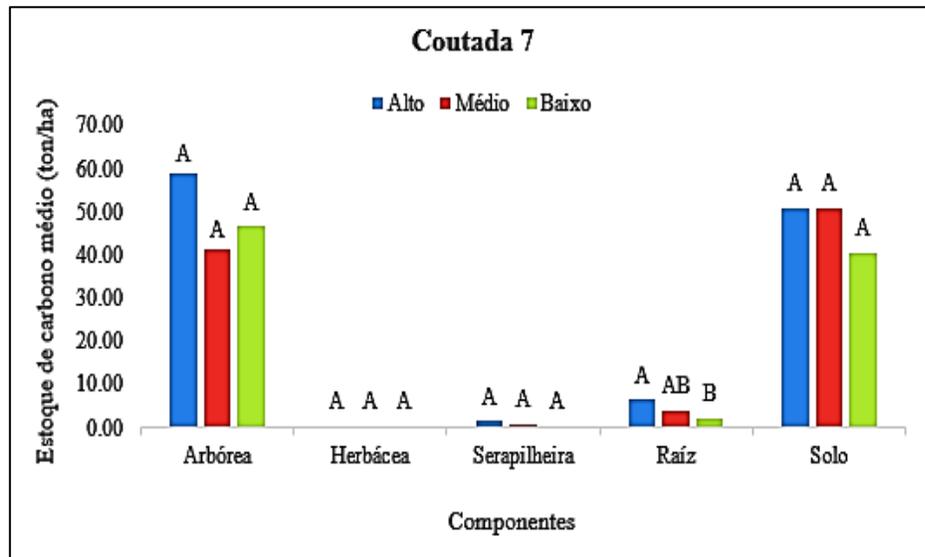


Figura 17: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Coutada 7. Letra maiúscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.

Analisando as cinco componentes para este regime de uso, sob ponto de vista de níveis de cobertura, foi possível observar que apenas as componentes raiz e serapilheira registaram nos seus gráficos uma tendência de proporcionalidade directa entre os valores de estoque de carbono médio e os níveis de cobertura, indicando que a mudança do nível de cobertura, pode ter afectado no estoque de carbono médio, o mesmo já não foi constatado para as arbóreas, herbáceas e solo. Para o caso das arbóreas, o facto de o nível médio apresentar menor estoque de carbono que o nível baixo, pode ser explicado pelo gráfico de distribuição diamétrica, Figura 18, que indica que no nível médio, os diâmetros variaram de 5-52 cm e o diâmetro médio foi de 12,84 cm, sendo que dos 303 indivíduos medidos neste nível, apenas 1 apresentou DAP > 50 cm. Enquanto para o nível baixo, os diâmetros variaram de 5-120 cm e o diâmetro médio foi de 14,49 cm, e dos 335 indivíduos medidos, 7 apresentaram DAP > 50 cm.

A maior contribuição do estoque de carbono no nível baixo foi devido aos indivíduos encontrados com DAP > 50 cm e chegou a ser maior (16,81 ton/ha) que a contribuição do estoque de carbono devido àqueles indivíduos em número de 328 encontrados nas classes de DAP < 50 cm com 4,09 ton/ha.

O estoque de carbono mediano para as arbóreas, apresentou mesma tendência verificada no estoque de carbono médio em que o nível baixo teve maior valor que o nível médio. Contudo, para esta componente, os três níveis de cobertura, apresentaram valores médios próximos da mediana.

Para o caso das herbáceas, o facto do estoque de carbono não ter sido afectado pelos níveis de cobertura, pode ser explicado pela ausência de árvores grandes, pois segundo (Saatchi *et al.*, 2013) é visível, ao ponto de afectar a estrutura da floresta e criar novas aberturas no dóssel, permitindo que mais luz penetre no interior da floresta. Com a perda da estrutura vertical, ocorre a proliferação de pequenas lianas e espécies de árvores pioneiras de rápido crescimento, fazendo com que este tipo de florestas perca a alta capacidade de armazenar carbono através das árvores grandes, passando a ser armazenada no sub-bosque (Berenguer *et al.*, 2014).

O facto da mudança no nível de cobertura não ter afectado o estoque de carbono do solo na Coutada 7, pode estar aliado a vários factores, desde ao tempo de exposição do solo após o último desmatamento e a textura. No estudo levado a cabo por (Willaarts *et al.*, 2015) na Espanha, sugeriram que a diferença do estoque de carbono do solo pode estar ligado a outros factores para além do clima, apesar de este ter um potencial para explicar a distribuição do carbono orgânico do solo. Para este caso concreto as propriedades do solo tem um efeito maior, pois o clima é o mesmo, em particular a textura.

Outros estudos reportam que o carbono orgânico do solo aumenta com a precipitação e diminui com a temperatura e expressa-se mais se a temperatura média anual aumentar sem que a precipitação tenha variado (Yimer, Ledin e Abdelkadir 2006). O efeito do clima sobre o carbono orgânico do solo depende da escala espacial (p.e. global, regional ou local). Deste modo alguns autores concluíram nos seus estudos que o clima geralmente afecta o carbono orgânico do solo a escala regional ou global (Wang *et al.*, 2010), enquanto a escala local a correlação verificada foi fraca e a mesma constatação foi feita por (Andriamananjara *et al.*, 2016) na floresta tropical húmida de Madagáscar.

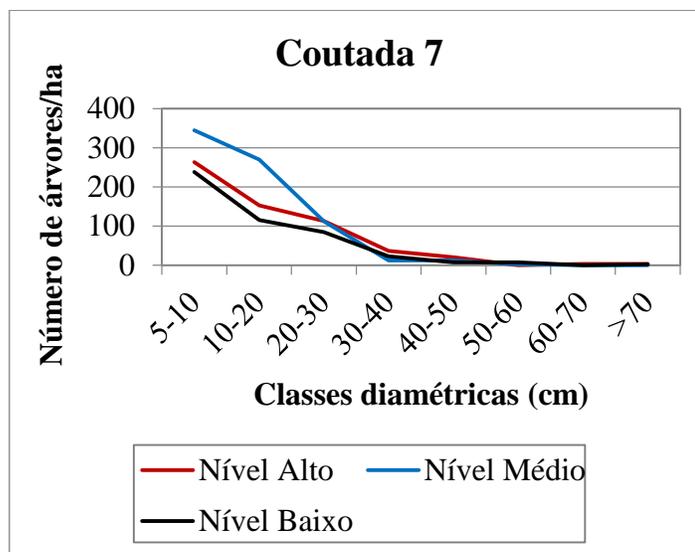


Figura 18: Distribuição diamétrica por níveis de cobertura no mopane.

A distribuição diamétrica na Figura 18, para a coutada 7, explica algumas constatações verificadas no mopane, em que os três níveis de cobertura apresentaram-se graficamente em forma de j invertido e com a mesma tendência, onde foram encontrados mais indivíduos por hectare na primeira classe diamétrica, com diâmetros que variaram de 5-10 cm, e que à medida que as classes diamétricas foram aumentando acima de 50 cm, o número de indivíduos por hectare foi diminuindo. De referir que esperava-se encontrar maior número de indivíduos característicos de Mopane “*Colophospermum mopane*”, mas devido à maior perturbação sofrida pela floresta, maior parte das espécies encontradas no mopane eram invasivas e com maior capacidade de adaptação ao local. Esta representação é característica de florestas naturais e com algumas espécies em regeneração (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002).

Ainda no que se refere à perturbação verificada na Coutada 7, caracterizada pela redução da espécie “*Colophospermum mopane*”, pode-se apoiar aos estudos feitos por (Van der Sand *et al.*, 2018), ao referirem que distúrbios da exploração descontrolada, resultam em heterogeneidade na estrutura da floresta e, portanto, na disponibilidade de luz e tem impactos na redução directa dos estoques de biomassa acima e abaixo do solo, mas o aumento nos níveis de luz que atingem os estratos mais baixos pode aumentar a produtividade do ecossistema. Além disso, (Araújo, Zinn e Lal 2017), referiram que a exploração também pode aumentar temporariamente a fertilidade do

solo devido ao aumento da deposição da serapilheira e aumentar a diversidade de espécies devido ao estabelecimento de espécies que exigem muita luz.

Do teste de independência feito para avaliar a distribuição diamétrica, constatou-se que com base no teste Chi-quadrado, ao nível de significância de 5%, existia uma relação entre a distribuição diamétrica e o número de indivíduos por hectares para os três níveis de cobertura no Mopane, pois apresentaram um valor $p > 0,05$, assumindo-se que uma variação no diâmetro das árvores pode influenciar no número de indivíduos por hectare.

4.1.3 Estoque de carbono por componente na FSVM

A Figura 19 ilustra que na Reserva florestal, dos 184,62 ton/ha de estoque de carbono médio, a vegetação arbórea foi a que mais contribuiu com 91,94 ton/ha correspondendo a 50% e a seguir o solo com 71,10 ton/ha o equivalente a 39%. As raízes contribuíram com 20,76 ton/ha (11%), as herbáceas e serapilheira tiveram valores de carbono muito baixos 0,05 ton/ha e 0,77 ton/ha respectivamente.

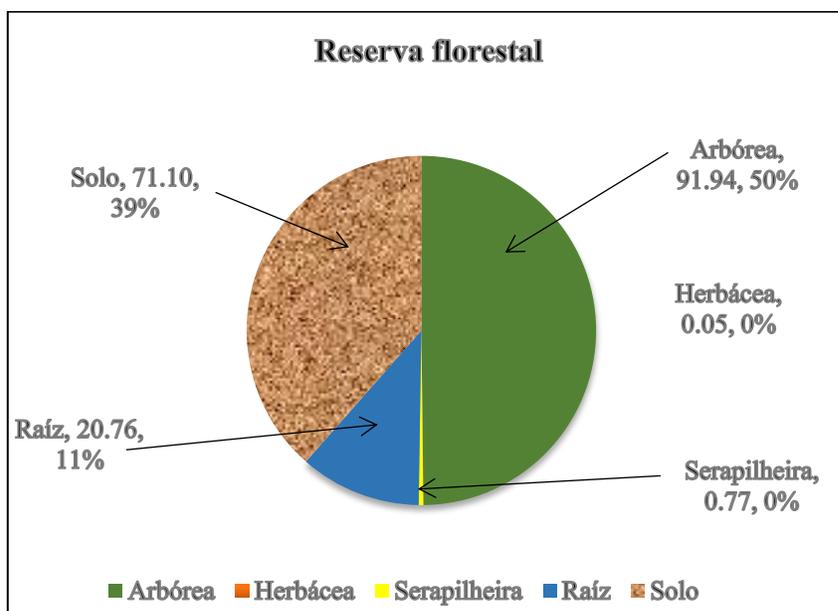


Figura 19: Proporção de estoque de carbono médio por componente na reserva florestal de Moribane, província de Manica, centro de Moçambique.

No presente estudo estimou-se para a Reserva florestal um estoque de carbono de 184,62 ton/ha, e este valor foi maior que 104,49 ton/ha obtido por (Lisboa 2014), num outro estudo realizado na mesma área. As diferenças encontradas, podem ser explicadas pelo tamanho e diâmetro das árvores encontradas nas parcelas do presente estudo que variou de (5-200 cm) enquanto no estudo realizado por Lisboa (2014), os diâmetros variaram de (5-57 cm) e também a composição da floresta na altura em que os dados foram colhidos pois este factor segundo (Chaves *et al.*, 2005), influencia no estoque de carbono.

Os valores do estoque de carbono obtidos no presente estudo para as arbóreas (91,94 ton/ha), estiveram abaixo dos valores obtidos por (Munish 2004), nas florestas de montanha na Tanzania que variaram de 388 a 517 ton/ha para a vegetação arbórea e 295 a 418 ton/ha para o solo. Por outro lado (Guedes *et al.*, 2016), nas unidades florestais de Penhalonga, Rotanda e Inhamacari em Manica, determinaram um estoque de carbono para a componente arbórea de 106 ton/ha e, 156 ton/ha nas plantações de *Pinus taeda* e *Eucalyptus cloeziana*. Na floresta semi-sempre verde de Cambodia (Chheng *et al.*, 2015) obteve estoque de carbono das arbóreas que variou de 95,8-102,2 ton/ha, foi diferente também do valor obtido por (Boma 2017) na província de Manica de 468,3 ton/ha para as arbóreas, 94,6 ton/ha para o solo e 51,02 ton/ha para as raízes.

As diferenças verificadas encontram explicação nos estudos feitos por (Alves *et al.*, 2010 e Urquiza-Haas, Peres antrópicas e Dolman 2007), em florestas tropicais, que sustentam que as variações nas estimativas de biomassa e por conseguinte no estoque do carbono podem estar aliadas à diferenças regionais em termos de fertilidade do solo, topografia e segundo (Nogueira *et al.*, 2008) depende também de alterações para além das características do povoamento florestal, como variações da altura do dóssel, densidade média da madeira e composição florística.

Na Reserva florestal as arbóreas contribuíram mais do que o solo, possivelmente pelo facto de se tratar de uma zona elevada e segundo (Manfrinato *et al.*, 2002), existe correlação positiva entre o teor de carbono do solo e a altitude. A correlação aponta a influência do regime hidrológico sobre a dinâmica do carbono e sua migração para áreas em terrenos mais abaixo. Foi relatado por (Hansson *et al.*, 2013) que o aumento do estoque de carbono arbóreo, geralmente está relacionado com o aumento do carbono do solo. Contudo na presente pesquisa não foi verificada essa tendência na Reserva florestal, pois apesar das arbóreas terem registado maior estoque (91,94 ton/ha)

comparativamente aos outros regimes de uso não apresentaram maior estoque para o solo. Esta constatação pode ter sido devido ao baixo teor de matéria orgânica do solo na Reserva florestal pois este varia de baixo (0,9%) a alto (10%) (Guedes, 2004).

O estoque de carbono elevado das arbóreas comparativamente ao solo também teve suporte no estudo realizado por (Borah *et al.*, 2015) na Índia, numa floresta tropical húmida, numa Reserva florestal, mostraram que o estoque de carbono médio do solo na camada superior foi de 57,74-78,44 ton/ha e foi inferior à biomassa acima do solo (135,30-146,42 ton/ha) onde a floresta era madura e com diversidade de espécies.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) do estoque de carbono médio por níveis de cobertura para cada componente em estudo na Reserva florestal, a um nível de significância de 5%, como pode ser observado no Anexo 8, mostram que o valor de *p* foi maior que o nível de significância de (0,05), para todas as componentes, indicando que o estoque de carbono médio de nenhuma das componente neste regime de uso, foi afectado pelo nível de cobertura, como consta na Figura 20.

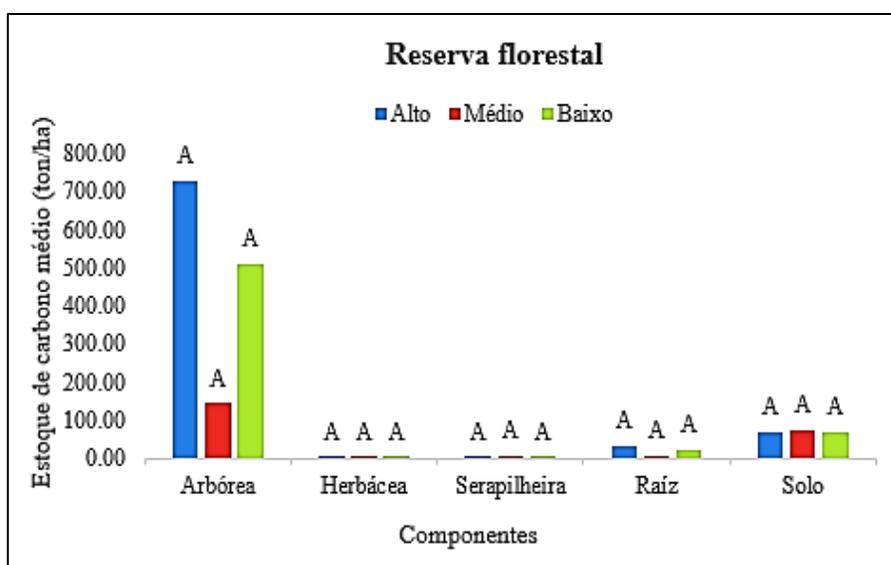


Figura 20: Estoque de carbono médio por nível de cobertura na Reserva florestal. Letra maiúscula diferente indica diferença significativa de estoque de carbono médio entre os diferentes níveis de cobertura para cada componente.

Sob ponto de vista de níveis de cobertura, na Reserva florestal, as arbóreas e raízes tiveram a mesma tendência, em que o maior estoque de carbono médio foi encontrado no nível alto de 726,13 ton/ha e 31,54 ton/ha respectivamente, e o menor valor no nível médio em relação ao baixo. A quantidade de carbono reduzida no nível médio em relação ao nível baixo para as arbóreas, pode ser explicado com base no gráfico de distribuição diamétrica, Figura 21, onde foi possível constatar que os três níveis se apresentaram graficamente em forma de j invertido. No nível médio os diâmetros variaram de 5-100 cm e o diâmetro médio foi cerca de 14,25 cm e dos 544 indivíduos medidos neste nível de cobertura, apenas 4 apresentaram DAP > 70cm. Já no nível baixo os diâmetros variaram de 5-200 cm e o diâmetro médio foi de 13,79, sendo que dos 505 indivíduos encontrados apenas 8 apresentaram DAP > 70 cm.

Desta forma, foi encontrado maior número de indivíduos por hectare no nível baixo em relação ao nível médio, nas classes de DAP > 70 cm, onde a contribuição do nível baixo na referida classe em termos de estoque de carbono chegou a ser maior com 248,99 ton/ha em relação à contribuição dos 497 indivíduos com DAP < 70 cm, com 12,08 ton/ha.

O estoque de carbono arbóreo tendo em conta os valores das medianas é directamente proporcional aos níveis de cobertura, e para o caso do nível médio, o valor da mediana (173,79 ton/ha) não está distante da média (144,46 ton/ha), se for comparado com o nível alto e baixo. Para os níveis alto e baixo existe grande dispersão dos valores de estoque de carbono médio em relação à mediana, o que significa, que a média para estes dois níveis de cobertura foi influenciada pelos valores extremos (máximos). Segundo (Liu, Zhang e Fengri 2014), o estoque de carbono não só depende do número de árvores, até certo ponto têm uma relação com o diâmetro e a densidade da madeira.

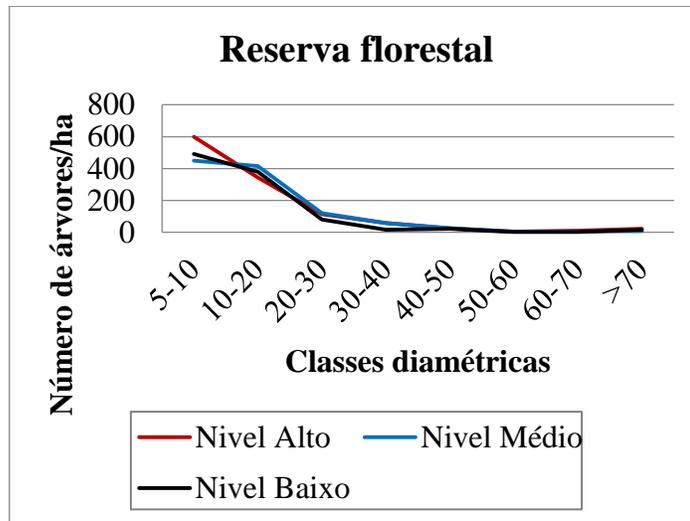


Figura 21: Distribuição diamétrica por níveis de cobertura na Reserva florestal

Feito o teste de independência para a avaliar a distribuição diamétrica, constatou-se que com base no teste Chi-quadrado, ao nível de significância de 5%, existia uma relação entre a distribuição diamétrica e o número de indivíduos por hectare para os três níveis de cobertura na FSVM, pois apresentaram um valor ($p > 0,05$), assumindo que uma variação no diâmetro das árvores pode influenciar no número de indivíduos por hectare.

A Figura 20 mostra que para a componente solo na Reserva florestal, o maior valor do estoque de carbono de 74,16 ton/ha, foi registado no nível médio, sendo que o nível alto e baixo tiveram 68,48 e 70,64 ton/ha respectivamente. Esta variação segundo (Berenguer *et al.*, 2014), pode estar associada à localização da parcela em termos de inclinação, textura do solo, actividade microbiana, entre outros. E segundo (Manfrinato *et al.*, 2002), a altitude, déficit hídrico e teores de argila e alumínio são características responsáveis pelas maiores variações dos estoques de carbono até 1m.

Contrariamente às outras duas tipologias vegetais estudadas, nomeadamente Miombo e Mopane, na FSVM foi encontrado um pouco mais de serapilheira, o que fez com que esta componente contribuísse com 0,77 ton/ha de carbono. Mais serapilheira na FSVM porque a cobertura da zona era maior devido à presença de árvores com diâmetros maiores e com copas alargadas, proporcionando maior humidade naquele local e que por sua vez poderá ter elevado a taxa de decomposição da serapilheira, e segundo (Liu, Zhang e Fengri 2014), a baixa declividade do terreno pode levar à baixa velocidade de escoamento superficial. Portanto, nos ecossistemas

florestais a relação directa entre o tamanho da floresta e a matéria orgânica é esperada, uma vez que, quanto maior for a ocupação do ambiente florestal, maior também é a deposição de serapilheira que irá compôr a matéria orgânica (Rodrigues, 2012 e Liu *et al.*, 2014).

Em todos os ecossistemas florestais estudados excepto na FSVM o maior estoque de carbono foi registado no solo e isto tem suporte nos estudos feitos por (Ribeiro *et al.*, 2013; Siteo e Guedes 2013; Tomo 2012 e Williams *et al.*, 2008) em que revelaram que o solo era a componente do ecossistema com maior capacidade de armazenar carbono. Suportam também outros estudos feitos por (Andriamananjara *et al.*, 2016), onde foi estimado um estoque de carbono acima do solo e do solo em média de 166 ± 57 ton/ha, dos quais 82% foram armazenados a profundidade de 0-100 cm (55% no solo e 27% em solo profundo), também mostrando a importância dos reservatórios de solo no sequestro de carbono.

A maior quantidade de carbono do solo em relação as outras componentes pode ter sido influenciada pela localização em termos de relevo e características da vegetação, pois em zonas planas ocorre maior deposição de matéria orgânica no solo durante o período chuvoso enquanto em zonas com declividade como na reserva florestal, a matéria orgânica pode ser escoada para as superfícies planas (Resck *et al.*, 2008) ou outros factores como a topografia, propriedades do solo, vegetação e uso da terra (Munoz-Rojas *et al.*, 2012). O clima combinado com as propriedades do solo pode explicar as variações do carbono orgânico do solo entre as regiões de estudo. Alto carbono orgânico do solo pode estar relacionado à menor precipitação, alto teor de argila e alto desenvolvimento radicular (Andriamananjara *et al.*, 2016).

Do teste de independência Chi-quadrado, ao nível de significância de 5%, efectuado para avaliar a relação entre as componentes em estudo, de acordo com a Tabela 6, constatou-se que existe uma relação dos valores de estoque de carbono entre as componentes arbórea e solo bem como entre as componentes solo e raíz, pois apresentaram um valor ($p < 0,05$), dando a entender que uma variação no estoque de carbono arbóreo implica uma variação no estoque de carbono do solo, ou vice-versa, de igual modo para o solo e as raízes. A fertilidade do solo influencia positivamente na produtividade da biomassa, pois o solo contém uma grande parte da biodiversidade terrestre e é a base de sustentação das espécies vegetais e florestais, especialmente em florestas que crescem em solos muito pobres (Bauhus *et al.*, 2002 e Van der Sand *et al.*, 2018).

A relação encontrada entre o estoque de carbono do solo e raízes era de esperar pois as raízes desempenham um papel fundamental na deposição de nutrientes no solo, elas é que determinam a distribuição e absorção de nutrientes e por sua vez a humidade e a distribuição radicular depende da variabilidade textural e mineralógica (Wu, Sharpe e Penridge 1985). O carbono do solo é importante, pois melhora a estrutura física do solo pela melhor agregação, maior porosidade, melhor infiltração e armazenamento de água. Nestas condições, as plantas produzem sistemas radiculares abundantes, com raízes profundas, podendo buscar nutrientes e água nas camadas mais profundas do solo (Meersmans 2009).

A variabilidade espacial do carbono orgânico do solo, aumenta com o aumento da profundidade (Heinze *et al.*, 2018). As restrições do solo como a profundidade de enraizamento, capacidade de armazenamento de água e saturação do alumínio (Al) no complexo de troca iónica, tem uma relação com a biomassa acima do solo, afectando o tamanho do caule e a densidade da árvore (Segueda *et al.*, 2018).

Tabela 6: Teste de independência entre as componentes no miombo.

Componente	Chi-quadrado	Valor-p
Arbórea vs Herbácea	NA	NA
Arbórea vs Serapilheira	6,5917	0,1591
Arbórea vs Solo	64,879	2,729e-13*
Arbórea vs Raíz	1,3672	0,8499
Herbácea vs Serapilheira	NA	NA
Herbácea vs Solo	NA	NA
Herbácea vs Raíz	NA	NA
Serapilheira vs Solo	3,3923	0,4944
Serapilheira vs Raíz	4,8081	0,3076
Solo vs Raíz	14,409	0,006098*

Onde: NA- Relação não avaliada (Condições do teste não satisfeitas “ mais de 20% das observações são inferiores a 5” e (*)- Efeito significativo ou seja existência de uma relação.

A biomassa viva apresenta grande variabilidade na capacidade de armazenar carbono, dependendo de vários factores aos quais a planta é susceptível, tais como as condições ecológicas da região, para além dos factores inerentes à própria planta (idade, estrutura fisionómica, distribuição e acumulação de hidratos de carbono), tipo de espécies florestal, histórico de manejo florestal e do tempo de permanência dos resíduos ou produtos resultantes da floresta (Afonso e Magalhães 2005 e Lipinski *et al.*, 2017). Alguns estudos em florestas tropicais na Amazônia central observaram

uma correlação entre a biomassa e os gradientes de textura, de fertilidade do solo e a topografia do terreno (Castilho *et al.*, 2006).

4.2 Estimativa de estoque de carbono nos diferentes regimes de uso e cobertura florestal

4.2.1 Miombo

A Floresta comunitária foi a que apresentou maior valor de estoque de carbono médio de cerca de 127,20 ton/ha quando comparada à Concessão florestal e Coutada 9/13, com 89,77 ton/ha e 83,58 ton/ha respectivamente.

Os valores de estoque de carbono médio obtidos nos regimes de Miombo, mostraram-se similares aos resultados obtidos por (João 2016), de 132 ton/ha no Miombo considerando apenas o solo e as arbóreas. Do mesmo modo ainda neste ecossistema, (Guedes *et al.*, 2016) estimou um estoque de carbono de 111 ton/ha. Outros estudos por exemplo, de (Mavie 2012) obteve 137 ton/ha,; (Boma 2017) foi de 160 ton/ha e (Ribeiro *et al.*, 2013). Contudo diferiram do valor obtido por (Tomo 2012), onde foi estimado um estoque de 391 ton/ha. Esta constatação segundo (Shirima *et al.*, 2011), pode ser explicada pelas variações nas condições de crescimento das florestas, composição de espécies, metodologia de colheita de dados, assim como pelas diferenças microclimáticas entre as diferentes áreas onde ocorrem as florestas.

As diferenças verificadas quando comparada a Floresta comunitária aos outros regimes de uso estudados no Miombo podem estar aliadas a outros factores, que tem a ver com o próprio regime de uso, no que se refere à diferenças regionais em termos de fertilidade do solo, topografia, diferentes graus de exposição à degradação humana (Alves *et al.*, 2010), assim como, à diferença de idade das espécies de árvores, às variações das alturas, de DAP, do número de indivíduos por hectare e o tipo de floresta de Miombo envolvido em termos de composição florística (Chaves *et al.*, 2005 e Munishi *et al.*, 2010). Conforme as variações topográficas e fisiográficas, a estrutura e composição do Miombo é modificada pelo clima, solo e altitude, distinguindo-se de uma região para a outra (Ribeiro, Siteo e Guedes 2002).

A Tabela 7, com os resultados da análise da variância (ANOVA), do estoque de carbono médio, mostra que tanto para a Coutada 9/13 assim como para a Concessão florestal, a um nível significância de 5%, os respectivos valores de *p*, foram menor que 0,05, indicando que pelo menos

um nível de cobertura (entre alto, médio e baixo), para cada um destes regimes de uso, apresenta um estoque de carbono médio diferente dos demais ou que pelo menos a mudança de um nível de cobertura florestal para o outro, influencia no estoque de carbono médio. Já para a Floresta comunitária, os resultados da análise da variância, do estoque de carbono médio, também a um nível significância de 5% mostraram que o valor de p , foi maior que 0,05, assumindo-se que neste regime de uso o estoque de carbono médio não foi afetado pela mudança do nível de cobertura.

Tabela 7: Análise de variância do carbono total para Coutada 9/13, Floresta comunitária e Concessão florestal.

Coutada 9/13					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor p
Níveis de cobertura	2	1608.4	804.2	7.593	0.00987
Repetição das parcelas	5	653.8	130.8	1.235	0.36198
Erro	10	1059.1	105.9		
Total	17	3321.3			
Floresta Comunitária					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor p
Níveis de cobertura	2	2128.7	1064.4	2.478	0.164
Repetição das parcelas	3	610.4	203.5	0.474	0.712
Erro	6	2577.6	429.6		
Total	11	5316.7			
Concessão florestal					
Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor p
Níveis de cobertura	2	7550	3775	16.72	0.000646
Repetição das parcelas	5	2834	567	2.51	0.101026
Erro	10	2258	226		
Total	17	12642			

Onde: **GL**- Graus de liberdade, **SQ**- Soma dos quadrados, **QM**- Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%

Os resultados do teste *TukeyHSD*, a um nível de significância de 5%, como constam na Figura 22, mostram que na Coutada 9/13 a diferença de estoque de carbono médio verificada entre os níveis alto e médio e entre médio e baixo, não foram estatisticamente significativas. Contudo observou-se uma diferença significativa quando comparado o nível alto com o baixo. Ainda foi possível constatar que na Concessão florestal registou-se diferença estatisticamente significativa quando

comparado o estoque de carbono médio do nível alto com o estoque dos restantes níveis e não foi significativa entre os níveis médio e baixo.

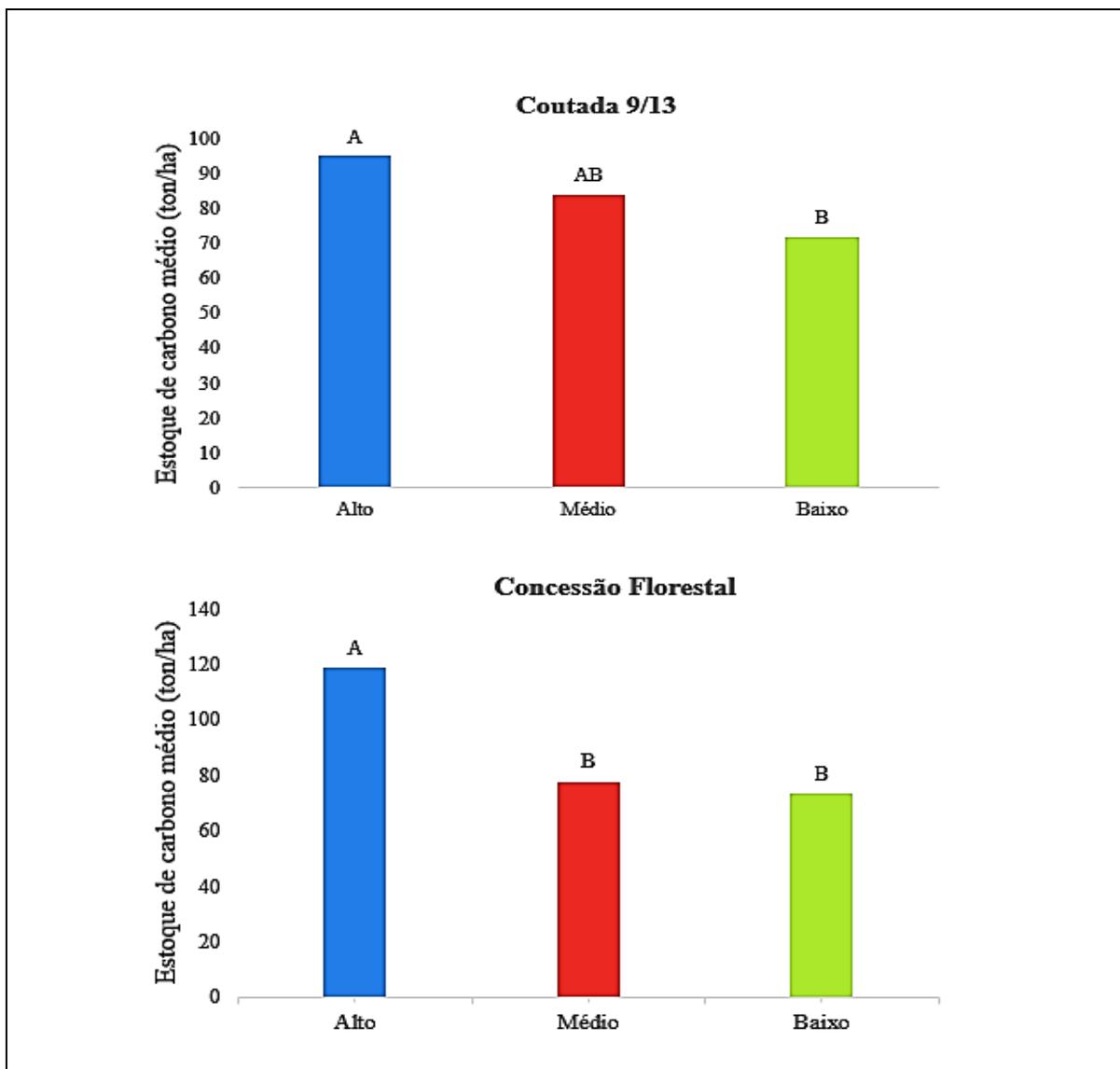


Figura 22: Comparação do estoque de carbono entre os diferentes níveis de cobertura para a Coutada 9/13 e a Concessão Florestal. Mesma letra significa uma diferença não significativa de estoque de carbono.

Os resultados da análise da variância (ANOVA), do estoque de carbono médio para o Miombo a um nível significância de 5%, como constam no Anexo 8, mostram que o valor de p , foi menor que 0,05, indicando que pelo menos um regime de uso estudado neste tipo de vegetação, apresenta estoque de carbono médio diferente dos demais.

Os resultados do teste *TukeyHSD* a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), podem ser observados na Figura 23, ilustrando que no Miombo as diferenças de estoque de carbono médio verificadas entre a Coutada 9/13 e Concessão florestal não foram estatisticamente significativas, contudo foram significativas quando a Floresta comunitária foi comparada à Coutada 9/13 e à Concessão florestal.

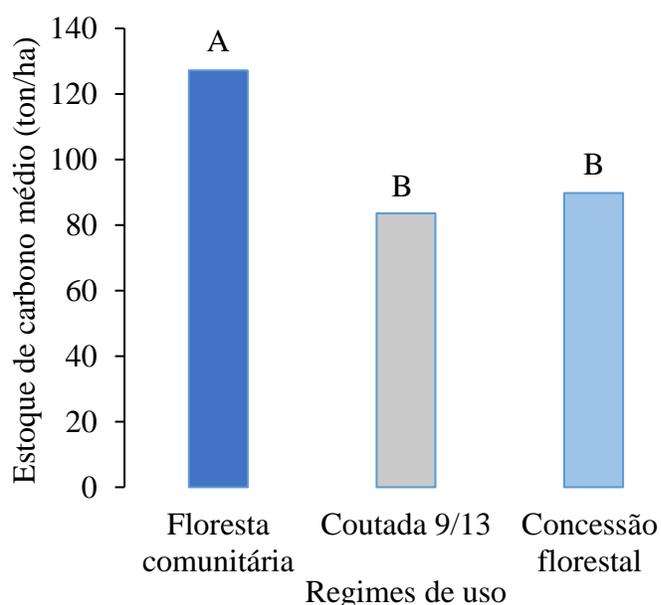


Figura 23: Comparação do estoque de carbono médio entre os diferentes regimes de uso no Miombo. Mesma letra significa uma diferença não significativa de estoque de carbono.

A Tabela 8 mostra o estoque de carbono médio para os regimes de uso estudados no Miombo e o seu respectivo erro padrão, tendo em conta os níveis de cobertura. Observou-se uma tendência de proporcionalidade directa entre o valor de estoque de carbono e o nível de cobertura, sendo que o maior valor de estoque de carbono médio foi encontrado no nível de cobertura alto, 145,13 ton/ha, 118,63 ton/ha e 94,93 ton/ha, respectivamente para a Floresta comunitária, Concessão florestal e

Coutada 9/13. Houve maior dispersão dos valores de estoque de carbono médio para a Floresta comunitária no nível médio com um erro de $\pm 13,16$, para a Concessão florestal com $\pm 10,45$ no nível baixo e para a Coutada 9/13 foi de $\pm 4,71$ no nível médio.

Tabela 8: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) no Miombo por nível de cobertura.

Nível Cobertura	Miombo		
	F. Comunitária	Concessão Florestal	Coutada 9/13
Alto	145,13 \pm 8,89 ^a <i>n</i> = 4	118,63 \pm 4,13 ^a <i>n</i> = 6	94,93 \pm 4,61 ^a <i>n</i> = 6
Médio	123,24 \pm 13,16 ^a <i>n</i> = 4	77,46 \pm 6,59 ^b <i>n</i> = 6	84,01 \pm 4,71 ^{ab} <i>n</i> = 6
Baixo	113,23 \pm 7,53 ^a <i>n</i> = 4	73,21 \pm 10,45 ^b <i>n</i> = 6	71,79 \pm 3,68 ^b <i>n</i> = 6

As médias com a mesma letra significa que não são estatisticamente diferentes a 5% de nível de significância.

Nos gráficos box-plot na Figura 24, pode-se constatar para a Coutada 9/13 que em todos os níveis de cobertura, a média esteve abaixo da mediana, o que quer dizer que esta foi influenciada pelos valores extremos (mínimos) e ainda foi encontrado um “outlier” no nível médio, justificando de algum modo o tamanho do erro de $\pm 4,71$. Para a Floresta comunitária, no nível alto e baixo a média esteve próximo da mediana, mas no nível médio a dispersão foi maior, com o erro de $\pm 13,6$. Para a Concessão florestal foi observado uma maior dispersão dos valores em relação da média e teve um “outlier” no nível baixo, com o erro de $\pm 10,45$. Os boxplot da Figura 24, indicam que para o caso do Miombo usando a mediana ou a média como medida de tendência central, as contatações são as mesmas pois estas duas medidas para este caso concreto apresentaram a mesma tendência quanto à robustez.

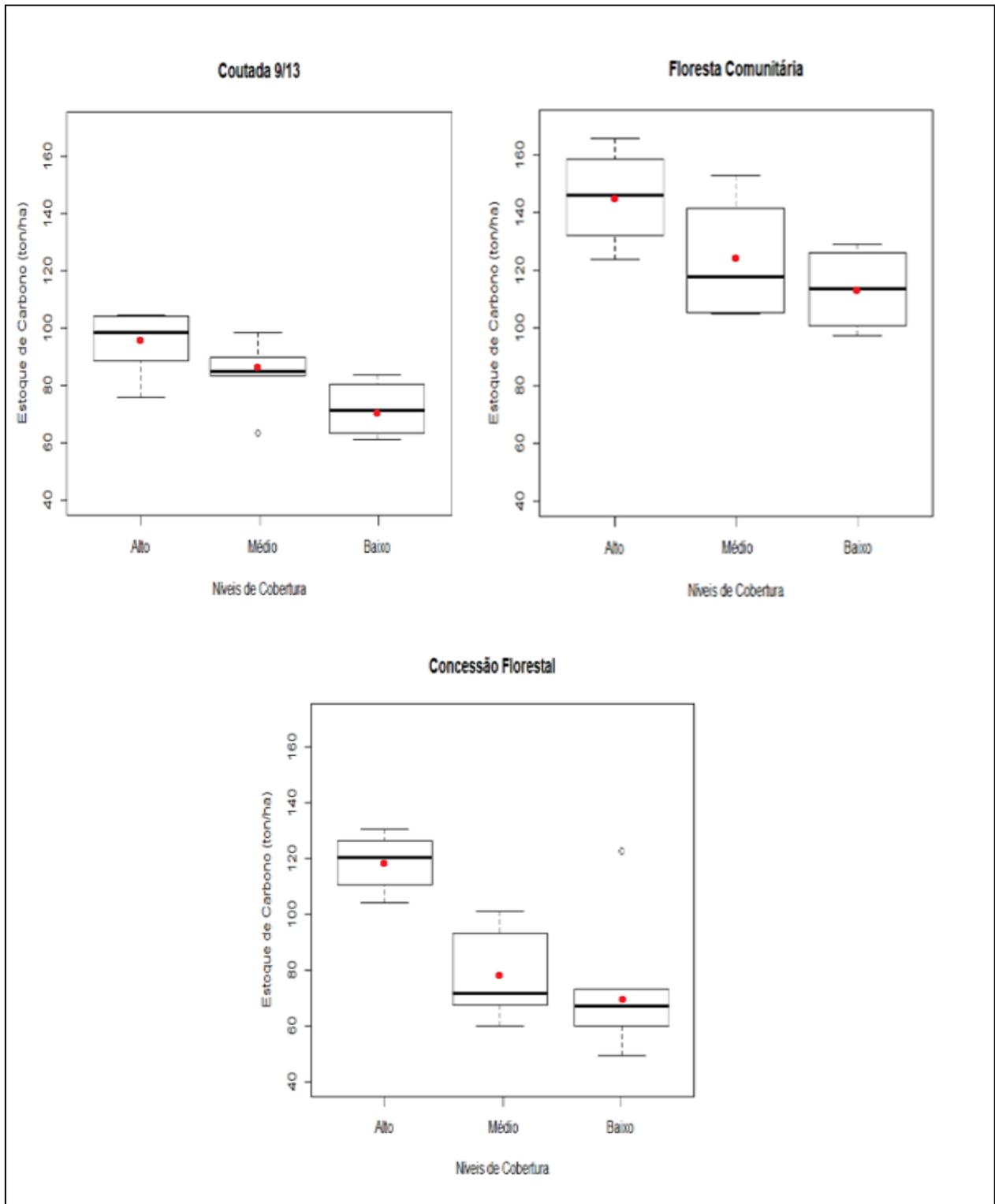


Figura 24: Boxplot de carbono total por nível de cobertura e por regime de uso no ecossistema de Miombo.

4.2.2 Mopane

A Coutada 7, no Mopane teve maior valor de estoque de carbono médio no nível de cobertura alto de 117,91 ton/ha e foi decrescendo com os níveis de cobertura com 96,96 ton/ha e 89,97 ton/ha respectivamente para os níveis médio e baixo. Foi encontrada uma relação de proporcionalidade directa entre o estoque de carbono e os níveis de cobertura neste regime de uso.

Os resultados obtidos para a Coutada 7 no Mopane estão próximos dos valores obtidos por (Boma 2017) no mesmo ecossistema de 125,3 ton/ha. Um dos problemas constatados é que existem mais estudos sobre Miombo em relação ao Mopane, o que leva à limitação na discussão dos valores obtidos na Coutada 7.

Os resultados da ANOVA na Tabela 9, para Coutada 7 mostram que o valor de p foi maior que 0,05, assumindo que os níveis de cobertura neste regime de uso não influenciaram no estoque de carbono médio, isto é, as diferenças do estoque de carbono podem ter sido influenciadas por outros factores.

Tabela 9: Análise de variância de carbono total na Coutada 7.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor p
Níveis de cobertura	2	1646	822.8	2.269	0.1990
Repetição das parcelas	6	7971	1328.5	3.663	0.0878
Erro	5	1813	362.7		
Total	13	11430			

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

Para mopane, como ilustra a Tabela 10, em relação aos três níveis de cobertura, maior variação foi observada no nível baixo com um erro de $\pm 20,0$. Esta constatação encontrou suporte no estudo feito por (Mutakela 2009), onde concluiu que estudos de estoque de carbono nas florestas de mopane são escassos, contudo a biomassa no mopane maduro varia muito, devido a sua ocorrência em diferentes condições edáficas e de clima. Do modo que, nas áreas com maior precipitação, as árvores apresentam tamanhos grandes e como resultado tendem a apresentar maior biomassa.

Tabela 10: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) no Mopane por nível de cobertura.

Nível Cobertura	Mopane
	Coutada 7
Alto	117,91 \pm 8,75 ^a <i>n</i> = 3
Médio	96,96 \pm 15,34 ^a <i>n</i> = 4
Baixo	89,97 \pm 20,0 ^a <i>n</i> = 7

As médias com a mesma letra significa que não são estatisticamente diferentes a 5% de nível de significância.

Neste regime de uso existe uma relação positiva entre o estoque de carbono e os níveis de cobertura, pois foi registado maior estoque de carbono onde a cobertura foi maior, e esta relação tem suporte nos factores mencionados por (Chaves *et al.*, 2005), tais como a idade sucessional, as variações das alturas, de DAP e do número de indivíduos por hectare e (Alves *et al.*, 2010) como a diferença regional em termos de fertilidade do solo, topografia e alterações antrópicas que podem afectar no estoque de carbono.

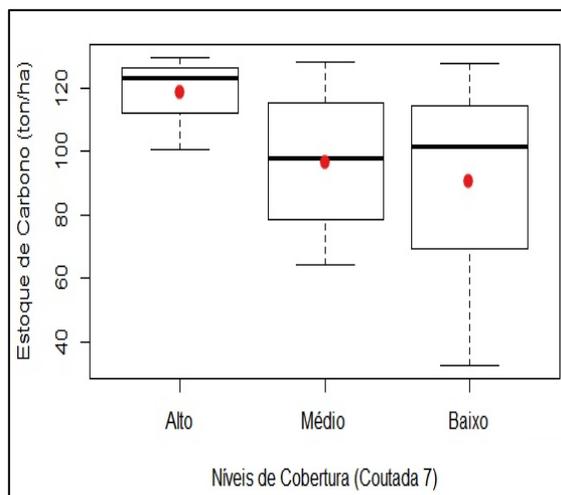


Figura 25: Boxplot de carbono total por nível de cobertura no Mopane.

Os gráficos box-plot na Figura 25, mostram que no nível médio a mediana esteve próximo da média, o que significa que a dispersão dos valores do estoque de carbono médio em relação à média

foi menor. O mesmo não se verificou para os níveis alto e baixo onde houve maior dispersão dos valores de estoque de carbono. A maior dispersão no nível alto e baixo pode ser explicada pelo tamanho das árvores encontradas nestes dois níveis, que chegaram a atingiram DAP de 80 e 120 cm respectivamente, que de alguma forma poderá ter influenciado no estoque de carbono total para este ecossistema florestal.

4.2.3 FSVM

A Reserva florestal na FSVM, teve maior valor de estoque de carbono médio em termos de valor absoluto no nível de cobertura alto de 829,04 ton/ha, seguido pelo nível baixo com 726,61 ton/ha e por fim pelo nível médio com 233,25 ton/ha. O que aconteceu foi que no nível baixo foram encontradas mais árvores que no nível médio, na classe diamétrica acima de 70 cm, o que de alguma forma contribuiu para maior biomassa e estoque de carbono neste nível.

Os valores encontrados para a Reserva florestal, foram os mais elevados em relação aos encontrados nos outros regimes de uso estudados, mas diferem dos valores reportados por outros autores como o caso de (Liu, Zhang e Fengri 2014) que estimaram um estoque de carbono total em de 3395,37 ton/ha para biomassa acima do solo e 909,69 ton/ha para biomassa abaixo do solo e com uma parcela dominante em termos de carbono com 363,90 ton/ha acima do solo e 85,52 ton/ha abaixo do solo. Um outro estudo efectuado por (Munish e Shear 2004) em Tanzania onde o estoque de carbono das arbóreas em Usambaras foi de 517 ton/ha e em Ulugurus de 388 ton/ha. Outro estudo desenvolvido por (Munishi *et al.*, 2010), foi encontrado um estoque de carbono nas florestas afromontanas na Tanzania que variavam de 252 a 581 ton/ha.

Os valores altos obtidos na Reserva florestal em relação aos outros regimes de uso eram de esperar, pois em todos os níveis de cobertura foi registada uma frequência de árvores com DAP > 70 cm, onde foram encontradas árvores com DAP de 200 cm, no nível alto e baixo e 150 cm no nível médio, e isto pode estar relacionado às condições ecológicas da região, o tipo e idade das espécies florestais (Afonso e Magalhães 2005).

Os resultados da análise de variância para este tipo florestal como constam na Tabela 11, mostram que o valor de p , foi maior que 0,05, podendo significar que para este regime de uso, os níveis de cobertura não afectaram no estoque de carbono médio.

Tabela 11: Análise de variância de carbono total na Reserva florestal.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	0.05586	0.02793	1.341	0.315
Repetição das parcelas	4	0.11609	0.02902	1.393	0.319
Erro	8	0.16666	0.02083		
Total	14	0.33861			

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

Tabela 12: Carbono médio (ton/ha \pm erro padrão) na FSVM por nível de cobertura.

Nível Cobertura	FSV_Montanha
	Reserva Florestal
Alto	829,04 \pm 355,58 ^a <i>n</i> = 5
Médio	233,25 \pm 34,26 ^a <i>n</i> = 5
Baixo	726,61 \pm 282,84 ^a <i>n</i> = 5

As médias com a mesma letra significa que não são estatisticamente diferentes a 5% de nível de significância.

Os boxplots na Figura 26 mostram que para os três níveis de cobertura na FSVM a distribuição estoque de carbono total foi assimétrica. Nos níveis alto e baixo a mediana está abaixo da média, o que significa que a média pode ter sido influenciada por alguns valores de estoque de carbono total elevados, e a Tabela 12, mostra que na Reserva florestal o erro padrão para o nível alto e baixo foi elevado, tendo sido de \pm 355,58 e \pm 282,84 respectivamente. Já para o nível médio a mediana e a média estiveram muito próximos e com valores baixos, sendo que para este caso a média pode ser usada para explicar as variações ocorridas neste nível de cobertura.

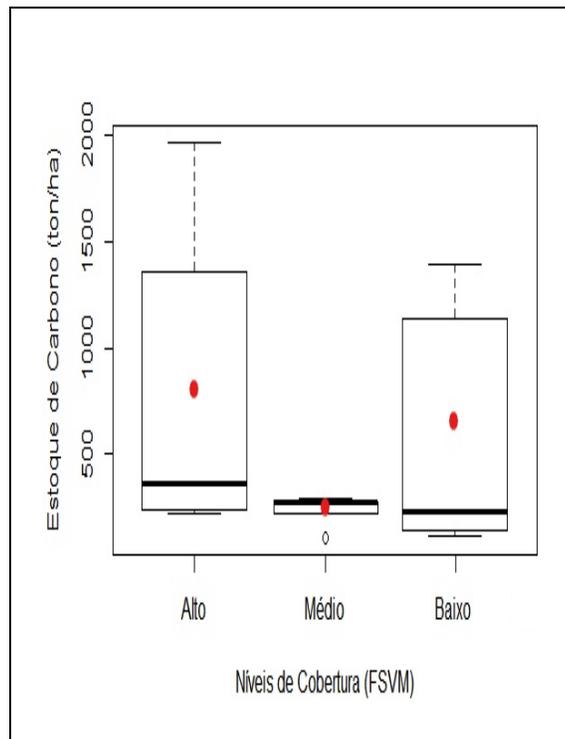


Figura 26: Boxplot de carbono total por nível de cobertura na FSVM.

A Reserva florestal foi a que apresentou maior estoque de carbono quando comparada aos outros regimes de uso. Esta constatação teve suporte no estudo realizado por (Adugna e Teshome 2013), que mostrou que o estoque de carbono orgânico acima do solo, abaixo do solo e do próprio solo apresentou uma tendência crescente com o aumento da altitude, enquanto o estoque de carbono da serapilheira mostrou padrões de distribuição irregulares ao longo da altitude, embora estatisticamente não existisse uma relação forte entre esses reservatórios de carbono e o gradiente de altitude.

Para o caso da Reserva florestal em que o estoque de carbono foi maior que nos outros regimes de uso, esta é caracterizada por precipitação média anual que varia de 1700 a 2000 mm (Sitoe, 2003 e Marzoli, 2007), factor que proporciona a dominância de árvores com alturas de até 20 m ou mais e com copas alargadas, favorecendo à humidade, à maior deposição de serapilheira (Gomes e Sousa 1967) e ao maior estoque de carbono do solo uma vez que os solos variam de argilosos à arenosos.

Ainda em relação à Reserva florestal, no estudo feito por (Andriamananjara *et al.*, 2016), mostrou que o estoque de carbono foi maior nas áreas com copas fechadas em comparação com as outras coberturas de solo e nas áreas de baixa altitude, o estoque de carbono foi menor, variando de 143, 5 ton/ha a 163, 7 ton/ha, em relação às áreas de maior altitude onde o estoque variou de 170,6 a 186,1 ton/ha. Contudo neste regime de uso o estrato inferior (herbáceas e arbustivo) é menos desenvolvido devido à escassez de luz e como consequencia, menor quantidade de carbono foi armazenada nesta componente.

Os resultados da ANOVA do estoque de carbono médio para os três ecossistemas estudados a um nível de significância de 5% como constam no Anexo 8, mostram que o valor de p foi menor que o nível de significância (0,05), assumindo-se que pelo menos um dos ecossistemas estudado apresentou estoque de carbono médio diferente dos outros.

Da comparação do estoque de carbono médio entre os três ecossistemas feita com base no teste *TukeyHSD* a um nível de significância de 5%, de acordo com a Figura 27, foi possível constatar uma diferença estatisticamente significativa quando comparada a FSVM aos dois outros ecossistemas nomeadamente o Mopane e Miombo. Contudo não foi registada diferença estatisticamente significativa de estoque de carbono médio entre o Mopane e Miombo.

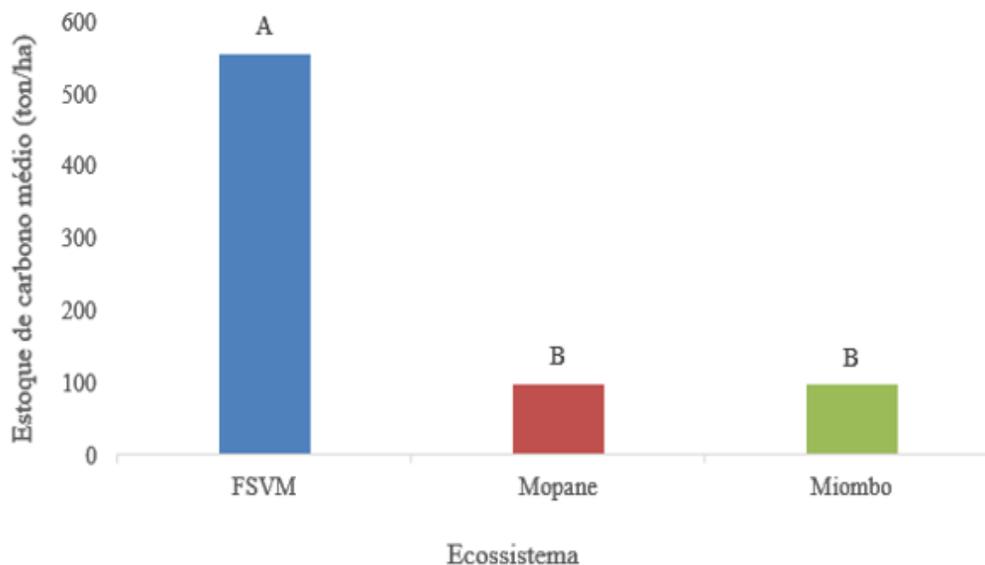


Figura 27: Comparação do estoque de carbono médio entre os ecossistemas. Letra diferente significa diferença significativa de estoque de carbono entre os ecossistemas.

As diferenças de estoque de carbono verificadas entre os três ecossistemas estudados eram de se esperar, pois as áreas escolhidas apresentam características diferentes, em termos de precipitação média anual, topografia, tipo de solos e tipo de uso. Isto pode ser explicado pelo facto das alterações das concentrações de carbono nos diferentes reservatórios não dependerem apenas das actividades humanas, mas também dos processos biogeoquímicos e climáticos e suas interações com o ciclo do carbono (Lal 2004). Nas florestas naturais existe grande diferença na capacidade de acumular biomassa e armazenar carbono, principalmente devido à grande diversidade de espécies e da alta variabilidade existente entre indivíduos, ainda que sejam de uma mesma espécie (Baker *et al.*, 2004 e Silva *et al.*, 2017).

As estimativas do estoque de carbono do presente estudo apresentam algumas diferenças em relação aos outros estudos em áreas similares. Isto pode ser explicado por vários factores, entre os quais, a localização da área de estudo, a altura em que as equações alométricas usadas para estimar a biomassa e a posterior o estoque de carbono da vegetação foram desenvolvidas, se calhar quando a vegetação apresentava menos danos (Clark e Kellner 2012). Ainda aliado a isto, qualquer actividade relacionada ao uso da terra que modifique a quantidade de biomassa na vegetação e no solo tem potencial para alterar a quantidade de carbono armazenada e emitida para a atmosfera, o que influencia directamente a dinâmica do clima da terra (Rugnitz e Chacón 2009).

5. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendeu-se estimar o estoque de carbono nos ecossistemas florestais da província de Manica em quatro regimes de uso, nomeadamente Coutada, Reserva florestal, Floresta comunitária e Concessão florestal tendo em conta os níveis de cobertura, apresentando-se neste capítulo as principais conclusões baseadas na análise dos resultados:

- Em todos os regimes de uso estudados no Miombo e Mopane, o solo foi a componente que apresentou maior média de estoque de carbono, correspondendo a mais de 60% do estoque total em todos os regimes, seguido pela vegetação arbórea. O mesmo não se constatou para a FSVM onde 50% do estoque de carbono foi contribuição da vegetação arbórea e a parte remanescente repartida pelas outras componentes, onde coube ao solo 39%. O carbono das herbáceas, raízes e serapilheira foi pouco expressivo em todos os regimes de uso estudados não chegando a ultrapassar 11% para as raízes e 1% para as herbáceas e serapilheira.
- Foi estimado o estoque de carbono médio no Miombo de 83,57 ton/ha para Coutada 9/13; 127,2 ton/ha para a Floresta comunitária e 89,77 ton/ha para a Concessão florestal; no Mopane de 97,95 para a Coutada 7 e na FSVM de 555,67 ton/ha para a Reserva florestal. A Reserva florestal foi o regime de uso que apresentou maior estoque de carbono médio e em todos os regimes verificou-se tendência de proporcionalidade directa entre o estoque de carbono médio e os níveis de cobertura, excepto para a Reserva florestal, provavelmente devido à maior dispersão dos valores dos estoques de carbono em relação á média, podendo-se concluir com estes resultados que existe uma relação entre o estoque de carbono florestal e os níveis de cobertura florestal.

6. RECOMENDAÇÕES

- O presente estudo, revela o potencial que os ecossistemas florestais da Província de Manica têm de estocar carbono nas suas componentes, sobretudo o solo e as arbóreas. De referir que se trata apenas de estimativas que podem ser melhoradas, podendo ser feitas futuras repetições de levantamentos, quantificações e análises estatísticas que possam contribuir para a aferição de melhores resultados.
- Devem ser realizados mais estimativas de estoque de carbono médio tendo em conta os regimes de uso e níveis de cobertura, para servirem de indicadores da qualidade ambiental e também como instrumento para tomada de decisões que visem atitudes conservacionistas da floresta e sua biodiversidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acenolaza, P., and L.P. e Lancho, J.F.G. Zamboni. "Estimación de carbono en três bosques de la llanura aluvial del bajo Paraná (Argentina). la captura de carbono en ecosistemas terrestres Iberoamericanos." 39-51. RED POBAICA, 2007.
- Aduan, RE, M Vilela, e CA Klink. "Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres: O caso do Cerrado brasileiro. Embrapa Cerrados." 2003: 21-25.
- Adugna, F, e S e Mekuria, A Teshome. "Forest Carbon Stocks and Variations along Altitudinal Gradients in Egdul Forest: Implication of Managing Forests for Climate Change Mitigation. Wollega University." 2013: 37-40.
- Afonso, O., e M. e Madeira, M. Magalhães. "A capacidade do Pinus pinaster aiton para acumulação de carbono orgânico." Instituto Politécnico de Viseu, 2005.
- Almeida, E.M., and Jr.J.H. e Finger, Z Capelo. Determinação do estoque de carbono em Teca (*Tectona grandis* LF) em diferentes idades. Vol. 20. 4 vols. Santa Maria: Ciência Florestal, 2010.
- Alonso, JM, PSS Leles, LN Ferreira, and NSA Oliveira. "Alonso, JM; Leles, PSS; Ferreira, LN; Oliveira, NSA. Aporte de serapilheira em plantio de recomposição florestal em diferentes espaçamentos. Ciência florestal, Santa Maria." 2015: 1-11.
- Alves, L.F., M.A. Vieira, P.B. Scaranello, F.A. Camargo, C.A. Santos, and L.A. Martinelli. "Forest structure and live aboveground biomass variation along an elevational gradient of tropical Atlantic moist forest." 679-691. Brazil: Ecology Management, 2010.
- Andriamananjara, A, et al. "Land cover impacts on aboveground and soil carbon stocks in Malagasy rainforest. Agriculture, Land cover impacts on aboveground and soil carbon stocks in Malagasy rainforest. Agriculture, Ecosystems and Environment journal, vol 233." 2016: 1-15.
- Antoneli, V, e V. Francisquini. Influência de alguns elementos climáticos na produção de serapilheira em um fragmento de pinus na FLONA (Floresta Nacional) de Irati—PR, Belo horizonte. Vol. 25. 2015.
- Aragão, LEOC, B Poulter, e J Barlow. "Environmental change and the carbon balance of amazonian forests." 2014: 1-6.

- Araújo, MA, YL Zinn, e R Lal. "Soil parent material, texture and oxide contents have little effect on soil organic carbon retention in tropical highlands." 2017: 1-10.
- Arevalo, L. A, and C. J. e Vilcahuaman, L. J. M. Alegre. "Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra, Colombo - PR: Embrapa Florestas." 41. 2002.
- Arevalo, L. A, and C. J. e Vilcahuaman, L. J. M. Alegre. "Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra." Edited by Embrapa Florestas. 2002: 41.
- Assad, ED, et al. "Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. Biogeosciences. ." 2013: 6141-6160.
- Atazadeh, I. "Biomass and Remote Sensing of Biomass." 272. 2011.
- Baesso, R.C.E., A. Ribeiro, e M.P. Silva. Impacto das mudanças climáticas na produtividade do eucalipto na região norte do Espírito Santo e sul da Baía. *Ciência Florestal*. Vol. 20. 2010.
- Baird, C. *Química ambiental*. 2. Porto Alegre, 2002.
- Baker, T.R., O.L. Phillips, Y. Malhi, S. Almeida, and L. et al Arroyo. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*. Vol. X, 545-562. Oxford, 2004.
- Baraloto, C, S Rabaud, e Q Molto. "Desentangling stand and environmental correlates of aboveground biomass in Amazonian forests. Brasil." 2011: 2677-2688.
- Barreto, TG, SP Netto, AP Dalla Corte, AL Rodrigues, and CR Sanquetta. "Influência das características químicas do solo na dinâmica de crescimento de um fragmento florestal. Universidade Federal de Paraná, Curitiba." 2016.
- Bauhus, J., P.K. Khanna, P. Hopmans, and C. Weston. "Is soil carbon a useful indicator of sustainable forest soil management? - a case study from native eucalypt forests of South-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*." 59-74. 2002.
- Bayer, C, L Martin-Neto, J Mielniczuk, A Pavinato, and J Dieckow. "Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. *Soil and Tillage research*." 2006: 237-245.
- Berenguer E, Ferreira J, Gardner TA, Araga LEOC, Camargo PB, Cerri CE, Durigan M, Oliveira RC, Guimara IC, Viera E e Barlow J,. "A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified forests." (*Global Change Biology*) 2014: 20.
- Berenguer, E, et al. "A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified forests. Brasil." 2014: 3713-3726.

- Boma, ATM. "Estoques de carbono de florestas nativas e de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus na Província de Manica, Centro de Moçambique. Tese de Licenciatura em Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane, Maputo." 2017: 1-62.
- Borah, M, D Das, J Kalita, DHP Boruah, B Phukan, and B Neog. "Tree species composition, biomass and carbon stocks in two tropical forest of Assam." 2015: 25-35.
- Borem, R.A.T., e D.P. Ramos. "Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica." 42-59. CERNE, 2002.
- Brasil, C e T. "Entendendo a mudança do clima: Um guia para iniciantes da Convenção Quadro das Nações Unidas e seu Protocolo de Quioto." 11-18. 2006.
- Brown, S. "Estimating biomass and biomass change of tropical forest." 55. Rome: A primer. FAO. Forest Resources Assessment Publication 135, 1997.
- Brun, E.J., M.V. Schumacher, e S. e Spathelf, P. Vaccaro. Relação entre a produção de serapilheira e variáveis meteorológicas em três fases sucessionais de uma floresta estacional decidual do Rio Grande do sul. Vol. IX, 277-285. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 2001.
- Buckeridge, M.S. e Aidar, M.P.M. "Carbon sequestration in the rain forest. Alternatives using environmental friendly biotechnology." 1-5. São Paulo. Instituto de botânica. Biótica Neotrópica, 2002.
- Caldeira, M.V.W. "Determinação de biomassa e nutrientes em uma floresta Ombrófila Mista Montana em Geral carneiro. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. universidade Federal do Paraná." 176. Curitiba, 2003.
- Caldeira, M.V.W., R. Marques, e R.V. e Balbinot, R. Soares. "Quantificação de serapilheira e de nutrientes. Floresta Ombrófila Mista Montana-Paraná." 101-116. Revista Académica de Ciências Agrárias e Ambientais., 2007.
- Cardoso, D.N., G.Z. Karam, S.J.G. Coneglian, P.M. Hoffmann, and J.J.S. e Kruger, F.A. Santos. Programa Desmatamento Evitado (SPVS): Um mecanismo complementar ao SNUC para a conservação em áreas privadas. Curitiba. Vol. I. 2009.
- Carneiro, M.A.C., E.D. Souza, E.F. Reis, H.S. Pereira, and W.R. Azevedo. "Atributos física, químicos e biológicos do solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo." 147-157. 2009.
- Carvalho, JLN. "Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil." 277-289. Revista Brasileira de Ciências do Solo., 2010.

- Carvalho, S.L., R.M. Cerqueira, e G.V. e Silva, E.R.M. Silva. Estoque de carbono em um fragmento de floresta estacional semidecídua no município de Ribeirão Grande. Vol. II, 73-85. São Paulo. Campinas: Bioikos 28, 2014.
- Castilho, CV, et al. "Variation in aboveground tree live biomass in a central Amazonian Forest: effect of soil and topography. *Forest Ecology and Management*." 2006: 85-96.
- Castro, Alcinea Guimarães de. "Estimativa de sequestro de carbono florestal para restauração ecológica devido às emissões de CO₂ na instalação de uma central geradora hidroeétrica - CGH. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Gyaratinguetá ." 2017: 20-118.
- Cerri, C.C., M. Bernoux, C.E.P. Cerri, and R. Lal. "Carbon sequestration in soil of Latin America." 41-47. New York, Haworth, 2006.
- Cerri, CEP, K Coleman, DS Jenkinson, M Bernoux, R Victoria, and CC Cerri. "Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon." 2003: 1879-1887.
- Chaves, J., et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Vol. I, 87-99. *Oecologia*., 2005.
- Chazdon, R.L. "Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*." 1458-1460. 2008.
- Chheng, K, N Mizoue, S Khorn, D Kao, and N Sasaki. "Tree-based approach to evaluate size dependence of residual tree damage caused by selective logging: Case study in tropical semi-evergreen forest of Cambodia. *Forest Ecology and Management* 356:." 2015: 285-292.
- Chidumayo, E.N. Miombo ecology and management: an introduction. Stockholm: London, 1997.
- Clark, DB, e JR Kellner. "Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness." 2012: 1191-1196.
- Corado Neto, FC, FMT Sampaio, ME Veloso, CSR Matias, FR Andrade, and MGR. Lobato. "Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués." 2015: 78-83.
- Correia, M.E.F. e Andrade, A.G. "Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes." 16-17. *Metrópole*. Porto Alegre, 2008.

- Dallagnol, F.S., F. Magnon, and S.R. e Corte, A.P.D. Sanquetta. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. Vol. XVIII, 304-316. Floresta e ambiente, Seropédica, 2011.
- Dieterle, G. "Sustaining the World's Forest: Managing Competing Demands for a vital Resource-The Role of the World Bank. In: P.Spathelf, Sustainable Forest Management in a Changing World. London, New York." 2010: 9-32.
- Diniz, A.R., D.L. Machado, M.G. Pereira, and F.C. e Menezes, C.E.G. Balieiro. Biomassa, estoques de carbono e de nutrientes em estádios sucessionais da floresta Atlântica. Vol. X, 443-451. RJ. Brasil, 2015.
- Ebeling, J., e M. Yasue. Generating carbon finance through avoided deforestation and its potential to create climatic, conservation and human development benefits. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2008.
- EMBRAPA. "Manual de métodos de análise de solos. centro Nacional de Pesquisa de Solos. RJ. Brasil." 1997.
- Eswaran, H., E. Van Den Berg, e P.F. Reich. Organic carbon in soils of the world. Vol. 57, 192-194. Soil Science Society of America journal., 1993.
- FAO. "Global Forest Land-use Change from 1990 to 2005. Initial results from a Global Remote Sensing Survey." 2011.
- FAO. "Global Forest resources assesement 2005: Progress towards sustainable forest management." 320. Roma, 2006.
- FAO. "Global Forest Resources Assessment. Forest Paper 163: Food and Agriculture Organization of the United Nations." Rome, 2010.
- Fearnside, P.M. "As Mudanças Climáticas Globais e a Floresta Amazônica." 27. Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia, 2008.
- Ferreira, A.P.B. "Meio ambiente em Noçambique." 2008: 7.
- Filipe, C.M. "Mudança na composição de espécies na região do Corredor da Beira. Tese de Licenciatura. UEM/DEF. Maputo." 1-49. 2008.
- Gardner, T.A, J Barlow, e N.S. e Peres, C.A. Sodhi. "A multi-region assessment of tropical forest biodiversity in a human modified world." 2293-2300. 2010.

- Giardina, CP, CN Litton, SE Crow, and GP Asner. "Warming-related increases in soil CO₂ efflux are explained by increased below-ground carbon flux. *Nature Climate Change* 4." 2014: 822-827.
- Gomes e Sousa, A. *Dendrologia de Moçambique: instituto de Investigação Agronómica de Moçambique*. Lourenço Marques: Imprensa Nacional de Moçambique, 1967.
- Guedes, B.S, e A.A e Olsson, B.A Siteo. "Allometric models to support landscape management of a miombo ecosystem in Mozambique." 2017.
- Guedes, BS, BA Olsson, AA Siteo, and G Egnell. "Replacement of of Mountain Miombo Forest by Pinus taeda and Eucalyptus cloeziana Plantations Increases Carbon Stocks, Carbon Fluxes and Net Primary Production." 2016: 1-19.
- Guedes., BS. "Caracterização silvicultural e comparação das reservas florestais de Maronga, MORibane e Zomba, Província de Manica. Tese de Licenciatura. DEF.FAEF.UEM. Maputo." 27-54. 2004.
- Hansson, K, HS Helmisaari, SP Sah, and H Lange. "Fine root production and turnover of tree and understory vegetation in Scots Pine, silver birch and Norway spruce stand in Sweden. *Forest Ecology and Management* 309: ." 2013: 58-65.
- Heinze, S, et al. "Factors controlling the variability of organic matter in the top- and subsoil of a sandy Dystric under beech forest." 2018: 37-44.
- Henrique, N. "Porque as florestas tropicais são importantes?" 6. Brasil, 2010.
- Higuchiet, N., J. Santos, R.J. Ribeiro, and L. e Biot, Y. Minette. "Biomassa na parte aérea da vegetação da floresta tropical húmida da terra- firme da Amazônia Brasileira. *Acta Amazônica*." 153-166. 1998.
- Houghton, R.A. "As florestas e o ciclo de carbono global: Armazenamento e emissões actuais: in seminário Emissõessequestro de CO₂- uma nova oportunidade de Negócios para Brasil." 38-76. RJ, 1994.
- IPCC. "Climate Change Synthesis Report." 2014, 80.
- . *Climate Change. Synthesis Report. Summary for Policymakers*. 2007.
- IPCC. "Good Practice Guidance for Land use, Land use Change and forestry." 68. Hayama. Japão: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2003.
- IPCC. "Guidlines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national by the national greenhouse programe. IGES." Japão, 2006.

- João, SS. "Avaliação da composição florística, estrutura horizontal e estoques de carbono em duas formações florestais na Província de Sofala. Tese de Licenciatura em Engenharia Florestal. Universidade Eduardo Mondlane, Maputo." 2016: 99.
- Kauffman, J.B., R.F. Hughes, e C. Heider. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use and agricultural abandonment in the neotropics. Ecological Applications. 2009.
- Koehler, HS, P Silveira, CR Sanquetta, and JEO Arce. "Estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais." 2008: 185-206.
- Lacerda, J.C., H.T.Z.D. Couto, M.M. Hirota, and N. e Polizel, J.L. Pasishnyk. Estimativa de biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. Edited by METRVM. 2009.
- Lal. "Soil carbon sequestration to mitigate climate change." 2004: 1-22.
- Lal, R. "Carbon management in agricultural soil. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change." 2007: 303-322.
- Lal, R. "The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Adv. Agron." 155-192. 2002.
- Lal, R., J.M. Kimble, R.F. Follett, and C.V. Cole. "The potential of U.S. cropland to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect." 34-57. 1998.
- Lamprecht, H. "Silvicultura nos Trópicos. GTZ." 1990.
- Larcher, W. "Ecofisiologia vegetal. São Paulo: Ed Pedagógica e Universitária, Lda." 320. 2000.
- Lipinski, ET, AP Dalla Corte, CR, Rodrigues, AL Sanquetta, F Mognon, and A. Behling. "Dinâmica da Biomassa e Carbono Arbóreo entre 1995-2012 em Floresta Ombrófila Mista Montana. Curitiba." 2017: 197-206,.
- Lisboa. "Estimativa de Biomassa e Carbono na Floresta Sempre Verde de Montanha da Reserva Florestal de Moribane. Tese de Licenciatura. DEF. UEM. Maputo." 32-82. 2014.
- Lisboa, NM. "Modelagem da variabilidade Espacial de Carbono e Nitrogênio Orgânico do solo, sub efeito da Degradação Florestal, em Mabalane, Tese de Mestrado em Maneio e Conservação da Biodiversidade, FAEF, UEM, Maputo." 2017: 109.
- Liu, C., L Zhang, e L. e Xingii, J. Fengri. Spatial modeling of the carbon stock of forest tree in Heilongjiang Province. China, 2014.

- Liu, X., R. Ekoungoulou, J.J. Loumeto, S.A. Ifo, and Y.E e Koula, F.E. Bocko. "Evaluation of carbon stocks in above an below-ground biomass in Central Africa: case study of Lesio-louna tropical rainforest of Congo." 703-735. 2007.
- Losi, C.J., T.G. Siccame, and R. e Morales, J.E. Condit. Analysis of alternative methods for estimating carbon stocks in young tropical plantation. Forest ecology and Management. Vol. I, 355-368. Amsterdam, 2003.
- Machado, P.L.O. "Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. Embrapa solos." 329-334. RJ, Brasil, 2005.
- Madeira, M., et al. Quantidade de carbono orgânico nos solos de Portugal Continental e particularidades nos solos do Noroeste e dos montados Sul. Edafologia. Vol. 11, 279-293. 2004.
- MAE. "Perfil dos distritos de Manica." 2005.
- Magalhães, TM. "Estimation of Tree Biomass, Measurement Uncertainties, and Morphological Topology of *Androstachys Johnsonii* prain. Dissertation presented for the degree of Doctor of Philosophy (Forestry) at the University of Stellenbosch." 2016.
- Magnon, F. "Dinamica do estoque de carbono como serviço ambiental prestado por um fragmento de floresta Ombrófila Mista Montana localizada no sul do estado do Paraná. Dissertação (mestrado em Engenharia Florestal)- Sector de Ciências Agrárias. Curitiba." 2011.
- Manfrinato, W, M Piccolo, CC Cerri, M Bernoux, and CEP Cerri. "Monitoring carbon stocks in soil of a forest-pasture chronosequence and determining its origin with isotope technology in Guaraqueçaba, Brazil." 2002: 1-12.
- Mapaure, I, e A Ndeinona. "Impacts of local-level utilization pressure on the structure of mopane woodland in Omusati region, Northern Namibia. Plant Science ." 2011: 305-313.
- Martin, P.A., e A.C e Bullock, J.M. Newton. "Carbon pools recover more quickly than plant biodiversity in tropical secondary forests." 8. 2013.
- Marzoli, A. Relatório do Inventário Florestal Nacional. Direção Nacional de Terras e Florestas. Ministério da Agricultura. Maputo. Moçambique, 2007.
- Mavie, E.B. "Estimativas de perdas de carbono associadas com mudanças de cobertura florestal: Estudo de caso, distrito de Gondola. Tese de Licenciatura em Engenharia Florestal. DEF. FAEF. UEM.Maputo." 2012.
- MEC. Atlas Geográfico de Moçambique. Maputo, 1983.

- Meersmans, J. Modelling the three-dimensional spatial distribution of soil organic carbon (SOC) at the regional scale. Vol. 152, 43-52. Geoderma, 2009.
- Meersmans, J, F De Ridder, F Canters, and S. De Baets. "A multiple regression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). Geoderma." 2008: 1-13.
- Melillo, J.M., I. Farquhar, G. Prentice, E. E. Schulze, and O. Sala. "Terrestrial biotic responses to environmental change and feedbacks to climate. Cambridge, UK." 1996.
- MICOA. "Plano de Acção para Prevenção e Controlo às Queimadas Descontroladas 2008-2018. Moçambique." 2007: 27.
- MMA. "Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica. Brasília, DF." 2011: 34-38.
- Mognon, F, FS Dallagnol, CR Sanquetta, APD Corte, and TG Barreto. "Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. Floresta, Curitiba." 2013: 153-164.
- Munish, PKT e Shear, TH. "Carbon Storage in Afromontane Rain Forest of the Eastern Mountains of Tanzania: Their net contribution to atmospheric carbon." 2004.
- Munishi, PKT, S Mringi, DD Shirima, and SK Linda. "The role of the Miombo Woodlands of Southern Highlands of Tanzania as carbon sinks. Morogoro, Tanzania." 2010: 261-269.
- Munoz-Rojas, M, A Jordán, LM Zavala, D De la Rosa, SK Abd-Elmabod, and M Anaya-Romero. "Organic carbon stocks in Mediterranean soil types under different land uses (southern Spain) Solid Earth 3." 2012: 375-386.
- Mutakela, PS. "Biomass prediction models for *Colophospermum mopane* (Mopane) in Botswana. Master of Science Thesis. University of Stellenbosch." 2009: 159.
- Muukkonen, P. "Forest inventory-based large-scale forest biomass and carbon budget assessment: new enhanced methods and use of remote sensing for verification. University of Helsinki. Faculty of Science." 32-49. 2006.
- Nath, S, AJ Nath, GW Sileshi, and A. Kumar Das. "Biomass stocks and carbon storage in *Barringtonia acutangula* floodplain forest in North East India." 2017: 37-42.
- Ndaw, S.M., A.C. Gama-Rodrigues, E.F. Gama-Rodrigues, K.R.N. Sales, and A.S Rosado. "Relationships between bacterial diversity, microbial biomass, and litter quality in soil under different plant covers in northern Rio de Janeiro State. Brazil." 1089-1095. 2009.

- Nelson, D.W. e Sommers, L.E. "Total carbon, organic carbon and organic matter." 23-47. América., 1996.
- Nogueira, E.M., P.M. Fearnside, B.W. Nelson, R.I. Barbosa, and E.W. Keizer. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. 2008.
- Ohse, S., R.B. Derner, R.A. Ozório, P.C.R. Cunha, P.C. Lamarca, and M.E. et al. Santos. Sequestro de carbono realizado por microalgas e florestas e a capacidade de reprodução de lípidos pelas microalgas. *Insula*, 2007.
- Oliveira, ES, A Reatto, e HL Roig. "Estoques de Carbono do Solo Segundo os Componentes da Paisagem. *Cadernos de Ciência e Tecnologia, Brasília.*" 2015: 71-93.
- Pan, Y., et al. "A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science Express* 333." 988-993. 2011.
- Paula, TA, and CM Valle. "Quantificação do estoque de carbono no solo e a mitigação da mudança climática. *Brasil.*" 2007.
- Pearson, N., e W e Brown, S. Sarah. "Source Book for Land Use Change and Forestry Projects." 4-53. 2005.
- Pereira, J.S. "Floresta e Sociedade- Uma história em comum. Público, comunicação Social, SA, Fundação Luso Americana para o desenvolvimento." 127-142. 2007.
- Quesada, CA, OL Phillips, e M. Schwarz. "Basin-wide variations in Amazon forest structure and function are mediated by both soil and climate. *Brasil.*" 2012: 2203-2237.
- Qureshi, A., R.B. Pariva, e S.A. Hussain. "A review of protocols used for assessment of carbon stock in forested landscapes. *Environ. Sci. Policy.*" 81-89. 2012.
- Reis, L. P, A. R. Ruschel, J. N. M Silva, P. C. M Reis, J. O. P. Carvalho, and M. H. M Soares. "Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de *Sapotaceae* após exploração florestal na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias.*" 2014: 234-243.
- Renner, R.M. "Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil. *Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná. Curitiba.*" 147. 2004.
- Resck, D.V.S., E.A.B. Ferreira, C.C. Figueiredo, and y.L. Zinn. "Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado." 359-417. *Porto Alegre*, 2008.

- Ribeiro, N., A.A. Siteo, e B.S. e Staiss, C. Guedes. "Manual de Silvicultura Tropical. Projecto GCP/ Moz/056: DEF/FAEF." 2002.
- Ribeiro, N.S., C.N. Matos, I.R. Moura, and N.A. e Ribeiro, A.I. Allen. "Monitoring vegetation dynamics and carbon stock density in miombo woodlands." 2013.
- Ribeiro, SC. "Quantificação do estoque de biomassa e análise económica da implementação de projectos visando a geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária. Mestrado em Ciência Florestal." 2007: 87.
- Roberto, R., e E.E. e Resende, J. S. Sano. "Carbon Storage in soil of cultivated pastures in the Parnaíba River Basin." 2014: 20.
- Rodrigues, AL. "Dinâmica e correlações ambientais em um remanescente de Floresta Ombrófila Mista Aluvial em Guarapuava, PR, Dessertação de Mestrado, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, Brasil." 2012: 11-86.
- Rugnitz, M.T., e M.I. e Porro, R. Chacón. Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais. 1. Belém: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF), 2009.
- Ryan, C.M, et al. "Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using radar imagery. Global Change Biology." 1-15. 2011.
- Ryan, C.M. "Carbon Cycling, Fire and Phenology in a Tropical Savana Woodland in Nhambita, Mozambique. PhD Thesis, University of Edinburgh." 2009: 257.
- Saatchi, S, et al. "Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy." 2013: 565-570.
- Sallan, GT, RE Creamer, GJ Lanigan, B Reidy, and Byrne e KA. "Effects of soil type and depth on carbon distribution within soil macroaggregates from temperate grassland systems." 2018: 52-56.
- Samogyi, Z, E Cienciala, R Makipaa, P Muukkonen, A Lehtonen, and P Weiss. "Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. European Journal of forest Research." 2007: 197-207.
- Sanquetta, C.R., L.R. Watzlawick, R. Balbinot, and M.A.B. e Gomes, F.C Ziliotto. "As florestas e o carbono. Curitiba." 153-174. 2002.
- Sanquetta, CR. "Experiência de monitoramento no bioma Mata Atlântica com uso de parcelas permanentes. Curitiba." 2008, 330-338.

- Sato, JH,. "Métodos para determinação do carbono orgânico em solos de Cerrado, Universidade de Brasília. Dessertação de Mestrado. Brasília. ." 2013: 1-99.
- Schlegel, BA, J Gayoso, and J Guerra. "Manual de procedimentos para inventários de carbono en Ecosistemas Forestales. Universidade Austral de Chile. Valdivia, Enero." 2001: 1-17.
- Schneider, P.R., C.A.G. Finger, e V. Schneider, P.S.P Giacomelli. Determinação indirecta do estoque de carbono em povoamentos de Acácia-negra. Ciência Florestal, Santa Maria. Vol. IV, 391-402. 2005.
- Segueda, AN, MM Ramos, GI Marínquez, and LVSiebe, C Selem. "Variation of main terrestrial carbon stocks at the landscape-scale are shaped by soil in a tropical rainforest, México." 2018: 56-68.
- Sevene, António Narciso. "Equações alométricas e factor de expansão de biomassa Colophospermum mopane em Tambara." Maputo, 2015, 93.
- Shirima, D, et al. "Carbon Storage, Structure an Composition of Miombo Woodlands inTanzania's Eastern Arc Mountain. African Journal Ecology. ." 2011: 332-342.
- Silva, HF. "Biomassa e Carbono no Estrato Arbóreo em Área de Restauração e em Floresta Semidecidual. Lavras. MG." 2014.
- Silva, LB, JWZ Novaisb, L Sanchesc, NG Machado, AM Aquinoc, and Da Silva Sallob. "Litter and Soil CO2 Efflux in a seasonally Flooded Forest in the Brazilian Wetland." 2017: 178-182.
- Silva, Rl, e ES Mendonça. "Fertilidade do solo." 275-374. Viçosa. MG: Sociedade Brasileira de ciência do solo., 2007.
- Silveira, M.L., N.B. Comerford, K.R. Reddy, and W.T. e El-Rifai, H. Cooper. "Characterization of soil orgânico carbon pools by acid hidrólisis." 405-414. 2008.
- Sitoe, A, et al. Avaliação Rápida e Priorização do Maneio das Áreas de Conservação em Moçambique (RAPPAM). MICOA/DNGA, MITUR/DNAC, MINAG/DNTF, 2006.
- Sitoe, A. A., B.S. Guedes, e S.N.D e Maússe-Sitoe. Avaliação dos modelos de maneio comunitário de recursos naturais em Moçambique. Editado por DNTF MINAG. Maputo: FAO, FAEF, 2007.
- Sitoe, A., e A. e Kanounnikoff, S. Salomão. "O Contexto de REDD+ em Moçambique - Causas, actores e instituições. CIFOR." 2012: 76.

- Sitoe, A., e C. Enosse. Estratégia para gestão participativa de reservas florestais em Moçambique. Maputo, 2003.
- Sitoe, A., e F. Tchaúque. "Trends in forest ownership, forest resources tenure and institutional arrangements in Mozambique: A case the study from Mozambique. Faculty of Agronomy and Forestry." 37. Rome: FAO, 2007.
- Sitoe, A.A., and L.J.C e Guedes, B.S. Mandlate. "Biomass and Carbon Stock of Sofala Mangrove Forests. Maputo. Mozambique." 1-15. 2014.
- Sitoe, A.A., e B.S. e Nhantumbo, I. Guedes. Linha de Referência, Monotória, Relatório e Verificação para o REDD+ em Moçambique. Moçambique, 2013.
- Sitoe, AA. "Bases Ecológicas para Agronomia e Silvicultura. FAEF. UEM. Maputo." 24-96. 2003.
- Smith, J.E., L.S. Heath, K.E. Skog, and R.A. Birdsey. "Methods for Calculaing Forest Ecosystem and Harvested Carbon with Standard Estimates for Forests Types of the United States. General Technical Report." 343. 2006.
- Smith, P. "Land use change and soil organic carbon dynamics. Nutrient Cycling in Agroecosystems." 2008: 169-178.
- Soares, C.P.B., e H.G. e Gorgens, E.B. Leite. "Equações para estimar o estoque de carbono no tronco de árvores individuais e em palntios comerciais de eucalipto." 2005: 711-718.
- Soares, C.P.B., e N.F. e Souza, A.L. Paula. "Dendrometria e inventário florestal. Viçosa. Editora da UFV." 2011.
- Souza, M.F.L., C.M. Longhini, e A.M. e Lentini, C.A. Silva. "Ciclo de carbono: Processos Biogeoquímicos, Físicos e Interações entre Compartimentos na Baía de Todos os Santos." 566-582. Brasil, 2012.
- Stephen, A.R. "Carbon Capture and Storage." 287-316. 2010.
- Stephenson, N.L., et al. "Rate of tree carbon accumulation increases continuously with tree size. natures." 90-93. 2014.
- Taiz, L e Zeiger, E. "Fisiologia vegetal." 820. Porto Armed, 2008.
- Tchaúque, FDDLJ. "Avaliação da Biomassa Lenhosa Aérea no corredor da Beira, Tese de Licenciatura. UEM. FAEF. Maputo. Moçambique." 2004: 49.
- Tomo, F.A. "Estimativas de stock de carbono nas florestas de miombo em Gondola. tese de Licenciatura. DEF. UEM. Maputo." 36-55. 2012.

- UNFCCC. Report of the conference of the parties on its thirteenth session, held in Bali from 3 to 15 December 2007. FCCC/CP/, 2008.
- Urquiza-Haas, T., C.A. Peres, and P.M. Dolman. "Regional scale variation in forest structure and biomass in the Yucatan Península, México: effects of forest disturbance." 80-90. *Forest Ecology Management*, 2007.
- Valentini, C.M., M.M. Espinosa, e S.R. Paulo. "Estimativa de fluxo de CO₂ do solo, por meio de regressão múltipla, para floresta de transição no Noroeste de Mato Grosso." 9-16. *Revista Cerne*, 2008.
- Van der Sand, MT, et al. "Soil fertility and species trait, but not diversity, drive productivity and biomass stocks in a Guyanese tropical rainforest ." 2018: 1-14.
- Veurm, KS, KW Goyne, SH Holan, and PP. Motavalli. "Assessment of soil organic carbon and total nitrogen under conservation management practices in the Central Clypan Region, Missouri, USA, Geoderma." 2011: 188-196.
- Vieira, M., e M.V. et al Schumacher. variação mensal da deposição de serapilheira e povoamentos de *Pinus taeda* L. em área de campo nativo em Cambará do Sul-RS. Vol. 34, 487-494. Viçosa: *Revista árvore.*, 2010.
- Viera, M, MV Schumacher, EF Araújo, RS Correa, and MW Caldeira. "Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E.globulus*. *Floresta e Ambiente Seropédica*." 2014: 327-338.
- Wallace, JM, e PV Hobbs. "Atmospheric Science: An Introductory Survey (S.I): Academic Press." 2006: 483.
- Wang, Y, B Fu, Y Lu, C Song, and Y. Luan. "Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the loess Plateau, China, Quaternary, Cambridge.org." 2010: 70-76.
- Watzalawick, LF. "Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana, Paraná." 2012: 345-352.
- Wild, H, e L.A Barbosa. "Flora Zambesiaca. Área Flora Zambesiaca supplement. M.O.Collin." 1967.
- Willaarts, BA, C Oyonarte, M Munoz-Rojas, JJ Ibáñez, and PA Aguilera. "Environmental Factors Controlling Soil Organic Carbon Stocks in Contrasting Mediterranean Climatic Areas of

Southern Spain. Plant Biology and Ecology Department, University of Almeria, Spain." 2015: 1-9.

Williams, M., C.M. Ryan, R.M. Rees, E. Sambane, J. Fernando, and J Graça. "Carbon sequestration and biodiversity of re-growing Miombo Woodlands in Mozambique. Forest Ecology and Management." 145-155. 2008.

Wu, HI, PJH, Walker, J Sharpe, e LK, Penridge. "Ecological field theory: a spatial analysis of resource interference among plants. Ecological Modelling." 1985: 215-243.

Yimer, F, S Ledin, e A. Abdelkadir. "Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by topographic aspect and vegetation in the Bale Mountains, Ethiopia. Geoderma." 2006: 335-344.

ANEXOS

Anexo 1: Ficha de campo para registo do peso húmido da vegetação herbácea e serapilheira para cada tipo de vegetação e regime de uso. Onde: Lat= latitude e Long= Longitude.

Província _____ Distrito _____ Data: ___/___/___

Regime de uso _____ Tipo de vegetação _____

Tamanho da Parcela ___x___ Coordenadas: Lat _____ Long _____

Herbáceas e serapilheira

Parcela	Sub-parcela	Peso húmido (kg)		Observações
		Herbáceas	Serapilheira	
	1			
	2			
	3			
	4			
	1			
	2			
	3			
	4			
	1			
	2			
	3			
	4			
	1			
	2			
	3			
	4			
	1			
	2			
	3			
	4			

Anexo 2: Ficha de campo para registo do DAP da vegetação arbórea para cada tipo de vegetação e regime de uso. Onde: DAP=diametro à altura do peito; Ht- altura total; Hc=altura comercial; ID- identificação da árvore; Lat= latitude e Long= Longitude.

Província _____ Distrito _____ Data: ___/___/___

Regime de uso _____ Tipo de vegetação _____

Tamanho da Parcela ___ x ___ Coordenadas: Lat _____ Long _____

Vegetação arbórea

ID	Nome científico	Nome local	Dap (cm)	Altura (m)		Observações
				Ht	Hc	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Anexo 6: Médias de estoque de carbono por componente.

Tabela 1. Média de estoque de carbono por componente na Floresta comunitária

Componentes	Média de estoque de C (ton/ha)			Média	%
	Alto	Médio	Baixo		
Arbórea	19.04	13.31	11.54	14.63	17.92
Herbácea	0.23	0.30	0.22	0.25	0.31
Serapilheira	0.36	0.43	0.14	0.31	0.38
Raíz	6.14	4.53	3.80	4.82	5.91
Solo	60.49	62.57	61.81	61.62	75.49
Total	86.26	81.14	77.51	81.63	100.00

Tabela 2. Média de estoque de carbono por componente na Coutada 9/13

Componentes	Média de estoque de C (ton/ha)			Média	%
	Alto	Médio	Baixo		
Arbórea	8.94	6.37	4.46	6.59	13.48
Herbácea	0.18	0.17	0.27	0.20	0.42
Serapilheira	0.31	0.11	0.33	0.25	0.52
Raíz	3.33	2.50	1.81	2.55	5.21
Solo	35.04	41.80	41.07	39.30	80.38
Total	47.80	50.96	47.94	48.90	100.00

Tabela 3. Média de estoque de carbono por componente na Concessão florestal

Componentes	Média de estoque de C (ton/ha)			Média	%
	Alto	Médio	Baixo		
Arbórea	8.60	5.82	3.81	6.08	10.52
Herbácea	0.14	0.33	0.36	0.28	0.48
Serapilheira	0.18	0.48	0.00	0.22	0.38
Raíz	3.16	2.17	1.40	2.25	3.89
Solo	61.93	38.05	46.81	48.93	84.73
Total	74.02	46.85	52.37	57.75	100.00

Tabela 4. Média de estoque de carbono por componente na coutada 7

Componentes	Média de estoque de C (ton/ha)			Média	%
	Alto	Médio	Baixo		
Arbórea	19.64	10.35	6.65	12.21	19.07
Herbácea	0.15	0.05	0.05	0.08	0.13
Serapilheira	0.48	0.15	0.08	0.24	0.37
Raíz	6.36	3.83	2.28	4.16	6.49
Solo	50.74	50.90	40.37	47.34	73.93
Total	77.37	65.29	49.43	64.03	100.00

Tabela 5. Média de estoque de carbono por componente na Reserva florestal

Componentes	Média de estoque de C (ton/ha)			Média	%
	Alto	Médio	Baixo		
Arbórea	145.23	28.89	101.71	91.94	49.80
Herbácea	0.05	0.04	0.05	0.05	0.03
Serapilheira	0.53	1.09	0.70	0.77	0.42
Raíz	31.54	8.98	21.77	20.76	11.25
Solo	68.48	74.16	70.64	71.10	38.51
Total	245.83	113.17	194.87	184.62	100.00

Anexo 7: Estoque de carbono total por tipo florestal

a) Miombo

Floresta Comunitária								
Parcela	Níveis	Estoque de carbono (ton/ha)						
		Arbórea	Herbácea	Serapilheira	Raíz	Solo	Média	Total
3000B	Alto	97.05	0.80	1.60	7.73	44.06	30.25	151.24
3000D	Alto	62.43	0.99	1.86	5.37	52.88	24.71	123.53
3000E	Alto	58.52	1.12	1.23	4.88	74.38	28.03	140.13
3000K	Alto	86.68	0.73	0.99	6.60	70.62	33.12	165.62
3000A	Médio	41.86	1.43	2.12	3.69	103.42	30.50	152.52
3000C	Médio	72.10	1.43	2.75	6.08	47.77	26.03	130.14
3000F	Médio	58.06	1.23	0.68	4.92	40.04	20.99	104.94
3000H	Médio	40.96	0.66	1.28	3.42	59.06	21.08	105.38
3000G	Baixo	20.68	0.90	0.95	1.83	79.49	20.77	103.84
3000I	Baixo	47.11	1.05	0.21	3.66	45.24	19.46	97.28
3000J	Baixo	63.78	0.83	0.76	5.34	58.07	25.75	128.77
3000L	Baixo	53.10	0.80	0.35	4.36	64.43	24.61	123.04

Coutada 9/13								
Parcela	Níveis	Estoque de carbono (ton/ha)						
		Arbórea	Herbácea	Serapilheira	Raíz	Solo	Média	Total
2000F	Alto	60.24	1.12	2.68	3.65	36.36	20.81	104.06
2000G	Alto	49.72	0.76	2.46	3.28	48.21	20.89	104.43
2000H	Alto	55.71	1.11	0.70	3.49	27.56	17.71	88.57
2000M	Alto	48.77	1.90	1.96	3.12	39.11	18.97	94.86
2000P	Alto	64.37	0.65	1.37	3.82	31.82	20.41	102.04
2000Q	Alto	42.99	0.77	2.05	2.60	27.19	15.12	75.61
2000B	Médio	56.80	0.33	0.67	3.45	36.94	19.64	98.18
2000D	Médio	32.77	0.89	0.08	2.21	53.80	17.95	89.75
2000E	Médio	31.19	1.50	0.00	2.00	48.60	16.66	83.29
2000I	Médio	24.10	1.21	0.11	1.67	36.12	12.64	63.21
2000K	Médio	34.44	1.44	0.30	2.47	46.20	16.97	84.85
2000N	Médio	50.12	0.59	1.72	3.22	29.15	16.96	84.80
2000A	Baixo	31.08	1.68	0.00	2.19	45.45	16.08	80.40
2000C	Baixo	16.84	1.10	0.00	1.20	41.80	12.19	60.94
2000J	Baixo	17.96	2.68	0.00	1.29	49.33	14.25	71.26
2000L	Baixo	44.63	1.32	1.39	2.74	33.61	16.74	83.69
2000O	Baixo	20.68	1.55	0.73	1.46	46.75	14.23	71.17
2000R	Baixo	29.54	1.44	0.85	1.97	29.46	12.65	63.25

Concessão florestal								
Parcela	Níveis	Estoque de carbono (ton/ha)						
		Arbórea	Herbácea	Serapilheira	Raíz	Solo	Média	Total
5000K	Alto	57.45	1.81	0.29	3.27	60.97	24.76	123.79
5000M	Alto	40.25	0.69	1.28	2.53	59.18	20.79	103.93
5000N	Alto	50.53	0.68	0.78	3.17	55.16	22.06	110.31
5000O	Alto	66.40	0.60	0.57	4.09	58.94	26.12	130.60
5000P	Alto	43.70	0.88	2.04	2.83	76.68	25.22	126.12
5000Q	Alto	51.23	0.43	1.59	3.10	60.66	23.40	117.01
5000C	Médio	41.84	1.05	0.05	2.54	29.68	15.03	75.17
5000D	Médio	45.35	1.13	0.00	2.72	18.40	13.52	67.59
5000H	Médio	26.60	2.51	0.00	1.75	29.05	11.98	59.91
5000I	Médio	31.68	2.45	0.00	2.01	64.85	20.20	100.99
5000L	Médio	36.34	3.43	0.00	2.16	25.96	13.58	67.89
5000R	Médio	27.82	1.32	1.86	1.87	60.36	18.65	93.23
5000A	Baixo	28.47	1.79	0.00	1.82	35.99	13.61	68.06
5000B	Baixo	9.23	0.95	0.00	0.64	49.05	11.97	59.87
5000E	Baixo	30.07	1.36	0.00	1.69	33.14	13.25	66.26
5000F	Baixo	16.30	2.49	0.00	1.00	53.42	14.64	73.21
5000G	Baixo	15.72	1.83	0.00	1.15	30.50	9.84	49.21
5000J	Baixo	37.29	4.53	0.00	2.10	78.74	24.53	122.65

b) Mopane

Coutada 7								
Parcela	Níveis	Estoque de carbono (ton/ha)						
		Arbórea	Herbácea	Serapilheira	Raíz	Solo	Média	Total
1000C	Alto	44.47	0.65	1.92	4.38	78.39	25.96	129.80
1000D	Alto	65.02	0.57	2.24	7.53	47.74	24.62	123.11
1000L	Alto	67.30	0.10	0.17	7.15	26.11	20.17	100.83
1000H	Médio	40.44	0.14	1.09	4.05	47.34	18.61	93.05
1000I	Médio	46.73	0.25	0.66	4.18	76.57	25.68	128.39
1000K	Médio	31.85	0.13	0.64	2.92	28.46	12.80	64.01
1000N	Médio	46.57	0.34	0.07	4.18	51.24	20.48	102.40
1000A	Baixo	55.20	0.87	0.30	3.07	42.14	20.31	101.57
1000B	Baixo	73.09	0.26	0.00	3.82	44.50	24.33	121.67
1000E	Baixo	0.71	0.42	0.71	0.06	30.48	6.48	32.39
1000F	Baixo	11.29	0.51	0.16	0.61	47.73	12.06	60.29
1000G	Baixo	107.69	0.28	0.07	4.11	15.76	25.58	127.91
1000J	Baixo	30.95	0.22	1.10	1.75	44.59	15.72	78.60
1000M	Baixo	46.79	0.07	0.51	2.54	57.42	21.47	107.33

c) FSVM

Reserva florestal								
Parcela	Níveis	Estoque de carbono (ton/ha)						
		Arbórea	Herbácea	Serapilheira	Raíz	Solo	Média	Total
4000A	Alto	1848.92	0.22	1.34	75.40	43.63	393.90	1969.52
4000C	Alto	1262.67	0.14	1.09	51.82	45.78	272.30	1361.50
4000G	Alto	142.18	0.04	2.24	8.92	84.19	47.51	237.57
4000L	Alto	260.13	0.25	4.23	13.84	80.65	71.82	359.10
4000N	Alto	116.78	0.53	4.35	7.72	88.16	43.51	217.53
4000F	Médio	41.01	0.08	2.80	3.40	57.05	20.87	104.33
4000H	Médio	122.75	0.28	5.13	7.99	86.90	44.61	223.05
4000I	Médio	173.59	0.24	7.65	10.79	76.96	53.85	269.23
4000J	Médio	181.28	0.33	5.26	11.60	78.11	55.32	276.58
4000O	Médio	203.65	0.18	6.32	11.13	71.81	58.62	293.08
4000B	Baixo	1070.24	0.53	0.72	43.40	18.90	226.76	1133.79
4000D	Baixo	1253.70	0.11	1.72	50.84	90.82	279.44	1397.19
4000E	Baixo	53.60	0.39	1.69	4.13	84.68	28.90	144.49
4000K	Baixo	147.60	0.09	9.74	9.02	64.54	46.20	230.99
4000M	Baixo	17.72	0.08	3.59	1.48	94.26	23.43	117.13

Anexo 8: Tabelas de ANOVA por componente, regime de uso e ecossistemas.

1. Coutada 7

a) Componente arbórea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	547	273.5	0.521	0.623
Parcela	6	5945	990.8	1.887	0.251
Erro	5	2625	525.0		
Total	13				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

b) Componente herbácea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	0.100	0.050	1.104	0.401
Parcela	6	0.380	0.063	1.394	0.366
Erro	5	0.227	0.045		
Total	13				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

c) Serapilheira

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2.281	1.1405	2.368	0.189
Parcela	6	1.557	0.2595	0.539	0.763
Erro	5	2.408	0.4815		
Total	13				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

d) Solo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	386	191.5	0.831	0.488
Parcela	6	2490	415.0	1.801	0.267
Erro	5	1152	230.4		
Total	13				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

e) Raiz

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	35.16	17.58	7.786	0.0291
Parcela	6	10.13	1.69	0.748	0.6374
Erro	5	11.29	2.26		
Total	13				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

2. Floresta comunitária

a) Componente arbórea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	1967	983.5	2.269	0.185
Parcela	3	113.9	38.0	0.088	0.964
Erro	6	2600.5	433.4		
Total	11				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

b) Componente herbácea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	0.2192	0.1096	2.995	0.125
Parcela	3	0.3085	0.1028	2.810	0.130
Erro	6	0.2195	0.366		
Total	11				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

c) Serapilheira

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2.808	1.4040	4.622	0.061
Parcela	3	1.476	0.4920	1.620	0.281
Erro	6	1.822	0.3037		
Total	11				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

d) Solo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	8.9	4.5	0.011	0.989
Parcela	3	1176.7	392.2	0.956	0.472
Erro	6	2462.4	410.4		
Total	11				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

e) Raiz

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	11.539	5.769	2.277	0.184
Parcela	3	0.792	0.264	0.104	0.955
Erro	6	15.204	2.534		
Total	11				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

3. Coutada 9/13

a) Componente arbórea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2178.1	1089.1	9.306	0.00522
Parcela	5	483.3	96.7	0.826	0.55892
Erro	10	1170.3	117.0		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

b) Componente herbácea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	1.481	0.7405	3.705	0.0625
Parcela	5	1.708	0.3415	1.709	0.2201
Erro	10	1.998	0.1998		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

c) Serapilheira

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	7.646	3.823	10.514	0.00348
Parcela	5	2.897	0.579	1.593	0.24790
Erro	10	3.636	0.364		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

d) Solo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	165	82.50	1.936	0.195
Parcela	5	630	125.99	2.957	0.068
Erro	10	426.1	42.61		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

e) Raiz

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	6.951	3.476	9.404	0.00504
Parcela	5	1.462	0.292	0.791	0.57943
Erro	10	3.696	0.370		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

4. Concessão florestal

a) Componente arbórea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2.478	1.2388	9.238	0.00534
Parcela	5	0.430	0.0860	0.641	0.67421
Erro	10	1.341	0.1341		
Total	17				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

b) Componente herbácea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	3.196	1.5980	5.257	0.0275
Parcela	5	0.784	0.1568	0.516	0.7591
Erro	10	3.040	0.3040		
Total	17				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

c) Serapilheira

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	3.786	1.8928	6.818	0.0136
Parcela	5	2.270	0.4540	1.635	0.2374
Erro	10	2.776	0.2776		
Total	17				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

d) Solo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	1752	875.8	4.482	0.0408
Parcela	5	1866	373.1	1.909	0.1797
Erro	10	1954	195.4		
Total	17				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

e) Raiz

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2.3395	1.1698	12.241	0.00205
Parcela	5	0.3097	0.0619	0.648	0.66959
Erro	10	0.9556	0.0956		
Total	17				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

5. Reserva florestal

a) Componente arbórea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	863770	431885	2.066	0.189
Parcela	4	2271615	567904	2.717	0.107
Erro	8	1672206	209026		
Total	14				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

b) Componente herbácea

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	0.0009	0.00045	0.011	0.989
Parcela	4	0.0185	0.00464	0.114	0.974
Erro	8	0.3244	0.04055		
Total	14				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

c) Serapilheira

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	20.27	10.135	2.371	0.155
Parcela	4	41.38	10.334	2.420	0.134
Erro	8	34.19	4.274		
Total	14				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

d) Solo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	82	41.2	0.139	0.8723
Parcela	4	3907	976.8	3.298	0.0709
Erro	8	2369	296.1		
Total	14				

Onde: **GL** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

e) Raiz

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	1280	640.2	1.926	0.208
Parcela	4	3314	828.4	2.492	0.126
Erro	8	2659	332.4		
Total	14				

Onde: **GI** - Graus de liberdade, **SQ** - Soma dos quadrados, **QM** - Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%.

6. Miombo

a) Análise de variância de carbono total no miombo

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Regimes de uso	2	3343	1671.5	26.58	0.0049
Níveis de cobertura	2	1807	903.5	14.37	0.0116
Erro	4	252	62.9		
Total	8	5402			

Onde: **GI**- Graus de liberdade, **SQ**- Soma dos quadrados, **QM**- Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%

b) Análise de variância de carbono total no miombo tendo em conta os níveis de cobertura

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Regimes de uso	2	9787	4893	18.31	1.77 e-06
Níveis de cobertura	2	15130	7565	28.30	1.43 e-08
Erro	43	11493	267		
Total	47	36410			

Onde: **GI**- Graus de liberdade, **SQ**- Soma dos quadrados, **QM**- Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%

7. Análise de variância de carbono total no para os três ecossistemas

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fcal.	Valor <i>p</i>
Níveis de cobertura	2	2540266	1270133	10.784	0.000361
Parcela	47	1822700	38781	0.329	0.999587
Erro	27	3180055	117780		
Total	77				

Onde: **GI**- Graus de liberdade, **SQ**- Soma dos quadrados, **QM**- Quadrado médio, **Fcal.** – Fisher calculado e nível de significância de 5%