



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE PROTECÇÃO VEGETAL

MESTRADO EM PROTECÇÃO VEGETAL

Distribuição de *Prosopis juliflora* (Sw.) DC e seu impacto no distrito de Chókwè



Autor

Francisco Fernando Munguambe

Supervisor

Prof. Doutor Tomás F. Chiconela

Co-supervisora

Professora Doutora Natasha Ribeiro

Maputo, Junho de 2023

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

Francisco Fernando Munguambe

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Protecção Vegetal, da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como um dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Protecção Vegetal, sob a supervisão do **Prof. Doutor Tomás Chiconela** e da **Professora Doutora Natasha Ribeiro**

Maputo, Junho de 2023

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro que esta dissertação com o tema “*Distribuição de Prosopis juliflora e seu impacto no distrito de Chókwè*” nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau em nenhuma instituição ou num outro âmbito, e que a mesma é resultado do meu trabalho individual, com a orientação dos meus supervisores.

Assinatura

(Francisco Fernando Munguambe)

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Fernando Munguambe (em memória) e Domingas Tambisse, pela educação dada durante todos anos da minha vida.

A minha Filha Ayana Domingas Munguambe, que sirva de inspiração para a sua trajectória académica

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, força e disposição concedida para concluir esta etapa;

Aos meus pais, Fernando Munguambe (*em memória*) e Domingas Tambisse, que incansavelmente procuram mostrar os verdadeiros caminhos a seguir na vida;

À minha esposa Glória Sambula, pela atenção e encorajamento que sempre demonstrou durante este percurso;

Às minhas irmãs: Fernanda Munguambe, Lika Munguambe e Zaida Munguambe, pelo apoio que sempre demonstraram ao longo desta trajetória;

Ao meu supervisor Prof. Doutor Tomás Chiconela, por despertar a minha atenção na área das invasões biológicas e pelo acompanhamento prestado na supervisão deste trabalho;

À minha co-supervisora Professora Doutora Natasha Ribeiro, por todo o apoio prestado na supervisão deste trabalho;

Aos meus tios, João R. Tambisse e Victorino R. Rungo, pela força e confiança transmitidas durante os anos da minha formação;

Ao corpo docente da Pós-graduação, pelos conhecimentos transmitidos durante os anos da minha formação;

Aos Senhores Aurélio Banze, Rafael Munguambe e Ailton Matlasse, pelo acompanhamento dado durante a colecta de dados no campo;

Aos Eng^{os}. Faruk Mamugy e Sá Nogueira, por terem concedido o seu tempo para o esclarecimento de dúvidas sobre o processamento de imagens;

À Direcção Científica da UEM, pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Fundo Nacional de Investigação (FNI), através do projecto “*Invasive Alien Plants (IAPs) for eco-friendly energy: from environmental problem to economic asset*” por ter disponibilizado fundos para a colecta de dados de campo;

Aos colegas da turma de Protecção Vegetal: Beatriz Daniel, Mirene Mussumbe e Badrodines António, pela troca de experiência durante os anos da formação e,

A todos que directa ou indirectamente colaboraram para a concretização deste trabalho, o meu **MUITO OBRIGADO.**

RESUMO GERAL

Actualmente, as invasões biológicas constituem a maior ameaça de perda da biodiversidade no mundo, para além de causar prejuízos à economia e riscos à saúde humana. Em Moçambique, essas ameaças já são evidentes, dada a presença da *Prosopis juliflora*, uma espécie classificada como uma das 100 piores invasoras do mundo. Não obstante este facto, não existem no país, estudos sobre a sua real distribuição e impactos, quer económicos, assim como ecológicos. Deste modo, foi conduzida a presente pesquisa, com o objectivo de apurar a distribuição e impactos desta espécie sobre espécies vegetais no distrito de Chókwè. Para o efeito, foram marcados 143 pontos ao longo das estradas do distrito, numa equidistância de 2-3 km, dependendo da acessibilidade. Em cada ponto foi estabelecida uma parcela amostral de 1000 m² para a colecta da informação relativa à *P. juliflora* e, 10 quadrículas de 1 m² para a vegetação herbácea localizada debaixo da copa desta planta. As variáveis de análise para a *P. juliflora* foram: frequência, abundância, diâmetro, altura, número de indivíduos e para a vegetação herbácea, a frequência relativa, abundância relativa, cobertura relativa, índice de valor de importância, riqueza, diversidade de Shannon e Simpson. Foi usado o *Maxent v.3* para avaliar as áreas propensas à invasão por *P. juliflora* recorrendo-se aos dados de presença da mesma. Os resultados indicaram uma frequência de *P. juliflora* de 67%, com uma abundância que variou de baixa a muito abundante, com uma cobertura de 5% até mais de 75%. Foi registado um elevado número de indivíduos com diâmetro abaixo de 5 cm; presença da *P. juliflora* em todos os tipos de solos e vegetação, com excepção dos arenosos e floresta densa, respectivamente. As áreas invadidas tiveram uma grande expansão com o tempo, com provável início o ano 2013, tendo as áreas residências como principais focos de dispersão. Actualmente, a área potencialmente propensa à invasão por esta espécie, no país, é estimada em cerca de 54,6%, podendo chegar até 63,9% em 2080, no caso de não se tomar medidas visando o seu controlo. Quanto ao impacto na vegetação, o estudo revelou uma redução de espécies quando se compara as áreas não invadidas (51) com as invadidas (16), com um índice de Shannon-Wiener de 28,65 contra 12,91, respectivamente.

Palavras-chave: *Prosopis juliflora*, diversidade de espécies, mudanças climáticas

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTO	iii
RESUMO GERAL	iv
LISTA DE TABELAS	viii
CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.1. Problema de estudo e Justificação	2
1.2. Objectivos.....	4
1.2.1. Geral... ..	4
1.2.2. Específicos.....	4
1.3. Questões de estudo	5
CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Breve descrição das invasões biológicas.....	6
2.2. Impacto das invasões biológicas no mundo	7
2.3. <i>Prosopis juliflora</i>	8
2.3.1. Biologia, habitat e crescimento	8
2.4. Origem, distribuição actual e potencial de <i>P. juliflora</i>	10
2.5. Ecologia de <i>P. juliflora</i>	13
2.6. Dispersão de <i>P. juliflora</i>	15
2.7. Usos gerais de <i>P. juliflora</i>	16
2.8. Impactos da <i>P. juliflora</i>	17
2.8.1. Impactos no homem e nos animais.....	18
2.8.2. Impactos nas áreas agrícolas e pastagens	19
2.8.3. Impacto nos cursos de água	19
2.8.4 Impactos na biodiversidade de espécies	20
2.9. Medidas de manejo da <i>P. juliflora</i>	20
2.9.1. Medidas preventivas.....	21
2.9.2. Medidas directas de controlo.....	21
CAPÍTULO III. Avaliação da distribuição espacial de <i>P. juliflora</i> nas diferentes áreas do distrito.....	24

3.1. INTRODUÇÃO.....	25
3.2. METODOLOGIA.....	27
3.2.1. Localização da área de estudo	27
3.2.2. Condições edafo-climáticas e vegetação do distrito de Chókwè.....	28
3.3. Levantamento de <i>P. juliflora</i>	29
3.4. Avaliação da expansão da invasão com o tempo (2010-2021) e focos iniciais da introdução da <i>P. juliflora</i>	31
3.5. Identificação das áreas potencialmente propensas à invasão de <i>P. juliflora</i> , actualmente e no futuro (2050 e 2080).....	32
3.5.1. Variáveis ambientais.....	33
3.5.2. Cenários climáticos	34
3.5.3. Validação do Modelo.....	34
3.6. Variáveis analisadas	35
3.7. Análise de dados	38
3.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.8.1 Avaliação da distribuição de <i>P. juliflora</i> no distrito de Chókwè.....	39
3.8.2. Distribuição diamétrica e altura de <i>P. juliflora</i>	42
3.8.3. Distribuição da <i>P. juliflora</i> nos diferentes tipos de solo	44
3.8.4. Distribuição da <i>P. juliflora</i> nos diferentes usos e cobertura do solo	46
3.8.5. Mudança de cobertura do solo e focos iniciais da invasão de <i>P. juliflora</i> ao longo do tempo.....	49
3.8.6. Focos iniciais de <i>P. juliflora</i> no distrito de Chókwè	51
3.8.7. Análise da distribuição actual e futura de <i>P. juliflora</i> em Moçambique	55
3.8.8. Avaliação da contribuição das variáveis para o modelo.....	58
3.8.9. Avaliação das áreas potencialmente propensas para invasão da <i>P. juliflora</i> para os anos 2022, 2050 e 2080	60
3.9. CONCLUSÕES	63
CAPÍTULO IV. Avaliação do impacto de <i>P. juliflora</i> sobre a diversidade florística no distrito de Chókwè.....	64
4.1. INTRODUÇÃO.....	65
4.2. METODOLOGIA.....	67
4.2.1. Descrição do local de estudo	67

4.2.2. Avaliação do impacto de <i>P. juliflora</i> na diversidade de espécies	68
4.2.3. Identificação das espécies.....	68
4.2.4. Parâmetros fitossociológicos avaliados	69
4.2.5. Determinação dos índices de diversidade florística	71
4.3. Análise de dados.....	72
4.4. Resultados e discussão.....	73
4.4.1. Composição florística da área de estudo	73
4.4.2. Análise da composição florística entre as áreas invadidas e não invadidas por <i>P. juliflora</i>	76
4.4.3. Diversidade de espécies nas duas áreas (Invadida e Não invadida).....	80
4.5. CONCLUSÕES.....	84
CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	85
5.1. Conclusões.....	85
5.2. Recomendações	86
5.3. Constrangimentos do estudo.....	86
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
7. ANEXOS	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis climáticas e não climáticas seleccionadas para o uso no modelo.....	33
Tabela 2. Escala de abundância e estimativas de cobertura usadas na avaliação de espécies de plantas exóticas invasoras.....	37
Tabela 3. Resultados dos testes de validação do modelo	56
Tabela 4. Percentagem de contribuição das variáveis de estudo para o modelo	58
Tabela 5. Percentagem da área potencialmente propensa para a invasão <i>P. juliflora</i> , no presente e no futuro (2050 e 2080) num cenário de mudanças climáticas (A1B e A2)	60
Tabela 6. Relação das espécies distribuídas por famílias.....	73
Tabela 7. Resumo da distribuição do género e espécies por famílias	75
Tabela 8. Composição florística da área não invadida pela <i>P. juliflora</i> em ordem do seu valor de importância (IVI).....	77
Tabela 9. Resultados fitossociológicos da área invadida pela <i>P. juliflora</i> em ordem do seu valor de importância (IVI).....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de um processo de invasão biológica	7
Figura 2. Diferentes fisionomias e alturas de <i>P. juliflora</i>	9
Figura 3. <i>P. juliflora</i>	10
Figura 4. Distribuição de <i>P. juliflora</i> no mundo	11
Figura 5. Rotas de introdução de <i>P. juliflora</i> pelo mundo	12
Figura 6. Áreas com potencial para a adaptação da <i>P. juliflora</i>	13
Figura 7. Invasão de <i>P. juliflora</i> numa área agrícola abandonada (a) e bermas da estrada (b) no distrito de Chókwè.....	13
Figura 8. Caprinos consumindo vagens de <i>P. juliflora</i> (a) e curral de gado com crescimento da <i>P. Juliflora</i> (b).....	15
Figura 9. Localização da área de estudo.....	27
Figura 10. Disposição das parcelas ao longo da estrada.....	30
Figura 11. Pontos de levantamento de <i>P. juliflora</i>	31
Figura 12. Área selecionada para avaliar a evolução da invasão com o tempo	32
Figura 13. Frequência absoluta de <i>P. juliflora</i>	39
Figura 14. Abundância e cobertura de <i>P. juliflora</i>	39
Figura 15. Distribuição espacial da abundância e cobertura de <i>P. juliflora</i> no distrito de Chókwè	40
Figura 16. Densidade absoluta de <i>P. juliflora</i> por classes de altura, com diâmetro ≥ 5 cm.....	42
Figura 17. Densidade absoluta de <i>P. juliflora</i> por classes de diâmetro.....	42
Figura 18. Distribuição da <i>P. juliflora</i> nos diferentes tipos de solo	44
Figura 19. Distribuição dos pontos de ocorrência de <i>P. juliflora</i> nos diferentes tipos de solo	45
Figura 20. <i>P. juliflora</i> nos diferentes tipos de uso e cobertura de solo	47
Figura 21. Evolução da invasão de <i>P. juliflora</i> no Posto Administrativo de Macarretane, entre os anos 2010 e 2021	49
Figura 22. Árvores de <i>P. juliflora</i> usadas como sombra numa área próxima à área invadida	51
Figura 23. <i>P. juliflora</i> usada como cerca do curral e caprinos alimentando-se das vagens a caminho das áreas de pastagem	53
Figura 24. Diâmetro de <i>P. juliflora</i> nas áreas residenciais e invadidas.....	53
Figura 25. Altura de <i>P. juliflora</i> nas áreas residenciais e invadidas.....	53

Figura 26. Proximidade das áreas invadidas com as residências	55
Figura 27. Curvas ROC (Receiver operating characteristic) para os dados teste, AUC (vermelho), desvio padrão (azul) e previsão aleatória (preto), para 2022 (A), 2050 (B e C) e 2080 (D, E) nos cenários A1B e A2, respectivamente.....	57
Figura 28. Áreas potencialmente propensas para à invasão de <i>P. juliflora</i> em Moçambique, actualmente e no futuro, num contexto de mudanças climáticas	61
Figura 29. Áreas seleccionadas para a condução do estudo	67
Figura 30. Levantamento da vegetação herbácea nas áreas não invadidas (A) e invadidas (B) ...	68
Figura 31. Curvas de rarefação e extrapolação baseadas no número de indivíduos (a) e cobertura amostral (b) com intervalos de confiança 95% (área sombreada), para as áreas invadidas e não invadidas, separadamente por ordem de diversidade: q= 0 (riqueza de espécie), q=1 (diversidade de Shannon) e q=2 (diversidade Simpson).....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Composição florística da área não invadida pela <i>P. juliflora</i> em ordem do seu valor de importância (IVI).....	102
Anexo 2. Resultados fitossociológicos da área invadida pela <i>P. juliflora</i> em ordem do seu valor de importância (IVI).....	103
Anexo 3. Variáveis bioclimáticas.....	104
Anexo 4. Ficha de levantamento da vegetação arborea e arbustiva.....	105
Anexo 5. Ficha de distribuição de <i>P. Juliflora</i>	106
Anexo 6. Ficha de levantamento da vegetação herbácea.....	107
Anexo 7. Teste Chi-quadrado, presença de <i>P. juliflora</i> e tipo de solo.....	108
Anexo 8. Teste Chi-quadrado, presença de <i>P. juliflora</i> e tipo de vegetação.....	108
Anexo 9. ANOVA do diâmetro nos postos administrativos estudados.....	108
Anexo 10. ANOVA da altura nos postos administrativos estudados.....	109
Anexo 11. ANOVA do diâmetro de <i>P. juliflora</i> nas áreas invadidas e residencias.....	109
Anexo 12. ANOVA da altura de <i>P. juliflora</i> nas áreas invadidas e residenciais.....	110
Anexo 13. ANOVA da diversidade entre área invadida e não invadida.....	110
Anexo 14 ANOVA da uniformidade entre area invadida e não invadida.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS

CABI	Centre for Agriculture and Bioscience International
CDB	Convenção sobre a Conservação da Biodiversidade
EPPO	European Plant Protection Organization
GISP	Global Invasive Species Programme
ICUN	International Union for Conservation of Nature
INE	Instituto Nacional de Estatística
INGC	Instituto Nacional de Gestão de Calamidades
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAE	Ministério da Administração Estatal
MIROC-H	Center for Climate Research, Japan
MITADER/MTA (actualmente)	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural/Ministério da Terra e Ambiente
PEDD	Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito

ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em sete capítulos, dos quais, o primeiro faz uma introdução geral sobre as invasões biológicas, incluindo o problema de estudo e sua justificação, o objectivo geral, específico e as questões de estudo. O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica sobre as espécies invasoras, dando ênfase à *P. juliflora*, seus impactos e medidas de controlo.

O terceiro e o quarto capítulo correspondem, respectivamente ao primeiro e segundo artigo para submissão na revista científica da UEM. Nestes artigos, o primeiro procura responder os três primeiros objectivos específicos do estudo (distribuição, focos de introdução e áreas propensas à invasão pela *P. juliflora* no país) e o segundo responde ao último objectivo específico do estudo (impacto na diversidade de espécies).

O quinto capítulo é referente às conclusões e recomendações, enquanto o sexto e sétimo, correspondentes às referências bibliográficas e anexos, respectivamente.

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Antecedentes

A diversidade de plantas terrestres desempenha um papel bastante fundamental no que se refere aos serviços ecológicos, como a protecção da linha da costa, a purificação do ar, fertilização do solo, regulação climática, sequestro do carbono atmosférico, entre outras de utilidade humana (UNEP, 2006). Contudo, nos dias actuais, a terra enfrenta uma das maiores crises da perda da biodiversidade já reportada (CDB, 2010). Segundo Leão *et al.* (2011), estas perdas serão mais intensas nas próximas décadas, sobretudo em regiões com alta biodiversidade, onde o uso da terra é mais intensivo.

De acordo com a Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB, 2010), dentre as mais de 47 mil espécies avaliadas em relação ao risco de extinção em escala global, mais de um terço (36%) corre riscos reais de desaparecerem, caso as ameaças à biodiversidade não sejam controladas. Segundo Leão *et al.* (2011), duas grandes variáveis contribuem para a ocorrência dessas perdas, sendo a primeira, a conversão de áreas naturais por actividades humanas, para a expansão das áreas agrícolas, construções de rodovias, incêndios, entre outros, e a segunda maior causa da perda de biodiversidade no mundo é a invasão por espécies exóticas.

Oliveira e Machado (2009), referem que o processo de globalização, associado à expansão do comércio mundial, contribuiu bastante para a quebra de barreiras ecológicas, resultando no aumento expressivo das ocorrências de introdução de espécies exóticas. Estes autores consideram ainda, que a princípio, a entrada de uma nova espécie em um ambiente, poderia ser considerada como um aspecto bastante positivo, por representar um incremento à biodiversidade local. Contudo, as espécies exóticas invasoras caracterizam-se pela relação negativa e consequente impacto sobre componentes do ambiente, dada a ausência dos seus inimigos naturais nesses locais (Boy & Witt, 2013; McNeely *et al.* 2001).

Contrariamente a muitos problemas ambientais que tendem a diminuir ao longo do tempo, as invasões de espécies exóticas multiplicam-se cada vez mais. Isso resulta em impactos de longo prazo, o que significa que os ecossistemas afectados não conseguem se recuperar naturalmente (Westbrooks, 1998).

Pimentel *et al.* (2000) estimaram que os impactos e custos de manejo associados às espécies invasoras no mundo chegam a US\$ 1,5 trilhão anualmente, o que equivale a cerca de 5% do PIB mundial. Já em 2017, Zenni *et al.* (2021) estimaram que o custo económico das invasões biológicas ao redor do mundo é de aproximadamente US\$ 2,3 trilhões. Esses estudos apontam para uma crescente intensificação dos impactos das invasões biológicas ao longo do tempo.

Em Moçambique, as invasões biológicas têm-se mostrado um problema evidente, e um dos casos mais recentes foi da introdução da doença do mal do Panamá, que devastou cerca de 1500 hectares de plantações de banana na empresa Matanusca em 2013. Esse evento levou à falência da empresa e ao desemprego de mais de 2 mil trabalhadores, como relatado pelo jornal O País em 2018.

Apesar da relevância dos impactos das invasões biológicas, existem poucos estudos sobre o assunto no país, com a maioria deles concentrando-se na distribuição de espécies invasoras de plantas em áreas de conservação e bermas das estradas. Esses estudos incluem o trabalho de Terblanche *et al.* (2022) na Reserva Especial de Maputo, Lisboa *et al.* (2022) na Reserva Florestal de Moribane, Pagule (2016) no Parque Nacional de Limpopo e Zavale (2018) na estrada circular de Maputo. Relativamente a outras áreas, como agricultura, pastagens, residências, etc, pouco se sabe sobre as plantas invasoras e seus impactos.

1.1. Problema de estudo e Justificação

Moçambique é um país rico em recursos naturais e possui uma biodiversidade significativa. Assim como outros países em desenvolvimento, grande parte da população moçambicana, especialmente a rural, depende fortemente dos recursos naturais para garantir sua subsistência (MITADER, 2015). Contudo, ao longo das últimas décadas tem havido uma rápida expansão de espécies exóticas invasoras de plantas que ameaçam a biodiversidade e a subsistência de algumas comunidades, em especial nas áreas de conservação (Terblanche *et al.* 2022; Lisboa *et al.* 2022), assim como nas áreas agrícolas e bermas das estradas (Zavale, 2018).

Uma das prováveis razões das ameaças por espécies invasoras, está associada à fraca monitoria destas, sobretudo nas principais vias de entrada, a urbanização, actividades económicas, assim

como ao advento das mudanças climáticas, que são reconhecidas como factores que contribuem para a sua proliferação (UNEP, 2006).

Actualmente, na base de dados da CABI (*Compendium of invasive species*), consta que em Moçambique ocorrem 343 espécies invasoras de plantas (CABI, 2023), e deste número, 23 estão na lista das 100 piores espécies invasoras do mundo (GISD, 2023), onde consta a espécie *Prosopis juliflora*, popularmente conhecida por *Mesquite* ou *Algaroba*. Esta espécie é originária da América Central e do Sul e a partir destes centros de origem espalhou-se pelo mundo, incluindo alguns países de África (Paisechnik *et al.*, 2001). Na Etiópia por exemplo, foi introduzida na década de 1970 pelo Ministério da Agricultura como pasto para o gado, e com o tempo, invadiu rapidamente vastas áreas agrícolas e de pastagem, afectando tanto a biodiversidade quanto o ambiente socioeconómico (Abdulahi *et al.*, 2017).

Segundo Muturi *et al.* (2012), a *P. juliflora* é muito conhecida por seu efeito alelopático que pode causar a inibição da germinação de sementes de outras espécies de plantas que se encontram à sua volta. Nas áreas de pastagem, é apontada por reduzir a diversidade total das gramíneas forrageiras, sua abundância, distribuição e produtividade, levando ao abandono das áreas, por parte dos pastores que dependem exclusivamente de pastagens naturais para a alimentação do seu gado (Hundessa & Fufa, 2016; Asenafi, 2008; Berhanu & Tesfaye, 2006).

Em Moçambique, não há registo sobre a introdução da *P. juliflora*, contudo, presume-se que terá ocorrido no mesmo período que a mesma foi difundida em vários países africanos. Segundo Boy e Wiit (2013), entre as décadas de 1970 e 1980, houve um programa de reflorestamento baseado no uso de *P. juliflora*, financiado por agências internacionais, e estava na ordem do dia dos governos em toda a África, que incentivaram as comunidades pobres em zonas áridas com excesso de pastagem degradadas para plantar espécies exóticas de *P. juliflora* com propósito de melhoria de vida. Segundo Walter (2011), as vagens dessa planta são utilizadas na produção de ração para o gado, sendo bastante económico para os produtores, quando comparada com outras rações comerciais.

De acordo com Boy e Wiit (2013), espécies como *P. juliflora* mostraram-se benéficas no início, enquanto as densidades eram baixas, e em quase todos os casos, os benefícios advindos das mesmas foram com o tempo ofuscados pelos seus impactos negativos e invasivos, o que levou a

União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) a classificá-las como uma das “100 piores” espécies invasivas do mundo.

No país, são evidentes manchas da presença desta espécie em alguns distritos, como Chókwè, Xai-Xai e Moamba. No entanto, pouco se sabe sobre a sua real distribuição, rotas de dispersão e impactos associados, o que deixa uma lacuna de conhecimento para a implementação de medidas visando o seu controlo. Além disso, quanto mais infestada estiver a área, mais recursos serão necessários. A título de exemplo, estimativas de custos feitas por Wise *et al.* (2012) indicaram que para o controlo de *P. juliflora* em uma área altamente infestada (1,47 milhões de hectares) na região norte da província de Cape Town, na África do Sul, os custos foram de aproximadamente US\$ 3,5 a US\$ 15,3 milhões.

De acordo com a CDB (2010), da qual Moçambique é signatário, foi estabelecido que os “países devem prevenir e impedir a entrada de espécies exóticas em novos ambientes, assim como controlar ou erradicar espécies exóticas invasoras que ameacem os ecossistemas, habitats ou espécies”. MITADER (2015) aponta que uma das metas traçadas na estratégia e plano de acção para a conservação da diversidade biológica em Moçambique, é reduzir em pelo menos 10% a área de ocorrência de espécies invasoras e estabelecer estratégias de manejo dos seus impactos até 2025. Nesse sentido, este estudo procura contribuir com informação que poderá auxiliar no desenho e implementação de estratégias ou programas de contenção da *P. juliflora* no país, a fim de evitar sua proliferação e prevenir perdas futuras da vegetação nativa.

1.2. Objectivos

1.2.1. Geral

➤ Analisar a distribuição e o impacto da invasão de *Prosopis juliflora* (Sw) sobre a diversidade florística no distrito de Chókwè.

1.2.2. Específicos

- Avaliar a distribuição espacial de *P. juliflora* nos diferentes tipos de uso e cobertura do solo do distrito;
- Avaliar a expansão da invasão com o tempo (2010-2021) e os focos iniciais da introdução de *P. juliflora*

- Identificar zonas potencialmente propensas à invasão de *P. juliflora*, actualmente e no futuro (2050 e 2080), a nível nacional
- Comparar a composição florística entre as áreas invadidas e não invadidas por *P. juliflora*

1.3. Questões de estudo

1. Como é que a *P. juliflora* encontra-se distribuída no distrito de Chókwè?
2. Qual foi o comportamento da invasão de *P. juliflora* com o tempo no distrito de Chókwè e os prováveis focos iniciais da sua dispersão?
3. Será que a *P. juliflora* está no seu limite actual de distribuição potencial?
4. Será que o limite de distribuição potencial da *P. juliflora* permanecerá o mesmo, caso o clima mude?
5. Qual é o impacto da presença da *P. juliflora* na composição florística no distrito de Chókwè?

CAPÍTULO II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Breve descrição das invasões biológicas

De acordo com Richardson (2011), a teoria das invasões biológicas data desde o final do século XIX, quando foi formulado pela primeira vez por notáveis naturalistas, como Charles Darwin, Alphonse de Candolle, Joseph Hooker e Charles Lyell, que procuravam alertar sobre os impactos que podem surgir quando determinadas espécies são introduzidas numa região. Contudo, foi por volta de 1980 que a comunidade científica percebeu o grande problema que as invasões biológicas representavam, após a publicação do livro “*The Ecology of Invasions by animals and plants*” de Charles Elton em 1958 (Pivello, 2011).

Actualmente, as invasões biológicas são reconhecidas como uma das principais ameaças à biodiversidade do planeta (CDB, 2010). Além disso, elas impõem enormes custos à agricultura, silvicultura, pesca e outros empreendimentos humanos, bem como na saúde (Boy & Witt, 2013; McNeely *et al.* 2001). Segundo Duarte e Silva (2016), estas são definidas como fenómenos resultantes da introdução accidental ou não de espécies exóticas (plantas, animais ou microorganismos) em um ambiente fora da sua distribuição natural.

As espécies exóticas invasoras são assim consideradas, pois, uma vez introduzidas possuem capacidade de expandir a sua população, de forma significativa, sem que haja intervenção humana, ameaçando assim as espécies nativas, ou mesmo eliminá-las completamente (McNeely *et al.* 2001). Este feito, consegue-se devido à alta capacidade competitiva destas comparativamente às espécies nativas e também, pela vantagem de não possuírem, em muitos casos, inimigos naturais (Boy & Witt, 2013; Shiferaw *et al.*, 2004). Contudo, Marchante *et al.* (2005) e Richardson *et al.* (2000), afirmam que nem todas as espécies exóticas se tornam invasoras após a introdução, apenas algumas dentre elas conseguem se estabelecer com sucesso além do local da sua introdução inicial (Figura 1). Ribeiro e Campos-Farinha (2005), referem que entre 2 a 40% das espécies introduzidas chegam a prosperar fora do seu habitat, e dessas, apenas 1% chegam a se tornar invasoras.

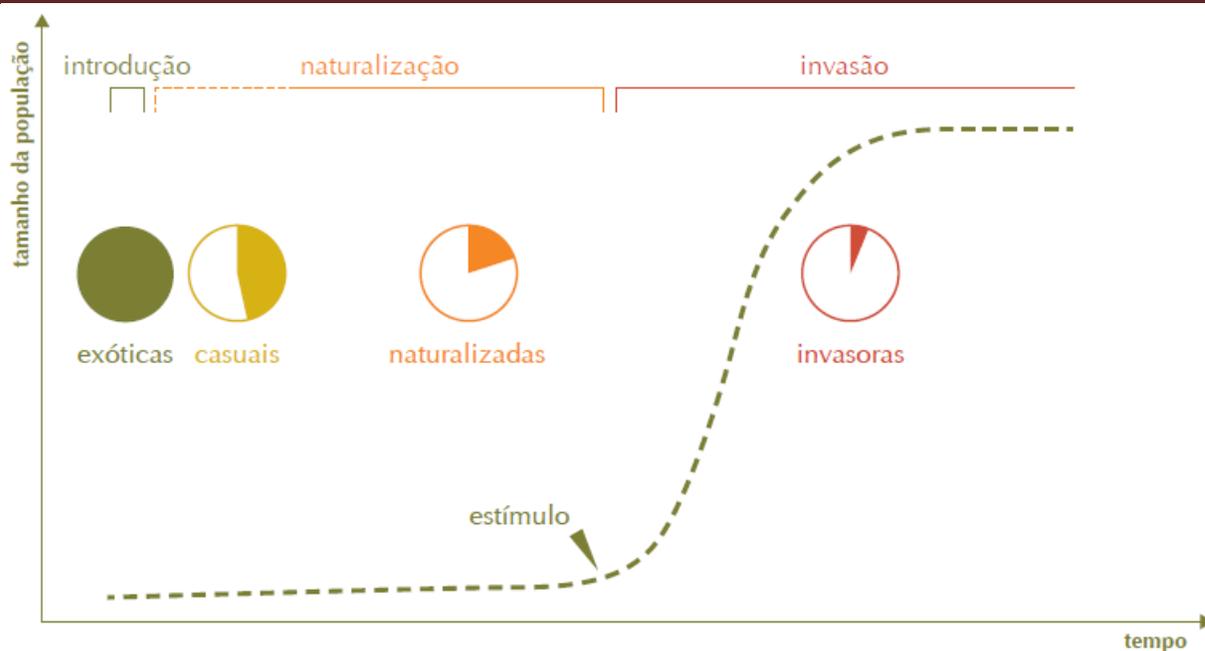


Figura 1. Etapas de um processo de invasão biológica
Fonte: Marchante, 2014.

Segundo Booth, *et al.* (2003), o insucesso no estabelecimento de algumas espécies pode ser resultante, tanto de factores ambientais inadequados para o desenvolvimento da população, como de factores bióticos, principalmente a predação, competição, parasitismo e doenças.

2.2. Impacto das invasões biológicas no mundo

As espécies invasoras, uma vez estabelecidas podem acarretar um custo bastante elevado para o seu controlo (Zenni *et al.*, 2021). Um estudo realizado por Pimentel *et al.* (2005) indicou que nos EUA, os danos ambientais e as perdas causadas por espécies invasoras totalizaram cerca de US\$ 120 bilhões por ano. Enquanto isso, Hulme *et al.* (2009) estimaram que a União Europeia gastou cerca de US\$ 13 bilhões de euros por ano para combater o problema das espécies invasoras. No entanto, os mesmos autores afirmam que este valor é subestimado, já que os potenciais impactos económicos e ambientais ainda são desconhecidos para quase 90% das espécies invasoras encontradas na Europa.

No continente asiático, os custos económicos de invasões biológicas entre 1965 e 2017 foram estimados em US\$ 432,6 biliões (em 2017), com aumentos dramáticos em 2000-2002 e em 2004

(Liu *et al.*, 2021). Já no continente africano, os custos relativos às invasões variaram entre US\$ 18,2 bilhões e US\$ 78,9 bilhões entre 1970 e 2020 (Diagne *et al.*, 2021).

Em Moçambique, estudos sobre os impactos das invasões biológicas são escassos, sendo que os poucos feitos nos últimos anos incidiram sobre algumas espécies como a mosca da fruta (*Batrocera invadens*), lagarta do milho (*Spodoptera frugiperda*) e a doença do mal do Panamá (*Fusarium oxysporum f. sp. cubense* raça 4 tropical). Esta última levou a empresa Matanuska, na zona norte do país, com mais de 1500 ha de produção de banana a declarar insolvência, levando ao desemprego de mais de 2 mil trabalhadores (*Jornal o País*, 16.03.2018).

Das espécies invasoras existentes no mundo, as plantas estão em maior número e, com impactos económicos e ambientais elevados. De acordo com Hulme *et al.* (2009), mais de 11000 espécies exóticas que entraram na Europa, mais da metade são plantas terrestres e, de acordo com (GISD, 2023), das espécies classificadas como 100 piores espécies invasoras do mundo, 37 são plantas.

Segundo a CABI (2022), existem em Moçambique 343 espécies invasoras de plantas. Destas, 23 figuram na lista das 100 piores do mundo, como: *Acacia mearnsii*, *Arundo donax*, *Chromolaena odorata*, *Eichhornia crassipes*, *Euphorbia esula*, *Fallopia japonica*, *Imperata cylindrica*, *Lantana camara*, *Leucaena leucocephala*, *Ligustrum robustum*, *Lythrum salicaria*, *Mikania micrantha*, *Mimosa pigra*, *Opuntia stricta*, *Pinus pinaster*, *Prosopis spp*, *Psidium cattleianum*, *Pueraria montana*, *Rubus ellipticus*, *Schinus terebinthifolius*, *Spathodea campanulata*, *Sphagneticola trilobata* e *Tamarix ramosissima*. Contudo, não há estudos publicados sobre os impactos destas plantas no país.

2.3. *Prosopis juliflora*

2.3.1. Biologia, habitat e crescimento

Prosopis juliflora Swartz. é uma planta perene pertencente à família Fabaceae, subfamília Mimosoideae e gênero *Prosopis*. Actualmente, esse gênero conta com 44 espécies agrupadas em cinco secções e encontram-se distribuídas naturalmente nas regiões áridas e semi-áridas da Ásia (3 espécies), África (1) e nas Américas (40) (Pasiiecznik *et al.*, 2001; Tewari *et al.*, 2001; Burkart 1976).

Segundo Patnaik (2017), a *P. juliflora* normalmente atinge alturas de 12 m, mas também pode ir até 20 m em condições favoráveis (Dave & Bhandari, 2013). Contudo, existem também algumas variedades arbustivas com apenas 3 m de altura (Figura 2). Seja em forma de árvore ou como um arbusto, o seu tronco é curto e muitas vezes torto, podendo atingir um diâmetro de cerca de 0.65 a 1.2 m (Pasiiecznik *et al.*, 2001).

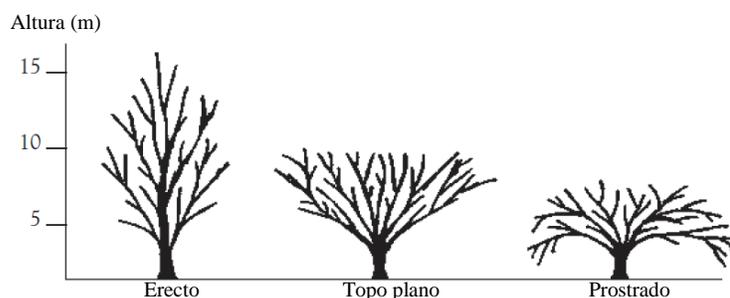


Figura 2. Diferentes fisionomias e alturas de *P. juliflora*

Fonte: Pasiiecznik *et al.*, (2001)

As folhas da *P. juliflora* são na sua maioria, glabras ou pubescentes e bipinadas com comprimento que varia de 3 a 11 cm. Os folíolos estão em 12 a 60 pares lineares, com tamanho variando de 6 a 23 mm de comprimento e 1,6 a 5,5 mm de largura (Burkart, 1976). As flores estão dispostas em espigas cilíndricas de 5 a 10 cm de comprimento e 1,5 cm de largura, situadas em cachos nas axilas das folhas ou solitárias. As vagens são semelhantes às do feijão, de cor amarelo palha e medindo de 10 a 20 cm de comprimento. Quando maduras, têm um sabor doce e contém 10–25 sementes ovais ou elípticas (2–7 mm de comprimento), muito duras e difíceis de extrair. Estima-se que um kg de vagens contém 4000–12500 sementes e uma árvore pode produzir de 35 a 75 kg de vagens/ano (a estimativa mais baixa é de 140.000 sementes/por ano/planta) (Chapman, 2019; Sandilyan, 2019; Walter, 2011; Pasiiecznik *et al.*, 2001).

Em geral, as sementes de *P. juliflora* são conhecidas pela sua dureza e longo período de dormência, podendo permanecer viáveis no solo por 2 a 10 anos e começarem a germinar apenas em condições favoráveis. De acordo com Pasiiecznik *et al.* (2001), a *P. juliflora* geralmente começa a florir e frutificar após 2-3 anos, dependendo das condições do local.

O sistema radicular da *P. juliflora* consiste em uma raiz profunda, chegando a atingir a profundidade incomum de 35 m, combinado com extensas raízes laterais (Walter, 2011).

Segundo Pasiecznik *et al.* (2001), as raízes de *P. juliflora* desenvolvem-se rapidamente após a germinação, atingindo uma profundidade de 40 cm, em 8 semanas.

A propagação desta espécie é através das sementes, cortes de raízes ou estacas. Contudo, o estabelecimento através da semente é difícil devido à dureza dos tegumentos que devem ser quebrados ou enfraquecidos para permitir a absorção da água e para que a germinação ocorra. Assim, há necessidade de procedimentos artificiais que consistem no pré-tratamento da semente através da imersão por 15-20 minutos em ácido sulfúrico seguido de uma lavagem completa em água fria ou por escarificação mecânica; 80-90% das sementes germinam em 4-6 dias (Shiferaw *et al.*, 2004; Pasiecznik *et al.*, 2001). Por outro lado, a passagem da semente pelo trato digestivo de diferentes espécies animais tem efeitos variados sobre a germinação, por meio da remoção do mesocarpo ou do endocarpo, ou de outros factores mecânicos ou químicos (Mohamed, 2014; Pasiecznik *et al.*, 2001).



Figura 3. *P. juliflora*
Fonte: EPPO, 2018

2.4. Origem, distribuição actual e potencial de *P. juliflora*

Segundo Pasiecznik *et al.* (2001), a *P. juliflora* é uma espécie nativa da América Central e do Sul, que se espalhou do sul do México ao Panamá e das ilhas do Caribe ao Norte da América do Sul. Foi globalmente introduzida nos últimos 200 anos e actualmente pode ser encontrada em várias zonas de clima árido e semi-árido, incluindo outras partes da América do Sul, Índia e Paquistão, Austrália e vários países da África, Península Arábica e Oriente Médio (Figura 4).



Figura 4. Distribuição de *P. juliflora* no mundo
Fonte: CABI, 2022

As introduções de *P. juliflora* foram na sua maioria intencionais, embora tenha havido algumas introduções acidentais transfronteiriças entre países vizinhos. Das razões por trás da sua introdução destacam-se: fornecimento de forragem e sombra nas zonas áridas da África do Sul e Austrália; para estabilização de dunas, reflorestamento e combustível, fornecimento de madeira no Sudão; para cerca viva no Malawi; fornecimento de lenha e forragem no Quênia; produção de lenha e reabilitação de solos degradados na Índia; para arborização local e cultivo ornamental (Shackleton *et al.*, 2014; Walter, 2011; Laxén, 2007).

Em África, as primeiras introduções de *P. juliflora* estão mal documentadas, mas há evidências de terem começado em 1822, no Norte do actual Senegal. Esta espécie já estava presente no Egípto no início de 1900 e foi introduzida no Sudão através do Departamento de Agricultura do Egípto e da África do Sul, em 1917. A provável fonte da entrada de *P. juliflora* na África do Sul foi a introdução de 23 lotes de sementes provenientes dos EUA/Havaí e do México entre 1897 e 1916 (Bokrezi, 2008; Laxén, 2007).

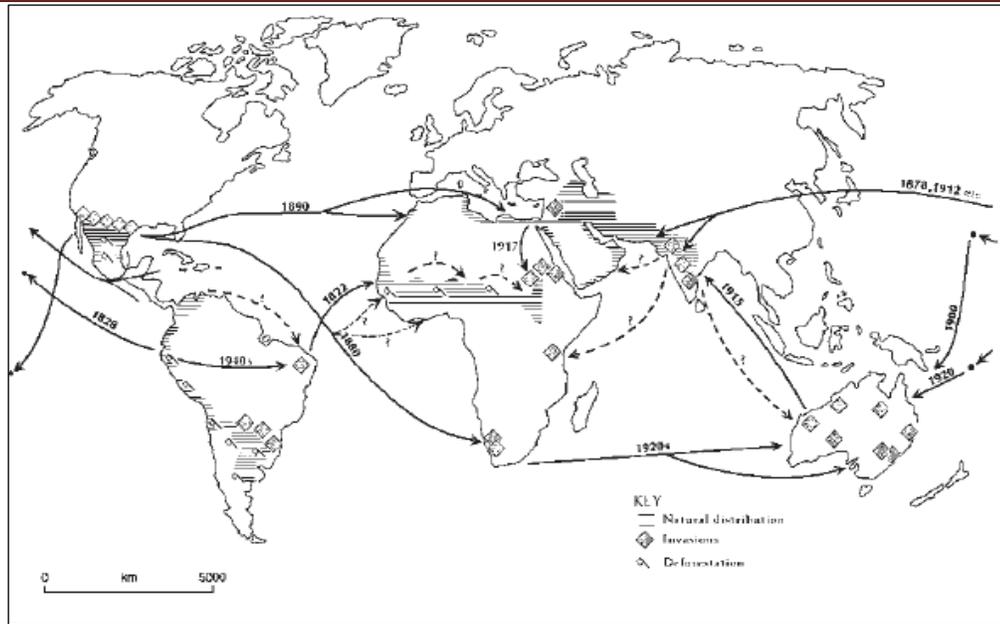


Figura 5. Rotas de introdução de *P. juliflora* pelo mundo

Fonte: Pasiecznik *et al.* (2001)

De acordo com Boy e Wiit (2013), entre as décadas de 1970 e 1980, houve um programa de reflorestamento baseado no uso de *P. juliflora*, financiado por agências internacionais de desenvolvimento, e estava na ordem do dia dos governos em toda a África, juntamente com várias ONGs, que incentivaram as comunidades pobres em zonas áridas com excesso de pastagem degradadas para plantar espécies exóticas de *P. juliflora* com o propósito de melhoria de vida, visto que as vagens da planta são fonte de alimento para gado. Wakie *et al.* (2012), relatam que numa entrevista aos membros duma comunidade na região de Afar na Etiópia indicaram que o plantio intencional de *P. juliflora* foi facilitado por várias organizações governamentais, incluindo o Ministério da Agricultura local.

Em Moçambique, não há informação sobre o período da introdução de *P. juliflora*, porém presume-se que foi no mesmo programa de reflorestamento que abrangeu muitos países africanos. Em relação a distribuição da mesma no país, as informações disponíveis na Flora de Moçambique relatam apenas existência dessa espécie, sem dar informação exacta da sua distribuição, por insuficiência de informação. Não obstante a insuficiência de informação sobre a sua distribuição no país, modelos de simulação sobre as zonas que oferecem condições favoráveis ao nível de África e do mundo (EPPO, 2018; Maundu, *et al.*, 2009), mostram que todo país apresenta uma alta probabilidade de adaptação desta espécie (Figura 6).

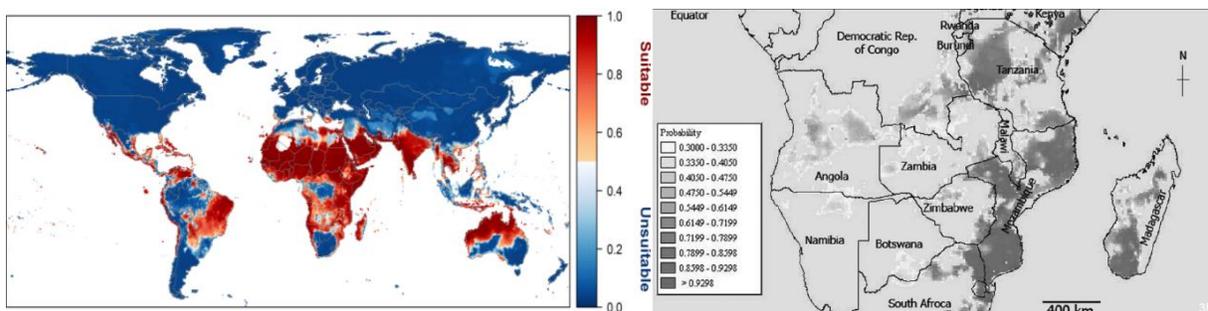


Figura 6. Áreas com potencial para a adaptação da *P. juliflora*
Fonte: EPPO, 2018 e Maundu *et al.*, 2009

2.5. Ecologia de *P. juliflora*

A *P. juliflora* pode desenvolver em regiões e ambientes muito diferentes uns dos outros. Nas zonas de origem e onde foi introduzida, esta espécie é encontrada em vários habitats, incluindo: terrenos baldios, florestas, pastagens naturais, áreas costeiras, pântanos e áreas urbanas (berma das estradas e residências). Nas regiões onde foi introduzida, em particular invade pastagens, podendo formar matas impenetráveis ao longo de centenas ou milhares de hectares, e invade terras agrícolas abandonadas (Figura7), podendo também invadir rapidamente campos não cultivados (Pasicznik *et al.*, 2001).



Figura 7. Invasão de *P. juliflora* numa área agrícola abandonada (a) e bermas da estrada (b) no distrito de Chókwè
Fonte: Autor

Em relação às condições climáticas, esta espécie desenvolve-se em ampla gama de zonas de precipitação, desde 100 mm de média anual ou menos em zonas costeiras secas a 1500 mm em zonas altas (até 1500 m), e com uma capacidade bem conhecida de tolerância às chuvas anuais

muito baixas (Pasiiecznik *et al.*, 2001). Embora possa desenvolver-se nessas condições, Alves *et al.* (2015) afirma que o melhor desenvolvimento produtivo para vagens ocorre em regiões que apresentam precipitação média anual em torno de 300-500 mm e humidade relativa entre 60-70%.

A temperatura média anual onde se encontra é geralmente acima de 20 °C, com temperaturas óptimas para crescimento na faixa de 20-30°C. Presume-se não haver limite superior natural para a temperatura, pois é conhecida por tolerar temperaturas diurnas de mais de 50 °C. A sua distribuição é muito limitada em zonas com temperaturas muito baixas e geadas (-5°C). Geadas leves causam a morte dos ramos, geadas mais fortes podem causar mortalidade completa do caule e geadas mais severas ou de longa duração podem causar a morte completa da planta (Pasiiecznik *et al.*, 2001).

Quanto ao tipo de solo, a *P. juliflora* pode crescer em solos que variam de arenoso, pedregoso, a argilosos pesados, podendo ser encontrada em zonas áridas, semiáridas até desérticas (Pasiiecznik *et al.*, 2001). Patnaik (2017) afirma que esta espécie pode tolerar solos alcalinos, com pH de 10,5 e com um nível de salinidade tão alto quanto o da água do mar.

A altitude não é um factor limitante directo, visto que na zona de origem é possível encontrá-la vegetando em altitudes abaixo de 200 m, menos comum entre 200 m e 500 m, e a frequência aumenta novamente acima disso, com algumas árvores encontradas até 1500 m altitude (Patnaik, 2017; Pasiiecznik *et al.*, 2004).

Para além das capacidades de adaptação, a *P. juliflora* possui aleloquímicos que contribuem para o sucesso da espécie na competição com plantas vizinhas (Muturi *et al.*, 2012). Os extractos de frutos e sementes apresentam grande fitotoxicidade que inibe o crescimento de plantas, restringindo a sua taxa e percentagem de germinação das sementes, crescimento de plântulas, bem como o crescimento radicular. Segundo Pasiiecznik *et al.* (2004), as folhas de *P. juliflora* contêm vários produtos químicos incluindo taninos, flavonóides, esteróides, hidrocarbonetos, ceras e alcalóide, que são bastante conhecidos por afectar a palatabilidade para o gado.

2.6. Dispersão de *P. juliflora*

A dispersão de sementes constitui um processo ecológico vital para a manutenção das espécies vegetais. De acordo com Howe e Smallwood (1982), uma grande porção de plantas na maioria das comunidades vegetais são dispersas por animais, sendo que nas florestas tropicais, 75% ou mais das espécies de árvores produz frutos carnudos atrativos ao consumo de pássaros ou mamíferos. A *P. juliflora* foi na sua maioria transportada para fora da sua zona de origem pelo homem, contudo, Abbas *et al.* (2018), afirmam que nas áreas onde está presente, a sua dispersão é feita na sua maioria por animais (Figura 8). De acordo com Souza *et al.* (1999), os bovinos, muares e caprinos, não são capazes de digerir totalmente as vagens de *P. juliflora*, que ao passar no seu intestino recebem um tratamento que aumenta o sucesso de germinação das sementes, promovendo assim a disseminação através estrume por um período de até 10 dias.

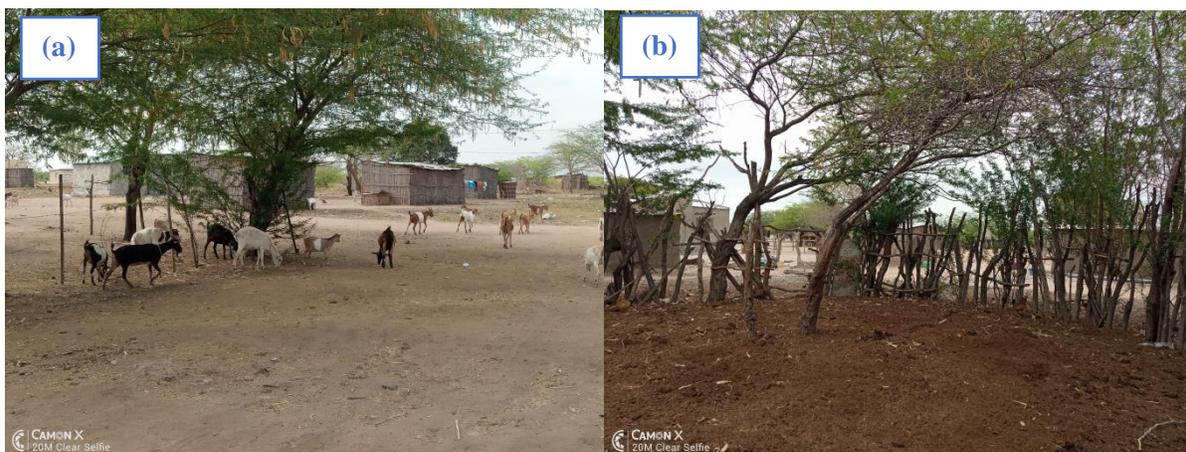


Figura 8. Caprinos consumindo vagens de *P. juliflora* (a) e curral de gado com crescimento da *P. juliflora* (b)
Fonte: Autor

Shiferaw *et al.* (2004), num estudo conduzido na Etiópia descobriu que um kg de vagens tinha 36000–37000 sementes e um kg de fezes de caprinos e bovinos poderia ter até 760 e 2833 sementes, respectivamente. Souza *et al.* (1999) no Brasil, revelaram uma percentagem média de germinação de sementes viáveis da *P. juliflora* em cerca de 37,3% para muares, 14,8% para bovinos e 9,3% para caprinos, sugerindo que esses animais são os principais agentes de dispersão dessa planta. Por sua vez, vagens ingeridas por ovelhas têm suas sementes destruídas parcialmente, enquanto as ingeridas por porcos são destruídas totalmente (Pasicznik *et al.*, 2001).

Abbas *et al.* (2018), avaliando o papel do camelo (*Camelus dromedarius*) como um potencial dispersor de sementes da *P. juliflora* no Egito, mostrou que a passagem de sementes através do intestino de camelo acelerou significativamente e aumentou a germinação desta em comparação com sementes não consumidas, em 48-75% e 15%, respectivamente.

Os rios e canais de água, desempenham também um papel significativo na disseminação de sementes para diferentes áreas, através do escoamento superficial, pois, pântanos, margens de estradas e canais de irrigação são altamente invadidos por *P. juliflora* (Abdulahi *et al.*, 2017).

2.7. Usos gerais de *P. juliflora*

A *P. juliflora*, apesar de ser classificada como uma das 100 piores espécies invasoras do mundo, segundo a IUCN (GISD, 2023), ela apresenta alguns benefícios, e parte destes contribuíram para a sua introdução massiva em diferentes países do mundo, o que levou por outro lado, a vários debates, se a mesma podia ser considerada uma benção ou planta maligna (Laxén, 2007).

De acordo com Andrade *et al.* (2009), em alguns países como Brasil, os órgãos governamentais, durante algumas décadas incentivaram o plantio de *P. juliflora* como mais uma alternativa tecnológica de convivência com a seca, fornecendo forragem para alimentação animal. De acordo com Vallejo *et al.* (2012) e Pasiecznik *et al.* (2001), a *P. juliflora* pode ter várias aplicações para o homem, animais e meio ambiente, onde está associada à melhoria das propriedades físico-químicas e biológicas do solo, aumentando a fertilidade por baixo da copa, através da fixação do nitrogênio e alguns casos reduzindo a salinidade do solo.

Um estudo conduzido por Del Valle *et al.* (1983), mostrou que as vagens de *P. juliflora* contêm 20-30 % de sacarose e cerca de 15% de proteína bruta. Estas podem ser usadas de várias maneiras, como ração animal sem causar nenhum efeito digestivo adverso quando usados adequadamente. Para Walter (2011), o seu uso como ração para o gado é bastante económico para os produtores, quando comparado com outras rações comerciais para animais, pois, para além da alta concentração de proteínas nas suas vagens, a *P. juliflora* é uma árvore que se adapta facilmente às condições semi-áridas, onde não exige muitos recursos para o seu crescimento.

P. juliflora é bastante usada em muitos países onde existe, como matéria-prima para muitos objectos. Na Índia, o uso mais comum é como lenha, especialmente entre a população pobre, sendo este o único recurso de aquecimento disponível, para preparar suas refeições, também como material para a construção de casas (Walter, 2011). No Quênia, as comunidades se beneficiaram muito com a venda de carvão e vagens de *P. juliflora* para forragem, impulsionando a economia local em algumas áreas em US\$ 1,5 milhões por ano (Choge *et al.*, 2012).

De acordo com Wise *et al.* (2012), as gomas colhidas das árvores de *P. juliflora* são importantes nas áreas alimentar, farmacêutica, química e indústrias manufactureiras. Em 2005, uma empresa sul-africana começou a produzir comprimidos orgânicos a partir das vagens, para o tratamento de diabetes. Segundo este autor, o lucro anual gerado a partir das vendas locais foi de US\$ 106.000. Singh *et al.* (2011) e Patnaik *et al.* (2017), referem que a *P. juliflora* apresenta também um potencial para ser usado como um pesticida botânico para o controlo de infestante, pragas e doenças.

2.8. Impactos da *P. juliflora*

Segundo Boy e Witt (2013), a maioria das espécies de *Prosopis* introduzidas acabaram por ser invasoras extremamente agressivas. Algumas espécies, mostraram-se serem benéficas no início, mas com o tempo os seus efeitos começaram a ser notáveis. Em algumas partes de África foi documentada uma taxa de invasão de mais de 15%, o equivalente a uma infestação duplicar o seu tamanho em um período de seis anos. As espécies de *Prosopis* introduzidas estão sendo disseminadas em toda a África. Na África do Sul, cobrem actualmente cerca de 1,8 milhões de hectares, enquanto no Quênia e na Etiópia cobrem 500.000 ha e 700.000 ha, respectivamente.

Um estudo sobre as percepções e práticas em relação ao manejo da invasão *P. juliflora* na África do Sul, revelou que os custos de manejo desta espécie podem variar de menos de US\$ 10 a mais de US\$ 500 por ha com base na densidades de invasão e objectivos de controlo (Shackleton *et al.*, 2015).

As invasões de *P. juliflora* também têm uma variedade de efeitos sociais, ecológicos e económicos negativos. Elas alteram os serviços ecossistêmicos, como abastecimento de água,

funcionamento das pastagens e qualidade do solo através da libertação de substâncias alelopáticas (Shackleton *et al.*, 2014; Dziki, 2013).

2.8.1. Impactos no homem e nos animais

Diferentes estudos mostram que a *P. juliflora* é conhecida por provocar lesões físicas em animais e no homem, que em alguns casos podem resultar na morte (Berhanu & Tesfaye 2006). Os seus espinhos causam coceira e feridas nas pernas e nas mãos, que podem resultar na amputação devido à infecção da ferida, para além de que podem ferir os olhos e causar cegueira (Abdulahi *et al.*, 2017; Mwangi & Swallow, 2008).

Os matagais da *P. juliflora*, em algumas aldeias onde ocorre constituem um abrigo preferido por leões e hienas para reprodução, para além de estar associado a casos de malária por abrigar os mosquitos (Abdulahi *et al.*, 2017; Mwangi & Swallow, 2008; Pasiiecznik *et al.*, 2001). Um experimento conduzido por Muller *et al.* (2017), no qual pretendiam analisar o efeito de *P. juliflora* em populações do mosquito, através da manipulação do habitat, constataram que nas aldeias onde os ramos floridos foram removidos houve uma queda de três vezes nas fêmeas do género *Anopheles*.

De acordo com Shackleton *et al.* (2014), Mwangi e Swallow (2008), em muitas partes da África, como o caso de Etiópia e Quênia, as invasões da *P. juliflora* afectaram a estrutura da comunidade rural, levando a um aumento da vulnerabilidade. Esta, inclui a perda das áreas de pastagem pelos criadores de gado, para além de violentos conflitos por recursos naturais limitados entre comunidades vizinhas, pois, em muitos casos a *P. juliflora* coloniza pequenas áreas agrícolas dos agricultores de subsistência, inutilizando-as totalmente.

Outro impacto negativo inclui a morte de gado causada por uma alta ingestão das vagens e das folhas de *P. juliflora* por longos períodos de tempo (Mwangi & Swallow 2008; Berhanu & Tesfaye, 2006). Segundo Berhanu e Tesfaye (2006), no gado ocorre uma intoxicação estomacal devido à incapacidade de digestão da celulose e, isso pode ser devido ao alto teor de açúcar da vagem que reduz a digestão da celulose do rúmen levando à morte do animal.

2.8.2. Impactos nas áreas agrícolas e pastagens

A *P. juliflora* tem um impacto negativo nas pastagens, porque responde positivamente ao sobrepastoreio, convertendo essas áreas em matas inutilizáveis que, para a sua reposição à condição inicial é uma tarefa muito difícil e ao mesmo tempo onerosa (Berhanu e Tesfaye, 2006). Nessas áreas, ocorre uma redução da diversidade total das gramíneas forrageiras, sua abundância, distribuição e produtividade, fazendo com que os pastores que dependem exclusivamente de pastagens naturais para a alimentação do seu gado, abandonem essas áreas (Hundessa & Fufa, 2016; Asenafi, 2008; Berhanu & Tesfaye, 2006). Segundo Muturi *et al.* (2012), *P. juliflora* é muito conhecida por seu efeito alelopático que pode causar a inibição da germinação de sementes de outras espécies de plantas que se encontram à sua volta.

Nas áreas agrícolas, as invasões de *P. juliflora* concorrem para a redução da área de cultivo e produtividade, e as suas raízes dificultam as operações de lavoura. Um estudo conduzido por Asenafi (2008), relata um impacto negativo de *P. juliflora* na produção agrícola em zonas de alta a média infestação, através da competição, desperdício de tempo e alto custo de mão-de-obra. Contudo, nas áreas de baixa infestação ou onde o crescimento da *P. juliflora* ocorre isoladamente, esta tem sido associada ao aumento do rendimento por hectare devido à capacidade que possui na fixação de nitrogénio e dessalinização dos solos (Pasiiecznik *et al.*, 2001).

2.8.3. Impacto nos cursos de água

De acordo com a EPPO (2018), embora a *P. juliflora* tenha ajudado a resolver o problema da erosão e desertificação, essa espécie é conhecida por provocar o esgotamento das reservas de águas subterrâneas, reduzindo o lençol freático, devido ao sistema radicular que lhe permite utilizar eficientemente as águas superficiais e subterrâneas até a 50 m de profundidade (Abdulahi *et al.*, 2017). Segundo o mesmo autor, as estimativas de uso de água pela *P. juliflora* são equivalentes a quatro vezes a precipitação média anual da África de Sul (464 mm).

De acordo com uma pesquisa sobre uso da água pela *P. juliflora* e seus impactos na região de Afar, Etiópia, mostrou que em uma área de 1,18 milhões de hectares, o uso da água por esta espécie foi estimado em aproximadamente 3,1-3,3 bilhões de m³/ano. Esse volume de água seria suficiente para irrigar cerca de 460.000 ha de algodão ou 330.000 ha de cana-de-açúcar, as

principais culturas da região, que geraria um benefício líquido estimado em aproximadamente US\$ 320 milhões e US\$ 470 milhões por campanha de algodão e cana-de-açúcar, respectivamente (Shiferaw *et al.*, 2021a).

2.8.4 Impactos na biodiversidade de espécies

Prosopis juliflora tem impactos negativos sobre a diversidade de várias espécies vegetais. Segundo Pasiecznik *et al.* (2001), esta cria uma barreira física sobre as espécies debaixo da sua copa, impedindo entrada da luz solar que é bastante crucial para a realização da fotossíntese. Para além desta barreira, a *P. juliflora* é conhecida por libertar substâncias aleloquímicas no solo, que podem perturbar a germinação e o estabelecimento de algumas espécies nativas (Muturi, 2012). Nakano *et al.* (2002 e 2010), isolaram e intificaram os aleloquímicos presentes como siringina, (-) - lariciresinol, L-triptofano, juliprosopina, juliprosina e juliprosopinal. Destes, os derivados de juliprosina é que exibem um elevado efeito alelopático.

Estudo conduzido por Andrade *et al.* (2010), demonstraram que *P. juliflora* afecta drasticamente a diversidade de espécies e, por conseguinte, a estrutura das comunidades invadidas, tornando evidente a necessidade de controlo da invasão por esta espécie. Por outro lado, Fôñseca *et al.* (2016), estudando a similaridade florística e colonização biológica de *Prosopis juliflora* ao longo do rio, no Brasil, constaram que a presença da *P. juliflora* na margem do rio, contribuiu para a baixa diversidade florística na área, levando ao seu empobrecimento em consequência da substituição da flora nativa.

2.9. Medidas de manejo da *P. juliflora*

Segundo Boy e Witt (2013), em zonas onde as espécies de *Prosopis* encontram-se espalhadas em áreas muito extensas, o uso de medidas preventivas e de contenção são raramente viáveis como opções de manejo. O objetivo de um programa de controlo é reduzir a abundância e densidade de infestações, manter os impactos nocivos de uma invasão para níveis baixos, tanto quanto possível, dentro dos limites.

2.9.1. Medidas preventivas

Segundo Pimentel *et al.* (2000), uma vez que os modos de invasão variam amplamente, há necessidade de se tomar estratégias preventivas, como a educação pública, saneamento, rastreamento e inspeções eficazes em aeroportos, portos marítimos e outros pontos de entrada para reduzir as hipóteses de introdução de espécies invasoras.

De acordo com McNeely *et al.* (2001), o secretariado *Global Invasive Species Programme* (GISP), propôs dez questões estratégicas para abordar o problema de espécies exóticas invasoras. As mesmas destinam-se a orientar os formuladores de políticas na resposta ao crescente desafio de espécies exóticas invasoras. Essas estratégias incluem: (i) Construção de uma capacidade de gestão; capacidade de pesquisa; promoção e partilha de informações; desenvolvimento de políticas e ferramentas económicas; fortalecimento da legislação nacional, regional e internacional, e de quadros institucionais; instituir um sistema de análise de risco ambiental; consciencializar e engajar o público; preparar planos estratégicos e acções de gestão nacional, e iniciativas de desenvolvimento e cooperação internacional.

2.9.2. Medidas directas de controlo

Segundo Zachariades *et al.* (2011), os vários métodos de controlo de *P. juliflora*, incluem o mecânico, físico e químico. Porém, nenhum destes é recomendado em grande escala devido a sua implementação que acarreta custos que geralmente excedem o valor das terras invadidas. Mosweu *et al.* (2013), consideram que a invasão de *P. juliflora* não seria controlada por meio de uma única abordagem de controlo, apontando medidas integradas como sendo necessárias para restringir a invasão desta espécie.

i. Controlo mecânico

O controlo mecânico da *P. juliflora* envolve uso de equipamento desenvolvido para a remoção de árvores, nas quais as raízes são cortadas abaixo do nível do solo para garantir que a árvore seja morta. Essas operações incluem o arranque das raízes, usando uma charrua de aiveca puxado por um tractor Caterpillar ou uma corrente pesada puxada entre duas máquinas. No entanto, esse método é um dos mais caros e é recomendado apenas em solos profundos que apresentam um

alto potencial para o aumento subsequente da produção de forragem (EPPO, 2018; Abdulahi *et al.*, 2017; Kool *et al.*, 2014).

Abdulahi *et al.* (2017), consideram que outro método mecânico eficaz que pode se ter em conta é o manual, apesar de ser trabalhoso. Porém, em regiões onde a mão de obra está prontamente disponível e que pode ser contratada, este método torna-se barato. Contudo, o controle manual sozinho raramente é totalmente bem-sucedido contra infestações em grande escala.

ii. Controle químico

O controle químico para ser eficaz deve envolver o uso de herbicidas sistêmicos, os quais devem ser aplicados no caule ou nas folhas. A eficácia depende da absorção do produto aplicado, que em *P. juliflora* é limitada pela epiderme espessa, caules lenhosos e pequenas folhas com uma camada protectora cerosa. Contudo, existem muitos herbicidas e misturas de herbicidas que foram testados e que apresentaram resultados positivos. Dentre eles os mais eficazes são a dicamba, picloram e triclopir, isolados ou em combinação. No Brasil, num estudo conduzido por Gonçalves *et al.* (2015), mostrou uma maior eficiência da aplicação de 2,4-D + picloram em plantas cortadas e aneladas. Outro resultado promissor, foi obtido pelo mesmo autor, usando o óleo lubrificante através do pincelamento na base das plantas após o corte.

Por sua vez, Shanwad *et al.* (2015), estudando a eficácia da aplicação de 2,4-D e glifosato mostrou que a combinação dos dois controla melhor o crescimento de *P. juliflora* do que aplicados isoladamente. Os resultados também indicaram que o controle da rebrota de *P. juliflora* é efetivamente alcançado por duas aplicações destes herbicidas.

i. Controle biológico

O controle biológico é um método que ganhou aceitação nas últimas décadas em vários países como o meio mais económico e confiável para o controle de grandes infestações de espécies de plantas invasoras. Este método envolve a introdução deliberada e monitorada de uma ou mais espécies (insectos ou microorganismos) altamente especializadas que vêm da zona de origem das espécies de plantas invasoras e que são fisiologicamente adaptados para se alimentarem ou atacarem exclusivamente plantas daquela espécie (Boy & Witt, 2013).

Na Austrália foram libertados quatro agentes de controlo biológico de *P. juliflora*, nomeadamente a *Algarobius bottimeri* e *Algarobius Prosopis* (alimentam-se de sementes), espécies do género Evippe (uma mariposa que prende as folhas) e *Prosopidopsylla flava* (um sugador de seiva). As espécies de *A. Prosopis* e espécies de Evippe estabeleceram-se em extensas áreas, porém, estas últimas é que tiveram impactos visíveis nas populações de *P. juliflora*, através da redução das taxas de crescimento a longo prazo (Zachariades *et al.*, 2011).

Segundo Zachariades *et al.* (2011), na África do Sul houve uma introdução e libertação das espécies *A. prosopis* e *A. bottimeri*, entre 1987 e 1990, respectivamente. Das duas, a *Algarobius bottimeri* persistiu por um curto período após o lançamento, mas acabou não se estabelecendo. Um estudo conduzido pela FAO (2006), em várias localidades no Sudão, mostrou uma maior eficácia da *A. prosopis*, causando um dano de mais de 90% na semente de *Prosopis* armazenada por 7 meses.

CAPÍTULO III. Avaliação da distribuição espacial de *P. juliflora* nos diferentes tipos de uso e cobertura do solo no distrito de Chókwè

RESUMO

A *Prosopis Juliflora* é uma planta altamente invasora, responsável por causar vários problemas ecológicos e económicos no mundo. Em Moçambique está presente em alguns distritos como Chókwè, porém a sua distribuição é desconhecida, tanto neste distrito, assim como no país em geral. Neste contexto, foi conduzido um levantamento desta espécie com vista a apurar a sua distribuição e áreas propensas para o seu estabelecimento no país, num contexto de mudanças climáticas. Para o efeito, foram marcados 143 pontos, seguindo-se as estradas dentro do distrito, separados entre si por uma distância de 2-3 Km. Em cada ponto estabeleceu-se uma parcela amostral de 1000 m², onde estimou-se a abundância, cobertura, altura e mediu-se o diâmetro das plantas com DAP \geq 5 cm. Todos os indivíduos com diâmetro inferior foram contados e registados. Do total dos 143 pontos distribuídos ao longo dos locais mencionadas, 30 foram destinados ao levantamento de toda vegetação dentro das parcelas amostrais estabelecidas e os restantes 113 consistiram em verificar a presença e ausência da *P. juliflora*. A análise de dados foi feita no pacote estatístico Stata 16, donde fez-se a comparação de médias de altura e diâmetro, usando-se o teste t e, Chi-quadrado para a associação entre a vegetação, solos e a presença da espécie. Usou-se igualmente o *Google earth* para monitorar a expansão da área invadida e o *Maxent v3* para criar modelos de distribuição potencial. Os resultados mostraram que a *P. juliflora* encontra-se distribuída em todos os postos administrativos do distrito, com uma frequência de 67%, e em todos os tipos de solos e vegetação, com excepção do arenoso e floresta densa, respectivamente. A área ocupada pela *P. juliflora* teve tendência a aumentar com o tempo e apresentou como focos iniciais de dispersão as áreas residenciais. O modelo de distribuição mostrou que 54,6% da área no país é actualmente propensa ao estabelecimento da *P. juliflora*, podendo passar para 62,9% e 63,9% nos anos 2050 e 2080 respectivamente, num cenário de mudanças climáticas. Deste percentual, a zona sul é que apresenta maior área com potencial para o efeito.

Palvra-chave: *Prosopis juliflora*, disseminação, distribuição potencial

3.1. INTRODUÇÃO

O fenómeno da globalização que actualmente se assiste no mundo, criou um aumento expressivo no movimento de seres humanos em torno do planeta, facilitando o transporte de muitas espécies para ambientes distantes das suas áreas de origem (UNEP, 2016). Este processo foi feito propositadamente para introduzir novas culturas agrícolas e algumas espécies florestais e, acidentalmente no caso de algumas sementes de infestantes que foram levadas durante o transporte de grãos (Mack, 2003; Wilson *et al.* 2016).

A introdução de espécies exóticas em novos ambientes conduziu ao surgimento de invasões biológicas, que geram impactos significativos em termos ecológicos, sociais e económicos, sendo um dos principais responsáveis pela mudança global (Pimentel *et al.*, 2000). Apesar disso, muitas dessas espécies são importantes para a subsistência local e para economias nacionais, devido aos bens e serviços que fornecem (Kull *et al.*, 2011; Van Wilgen *et al.*, 2011). Entretanto, algumas dessas espécies, como é o caso de *P. juliflora*, mostraram-se benéficas no início da sua introdução, mas acabaram causando impactos negativos que superaram esses benefícios ao longo do tempo (Boy & Witt, 2013).

Segundo Mwangi e Shallow (2005), a *P. juliflora* é uma das plantas altamente invasoras no mundo e encontra-se desde 2014 na lista da IUCN das 100 piores espécies exóticas invasoras. A sua invasividade é também evidente do ponto de vista económico, porque cria conflitos com outros usos da terra pelo homem, para além de consequências ecológicas devastadoras.

Dentre os factores que tornam a *P. juliflora* invasoras de sucesso, incluem a produção de um grande número de sementes que permanecem viáveis por décadas, rápidas taxas de crescimento, capacidade de causar danos, sistemas radiculares que as permitem utilizar eficientemente a água superficial e subterrânea (Dzikiti *et al.*, 2013; Shiferaw *et al.*, 2004).

Para além dos factores acima mencionados, os factores climáticos e ambientais contribuem bastante para a agressividade da *P. juliflora*, pois é bastante conhecida por suportar eventos climáticos extremos, como temperaturas até 50°C, baixa precipitação (inferior a 200 mm) e não é limitada por solos alcalinos, salinos ou inférteis (Shiferaw *et al.*, 2004; Pasiecznik *et al.*, 2001). Segundo Dukes e Mooney (1999), as mudanças climáticas podem aumentar a capacidade de

muitas espécies exóticas invasoras de invadir novas áreas e, conseqüentemente, ter um impacto negativo no ambiente.

De acordo com Witt (2010), na maioria dos países em desenvolvimento geralmente há pouca informação sobre a taxa de invasão e os impactos da *P. juliflora* decorrente da falta de recursos para a realização de pesquisas e colecta de dados. Estudos conduzidos na Etiópia, região de Afar, revelam que 90% da população depende principalmente da agricultura e criação de gado, porém, mais de 700.000 ha das áreas agrícolas e de pastagem já foram invadidas pela *P. juliflora*, levando a uma redução drástica na produção agro-pecuária (Bogale & Tolosa, 2021).

Em Moçambique, não existem estudos publicados sobre a distribuição de *P. juliflora* e seus impactos. No entanto, uma visita exploratória, feita no distrito de Chókwè entre os anos 2017 e 2020, permitiu a identificação de alguns focos de ocorrência da espécie, o que levou a condução deste estudo para apurar a real distribuição no distrito e a partir desta, criar modelos de distribuição potencial a nível nacional, para o presente ano e no futuro (2050 e 2080), olhando para o contexto das mudanças climáticas. A partir dessas informações, pretende-se aprimorar o suporte para os tomadores de decisão, em especial os sectores ligados à conservação da biodiversidade para que estratégias de prevenção e manejo sejam desenhadas para fazer face a esta ameaça.

3.2. METODOLOGIA

3.2.1. Localização da área de estudo

O estudo foi conduzido nos finais do mês de Agosto de 2021, no distrito de Chókwè, localizado a sul da província de Gaza, no curso médio do rio Limpopo, tendo como limites geográficos os distritos de Mabalane e Guijá a norte, Massingir e Magude a oeste, Chibuto a leste, Xai-Xai, Bilene, Macia e Magude a sul (MAE, 2005).

Segundo o Instituto nacional de Estatística (INE, 2020), o distrito tem uma superfície de 2.600 km² e apresenta um potencial de cerca de 87.000 ha de terras aráveis destinadas a agricultura, 50.000 ha para pecuária, 26.000 ha de florestas e fauna bravia para além de áreas não quantificadas destinadas à exploração de areia.

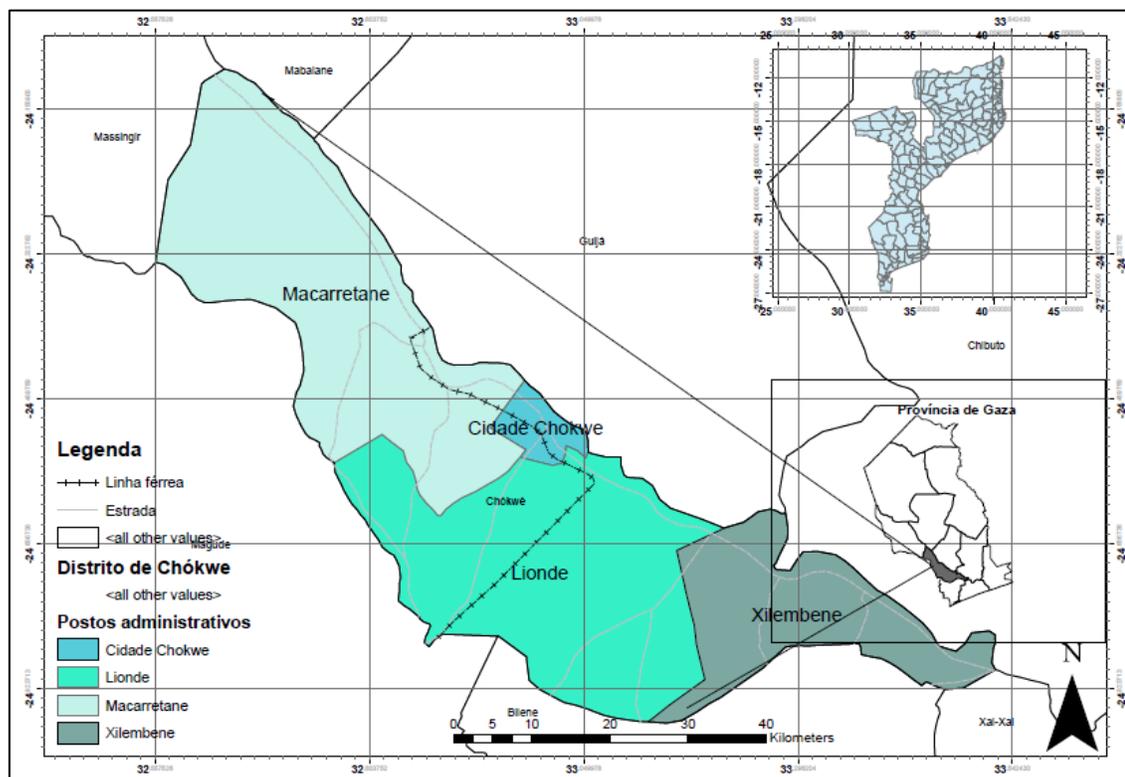


Figura 9. Localização da área de estudo

Fonte: Autor

3.2.2. Condições edafo-climáticas e vegetação do distrito de Chókwe

➤ Condições edafo-climáticas

Segundo a classificação de Thornthwaite, o clima do distrito de Chókwe é do tipo semi-árido (seco de savana), apresentando duas épocas bem distintas, a chuvosa e quente que ocorre de Outubro a Março e a seca e fresca de Abril a Setembro. A precipitação média anual é de 500 a 800 mm, enquanto a evapotranspiração potencial de referência (ET_o) é de 1400-1500 mm. As temperaturas médias anuais estão em torno de 22 a 26°C e a humidade relativa anual entre 60 a 65% (MAE, 2005).

Neste distrito a chuva é escassa e mal distribuída, além de altas temperaturas, que resultam numa acentuada deficiência hídrica e a secas frequentes, mesmo na época chuvosa. Além disso, essa região é propensa a calamidades naturais cíclicas, como secas prolongadas, ventos fortes, ciclones e inundações de grande magnitude, especialmente nas localidades de Malau (Posto Administrativo de Lionde), Machinho e Matuba (Posto Administrativo de Macarretane) (PEDD, 2012).

Estudos feitos por Toubert e Noort (1985) e Timberlake *et al.* (1985), apontaram que o distrito do Chókwe possui solos distintos que podem ser divididos em quatro grupos principais, baseados na geologia-geomorfologia:

- (i) **Solos das dunas interiores:** consistem em solos arenosos profundos, com uma drenagem excessiva. Estes, têm uma superfície pobre de cor castanho-acinzentado (10 YR 5/2) com uma espessura de 20 a 40 cm, que se sobrepõe a um subsolo cinzento claro (10YR 7/2). Possuem uma baixa capacidade de retenção de água e são geralmente não-salinos e não-sódicos.

- (ii) **Solos dos sedimentos marinhos:** consistem de uma camada superior de areia ou areia franca, com uma estrutura pobre, não calcária, de 30 - 40 cm de espessura, com uma cor muito cinzento-escuro a castanho-escuro (10 YR 3/1 - 3/3), que se sobrepõe a um subsolo de textura franco arenoso a franco argilo-arenoso. O subsolo é não salino a moderadamente salino e é geralmente sódico.

- (iii) **Solos dos sedimentos marinhos, depressões:** consistem de solos das baixas, planas à quase plana "planícies ou depressões". Estes, têm uma textura argilosa e argilo arenosa, apresentando na superfície de 20 - 30 cm uma cor fortemente cinzento-escuro a castanha escuro (10 YB 3/1 - 3/3) e subjacente a um subsolo não calcário cinzento-escuro a cinzento (10 YR 4/1 - 5/1) e apresenta uma drenagem muito pobre. Os solos são moderadamente a fortemente salinos e sódicos com uma fertilidade baixa a moderada.
- (iv) **Solos dos sedimentos fluviais recentes do rio Limpopo:** são profundos, estratificados e altamente variáveis em textura, tendo geralmente elevada fertilidade natural. Dividem-se em solos de textura leve, média e pesada.

➤ **Vegetação do distrito**

Devido à ocupação extensiva por áreas agrícolas, a vegetação natural do distrito de Chókwe é escassa. No entanto, no Posto Administrativo de Macarretane, ainda é possível encontrar matagais e florestas dominadas por *Acacia spp*, *Colophospermum mopane*, *Combretum imberbe* *Azelia quanzensis* e *Santalum album* (PEDD, 2012).

Segundo Timberlake *et al.* (1985), a vegetação predominante no distrito está associada ao tipo de solo. Nas zonas elevadas situam-se savanas de folha larga, caracterizadas por uma vegetação de pequenos arbustos espalhados e uma baixa cobertura graminal, geralmente constituídas por espécies anuais bem desenvolvidas, que resultam em pastagens de boa qualidade, nas áreas abertas. Nas bacias pantanosas, encontram-se bosques abertos ribeirinhos caracterizados por grandes árvores e uma abundância da vegetação herbácea, assim como pastagens de qualidade. O quarto grupo de vegetação, consiste de pradarias arbórea-arbustivas e uma cobertura de gramíneas perenes bem desenvolvidas.

3.3. Levantamento de *P. juliflora*

O levantamento de *P. juliflora* foi realizado por meio de uma amostragem probabilística sistemática, em que os pontos foram previamente marcados no mapa do distrito de Chókwe, seguindo-se as estradas dentro do distrito, numa extensão total de 367 km dos 389 km que compõe toda a rede viária do distrito (PEDD, 2012), com uma separação média de 2-3 km

(Figura 10), dependendo da acessibilidade (Lisboa *et al.*, 2022; Witt *et al.*, 2020; Fufa *et al.*, 2017). Da extensão total da rede viária, 22 km foram excluídos devido à sua intransitabilidade.

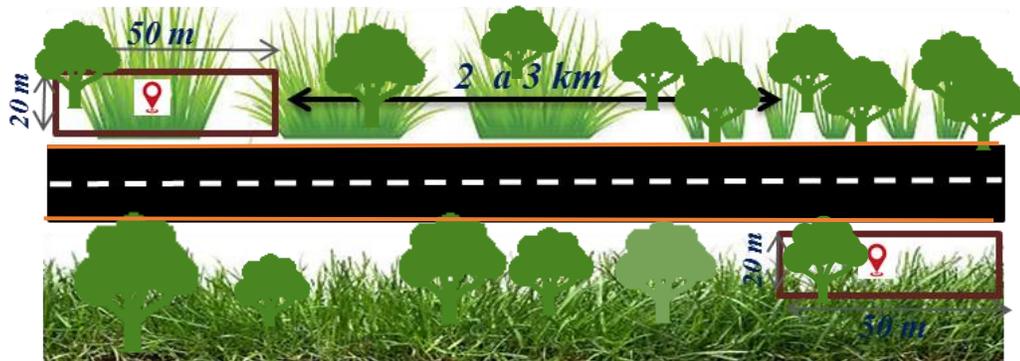


Figura 10. Disposição das parcelas ao longo da estrada
Fonte: Autor

Para cada ponto de levantamento, estabeleceu-se uma parcela amostral, com um comprimento de 50 m e 20 m de largura (Booth, *et al.*, 2003). No total cobriu-se 143 pontos distribuídos ao longo dos locais mencionados (Figura 11), sendo que deste total, 30 pontos foram destinados ao levantamento de toda a vegetação dentro das parcelas amostrais estabelecidas e os restantes 113 consistiram em verificar a presença ou ausência da *P. juliflora*, assim como para fazer a estimativa da cobertura e abundância para a posterior produção do mapa da sua distribuição no distrito e análise de outras zonas potencialmente propensas para a invasão dentro do país. Foi considerada uma parcela de presença, aquela que continha pelo menos uma planta de *P. juliflora*, caso contrário, era considerada ausência (Ahmed *et al.*, 2021; Shiferaw *et al.*, 2019).

Em cada ponto seleccionado foi feita a descrição referente à topografia, altitude, tipo de solo, vegetação, assim como o registo da informação correspondente à espécie em estudo, desde a abundância, densidade, cobertura, altura e DAP. Dentro de cada parcela, todas as plantas com DAP <5 cm foram identificadas e contadas, e naquelas com DAP ≥5 cm fez-se as medições do diâmetro correspondente com recurso a uma fita métrica e a altura foi estimada com método de estimativa visual (Muturi, 2012; Silva *et al.*, 2012).

Para além do registo da informação referente ao tipo de solo e vegetação no local, foram usados os mapas dessas variáveis, para posterior sobreposição com os pontos de colecta de dados, a fim de avaliar a existência de associação destas, com a presença da *P. Juliflora*. Este procedimento fez-se recorrendo ao *software arcGis 10.2*.

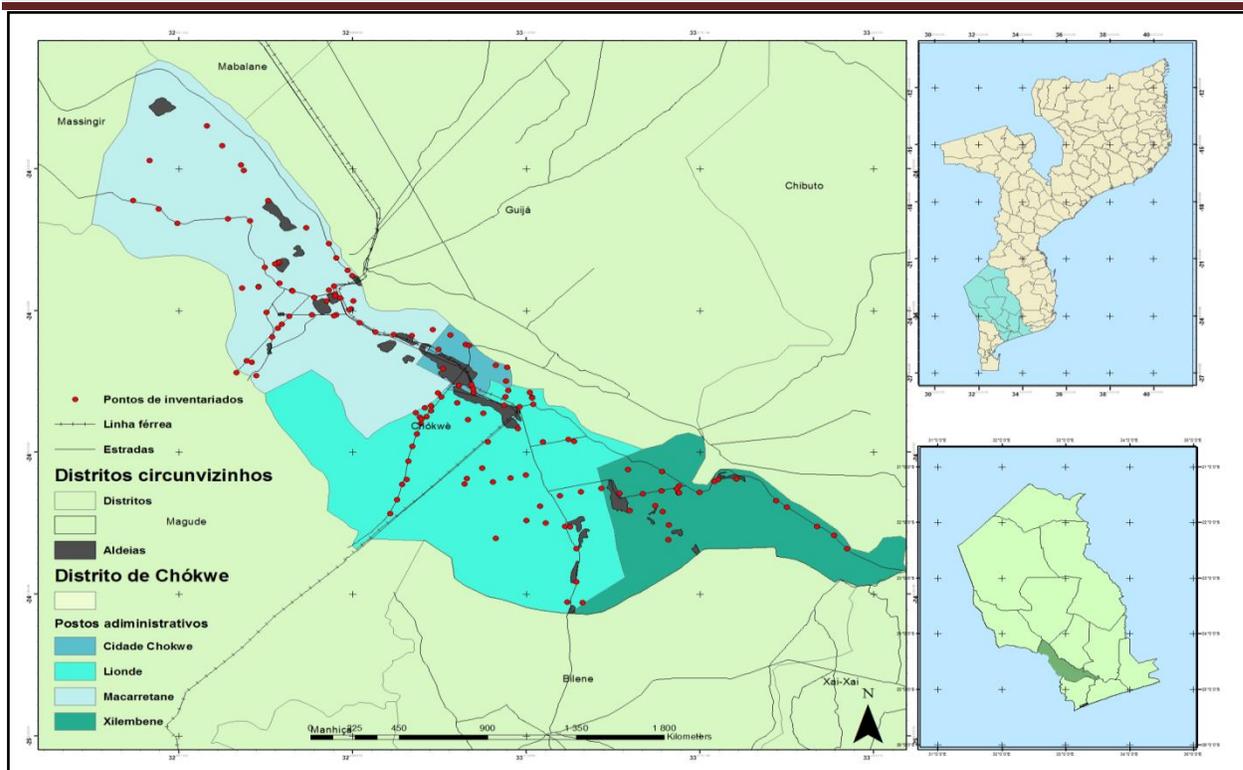


Figura 11. Pontos de levantamento de *P. juliflora*

Fonte: Autor

3.4. Avaliação da expansão da invasão com o tempo (2010-2021) e focos iniciais da introdução da *P. juliflora*

A avaliação da expansão da área invadida pela *P. juliflora* ao longo do tempo, foi feita com recurso às imagens satélites. Para o efeito, foram usadas imagens provenientes do *Google Earth* para o período 2010-2021 numa zona com elevada abundância da *P. juliflora* (acima de 75%), seleccionada dentro da área de estudo (Howari *et al.*, 2022). A zona em causa, está situada no posto administrativo de Macarretane (Figura 12), e a sua selecção deveu-se ao facto de ser um posto onde foram encontradas extensas áreas invadidas, muitas residências nas quais usam *P. juliflora* como sombra e cerca para currais. A outra razão está associada ao facto de alguns anciãos residentes na zona, consultados no processo de levantamento da espécie, terem informado que na década 80 houve campanhas de distribuição de plântulas de *P. juliflora* para servirem de sombra e alimentação para o gado.

Assim, para verificar os possíveis núcleos ou focos de disseminação da espécie, foram seleccionadas aleatoriamente um total de 50 residências próximas às áreas invadidas que tinham a *P. juliflora* como sombra. Nestas residências, mediu-se o diâmetro e altura de cada árvore, para posteriormente acompanhar-se a evolução da infestação e/ou desenvolvimento de cada uma delas, através das imagens satélite, por um certo período (2010-2021), a fim de confrontar e verificar os pontos iniciais que originaram a invasão.



Figura 12. Área seleccionada para avaliar a evolução da invasão com o tempo
Fonte: Google earth

3.5. Identificação das zonas potencialmente propensas à invasão de *P. juliflora*, actualmente e no futuro (2050 e 2080)

Para avaliar a distribuição potencial da *P. juliflora* à escala nacional, recorreu-se ao método da máxima entropia pelo *software* MaxEnt versão 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006). O MaxEnt utiliza o princípio da máxima entropia em dados de presença para estimar um conjunto de funções que se relacionam com variáveis ambientais do habitat, a fim de permitir associar ao espaço probabilidades que representam a adequabilidade do habitat de uma dada espécie, e através desta estimar a sua área de distribuição geográfica potencial, de acordo com variáveis climáticas e ambientais amostradas nos locais de observação dessa espécie (Phillips *et al.*, 2006). Assim, dos levantamentos feitos na área do estudo, foram seleccionados apenas os pontos de ocorrência da espécie, num total de 96 para correr o modelo.

O uso do Maxent deveu-se ao facto de vários estudos mostrarem que o mesmo pode prever melhor a distribuição geográfica de espécies de plantas em comparação com outros modelos.

Além disso, tem a vantagem de usar apenas dados de presença, ou seja, não exige dados das ausências confirmadas de áreas específicas (Delapiccola, 2016; Phillips *et al.*, 2006). Em geral, estas características levaram o MaxEnt a ser considerado como um dos melhores programas para a modelagem de espécies.

3.5.1. Variáveis ambientais

Para correr o modelo foram previamente extraídas 35 variáveis ambientais (Anexo 1) do banco de dados da Climond: <https://www.climond.org/Core/Authenticated/Bioclim.aspx> (Kriticos *et al.*, 2012) no formato *raster* a uma resolução espacial de 10 min.

De acordo com Dormann *et al.* (2013), as variáveis bioclimáticas são frequentemente correlacionadas, o que por vezes resulta num mau desempenho e interpretação errada do modelo. Assim, fez-se a análise de correlação de Pearson para remover as variáveis altamente correlacionadas, cujo coeficiente de correlação é maior que 0.75 ($[r] > 0,75$) (Singh, *et al.*, 2021; Dormann *et al.*, 2013). Deste modo, a selecção das variáveis finais para correr o modelo atendeu a três critérios: (1) aquelas que foram estatisticamente importantes para determinar os dados de presença da *P. juliflora*, (2) as que são biologicamente importantes para o estabelecimento e invasão da *P. juliflora* e (3) as que não apresentaram colinearidade com outras variáveis bioclimáticas (Sintayehu *et al.*, 2020). Este processo resultou na selecção de 6 variáveis climáticas, e 3 não climáticas, nomeadamente, o tipo de solo, altitude e tipo de vegetação (Tabela 1) em Moçambique.

Tabela 1. Variáveis climáticas e não climáticas seleccionadas para o uso no modelo

Variável	Descrição	Unidade
BIO 1	Temperatura média anual (°C)	(°C)
BIO2	Varição diurna média de temperatura (Média mensal (Tmax-Tmin))	(°C)
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	(°C)
BIO 12	Precipitação anual	(mm)
BIO 14	Precipitação do mês mais seco	(mm)
BIO 15	Sazonalidade da precipitação (C de V)	(mm)
Altitude	Altitude	(m)
Solos	Solos (característica dominante)	-
Vegetação	Vegetação (tipo)	-

3.5.2. Cenários climáticos

Neste exercício, houve também a necessidade de avaliar o impacto que as mudanças climáticas podem ter na distribuição de *P. juliflora*. Para o efeito, foi considerado o conjunto de dados climáticos de 1961-1990 que representam o clima histórico centrado em 1975. Estes dados foram usados para projectar modelos para o clima actual. Para um cenário climático futuro, foi escolhido o modelo climático global MIROC-H (*Centre for Climate Research, Japan*), com os cenários A1B e A2 do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), projectados para 2050 e 2080. Os anos foram escolhidos considerando-se que representam um período suficiente para a ocorrência de uma infestação e distribuição diferente da actual.

Os cenários A1B e A2, representam uma situação balanceada e pessimista, relativamente às principais forças demográficas, económicas e tecnológicas que levam a futuras emissões de gases de efeito estufa e de enxofre, respectivamente. O cenário A1B, prevê um futuro com crescimento económico muito rápido, no qual a população humana mundial atingirá o pico em meados do século XXI e declinará posteriormente, futuras mudanças tecnológicas em fontes de energia fóssil intensiva e não fóssil (Nakicenovic & Swart, 2000). O cenário A2 prevê um aumento contínuo da população humana, assim como das emissões de gases de efeito estufa (IPCC, 2000; Kriticos *et al.*, 2012). A escolha desses dois cenários, prende-se no facto de um deles (A1B), aproximar-se mais da realidade, enquanto o outro (A2) procura mostrar uma situação oposta, onde não há nenhuma medida para minimizar os efeitos das mudanças.

3.5.3. Validação do Modelo

De acordo com Dalapicolla (2016), a validação é a etapa de avaliação do modelo, onde são feitos testes estatísticos para analisar se os modelos propostos são adequados. O MaxEnt tem uma forma própria de avaliar os modelos e dá o resultado tabelado. Neste estudo recorreu-se ao valor da área abaixo da curva ROC *Receiver Operating Characteristic* (AUC). Este valor mede a capacidade discriminatória do modelo, isto é, permite interpretar o resultado como uma probabilidade de ao escolher aleatoriamente dois pontos, um do conjunto de presenças e outro do conjunto de ausências, ele consiga prever os dois correctamente.

Dalpicolla (2016) afirma que do ponto de vista prático, um teste de validação pode adotar os valores de AUC como indicadores da qualidade do modelo. Os valores de AUC variam entre 0 e 1, onde: $AUC \geq 0,9$ são considerados de alto desempenho, $0,7 \leq AUC < 0,9$ moderado, $0,5 \leq AUC < 0,7$ baixo e $AUC < 0,5$ não é melhor do que aleatório (Sintayehu *et al.*, 2020).

3.6. Variáveis analisadas

Para a análise e interpretação dos dados obtidos neste estudo, foram estimados, dentre os demais parâmetros fitossociológicos usados em estudos de vegetação os seguintes: frequência, abundância, cobertura, densidade, altura, diversidade, uniformidade e similaridade (Booth *et al.*, 2003; Nkoa *et al.*, 2015).

i) Frequência

A frequência é um parâmetro que indica a presença ou ausência de uma dada espécie nas unidades ou parcelas amostrais, pode ser em termos de frequência absoluta ou relativa. A frequência absoluta indica a relação entre o número de unidades ou parcelas em que uma determinada espécie ocorreu e o número total de unidades ou parcelas amostrais inventariadas. Por outro lado, a frequência relativa expressa o número de ocorrências em termos percentuais, de uma dada espécie em relação à soma das frequências absolutas de todas as espécies das unidades amostrais (Booth, *et al.*, 2003; Kozera, 2001), podendo ser obtido aplicando as seguintes fórmulas:

Frequência absoluta

$$F.Ab = \frac{UA_i}{UA_t} \quad \text{onde: } UA_i = \text{número de unidades amostrais onde a espécie está presente}$$

$$UA_t = \text{número total de unidades amostrais}$$

Frequência relativa

(1)

$$FR = \frac{F.Abi}{\sum FAb} \times 100\%$$

onde: FA_i = Frequência absoluta da espécie i

$\sum FAb$ = somatório das frequências absolutas de todas as espécies

ii. Densidade

A densidade expressa a participação de diferentes espécies dentro da comunidade vegetal. Pode ser absoluta ou relativa. A densidade absoluta, indica o número de indivíduos de uma espécie por unidade de área e, a relativa indica a participação de cada espécie em relação ao número total de indivíduos (Colma *et al.*, 1982).

Densidade absoluta

$$DAb = \frac{n}{\text{Área (ha)}}$$

Densidade relativa

$$DR = \frac{n}{N} \times 100$$

(2)

onde: n = número de indivíduos de uma determinada espécie

N = número total dos indivíduos

iii. Abundância e cobertura da vegetação herbácea, arbustiva e arbórea

Segundo Colma (1982), a cobertura de uma espécie indica a proporção do solo ocupado pela projecção perpendicular das partes aéreas dos indivíduos da espécie considerada, sendo expressa em percentagem da superfície total. Booth *et al.* (2003), realçam que a cobertura é um método necessário, porém, às vezes é difícil de quantificar, visto que o valor obtido não é preciso, porque normalmente resulta de uma estimativa visual que é frequentemente categorizada.

Por sua vez, a abundância, representa a densidade, expressando o número de indivíduos por unidade da área amostral. Porém, é uma estimativa visual baseada numa escala categorizada de Braun-Blanquet (Pillar, 1996). A cobertura e abundância para *P. juliflora* foram estimadas visualmente, baseado na escala de Braun-Blanquet (1965), adaptado por Fufa *et al.* (2017). (Tabela 2).

Tabela 2. Escala de abundância e estimativas de cobertura usadas na avaliação de espécies de plantas exóticas invasoras.

Abundância	Escala	Descrição
Ausente	0	Nenhuma planta invasora foi encontrada
Presente	1	Indivíduos abundantes, mas com baixa cobertura
Raro	2	Indivíduos muito numerosos; cobrindo pelo menos 5% da área
Ocasional	3	Poucos ou muitos indivíduos; colectivamente cobrindo de 6 a 25% da área
Frequente	4	Poucos ou muitos indivíduos; colectivamente cobrindo 26-50% da área
Abundante	5	As plantas cobrem 51-75% da área
Muito abundante	6	As plantas cobrem 76-100% da área

iv. Variáveis dendrométricas

O diâmetro constitui a principal variável dendrométrica, e todos os indivíduos arbustivos e arbóreos seleccionados e numerados pelo critério de inclusão devem possuir o DAP medido a 1,30 m acima do nível do solo com uma suta ou fita métrica, em centímetros e precisão de duas casas decimais (Fernandes *et al.*, 2020). A distribuição diamétrica da floresta, fornece uma ideia precisa de como as diferentes espécies estão representadas, segundo as classes diamétricas. Assim, para as análises neste estudo, os indivíduos foram agrupados em três classes: DAP <5 cm, $5 \leq \text{DAP} < 10\text{cm}$ e $\text{DAP} \geq 10\text{cm}$ (Clement *et al.*, 2020; Fernandes *et al.*, 2020; El-Keblawy & Al-Rawai, 2007).

Silva *et al.* (2012) consideram que a altura é uma característica importante da árvore e pode ser medida ou estimada. A sua medição ou estimativa é muito importante para o cálculo do volume e, em determinadas situações, pode servir como indicadora da qualidade produtiva de um local. A altura total é definida como a distância vertical tomada desde a base da árvore até ao ápice da árvore (Fernandes *et al.*, 2020; Machado & Figueiredo-Filho, 2003). Devido às características das formações florestais e ausência de boa visibilidade do topo da árvore, a altura total real da árvore muitas vezes poderá não ser precisa. Para as análises estatísticas as alturas dos indivíduos foram categorizadas em 3 classes, baseadas na altura média (hm) e desvio padrão (S), conforme as

expressões abaixo: classe 1 ($H_{\text{total}} < (hm - 1. S)$), classe 2 ($(hm - 1. S) \leq H_{\text{total}} < (hm + 1. S)$) e classe 3 ($H_{\text{total}} \geq hm + 1. S$) (Madeiros *et al.*, 2021).

3.7. Análise de dados

Antes da análise dos dados de campo, utilizou-se a planilha da Microsoft Excel versão 2019 para a organização dos mesmos e, usou-se o software STATA versão 16, para a análise dos parâmetros fitossociológicos (frequência, abundância, cobertura, altura e diâmetro). Para além destes parâmetros foram feitos testes de Chi-quadrado para avaliar a associação entre a presença da espécie com o tipo de solo e o uso e cobertura do solo, análise comparativa entre a altura e diâmetro da espécie, bem como entre as áreas residenciais e invadidas, com recurso ao teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Recorreu-se igualmente ao Maxent para as análises das áreas de distribuição potenciais da *P. juliflora*, apresentado no subcapítulo 3.5.

3.8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta secção são apresentados os resultados referentes à distribuição de *Prosopis juliflora* no distrito de Chókwè, desde a frequência, a abundância, cobertura, densidade, associação existente com o solo e vegetação, sua expansão com o tempo, prováveis núcleos da sua disseminação e por último a previsão da distribuição potencial, actual e futura para os anos 2050 e 2080 em dois cenários de mudanças climáticas a nível nacional.

3.8.1. Avaliação da distribuição de *P. juliflora* no distrito de Chókwè

As Figuras 13 e 14 abaixo apresentadas, ilustram a distribuição da *P. juliflora* em termos de frequência da sua presença no distrito de Chókwè, bem como a composição em número de indivíduos e percentagem da área coberta. Assim, foram registadas neste estudo, um total de 96 ocorrências de *P. juliflora*, dum universo de 143 pontos inventariados, o que corresponde a 67% de ocorrências da espécie em todo o distrito (Figura 13). Dessas ocorrências, destacam-se 54 (56,25%) classificadas como indivíduos presentes com baixa cobertura, seguidas de 12 (12,5%) classificadas como ocorrências ocasionais, com uma cobertura que variou de 6 a 25%, 10 (10,4%) classificadas como raras, com cobertura de 5%; 8 (8,3%) classificadas como frequentes, com cobertura que variou de 26 a 50% e finalmente, duas ocorrências, ambas com 6 pontos (6,5%) com indivíduos abundantes e muito abundantes, caracterizadas por uma cobertura que variou de 51 a 75% e mais de 75%, respectivamente (Figura 14).

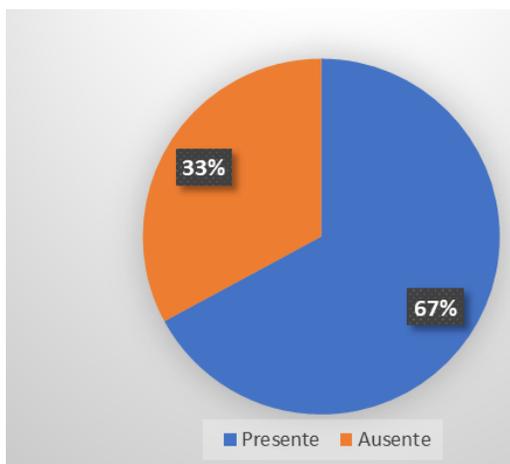


Figura 13. Frequência absoluta de *P. juliflora*

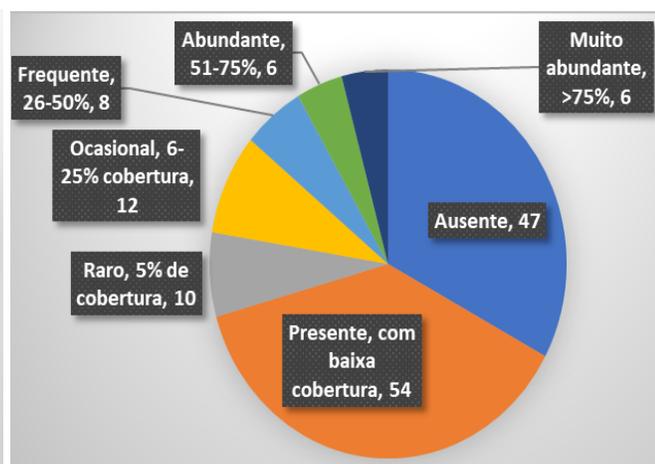


Figura 14. Abundância e cobertura de *P. juliflora*

O mapa apresentado na Figura 15, mostra como estão distribuídas as classes de abundância e cobertura de *P. juliflora*, apresentadas na Figura 14. Com base no mesmo, é possível observar que algumas dessas classes não estão igualmente distribuídas em todos os postos administrativos, sendo notório que, nos postos de Macarretane, Chókwe-sede e Lionde, encontram-se representadas todas as 7 classes, enquanto que Chilembene apresentou apenas 4 classes. Dessas 4 classes, a escala máxima de abundância verificada é a de ocorrência ocasional, com uma cobertura que varia de 6 a 25%. Estes resultados sugerem que a invasão no posto administrativo de Chilembene ainda está na sua fase inicial, quando comparada com os outros postos administrativos que apresentaram pontos de ocorrência com uma cobertura de mais de 75%.

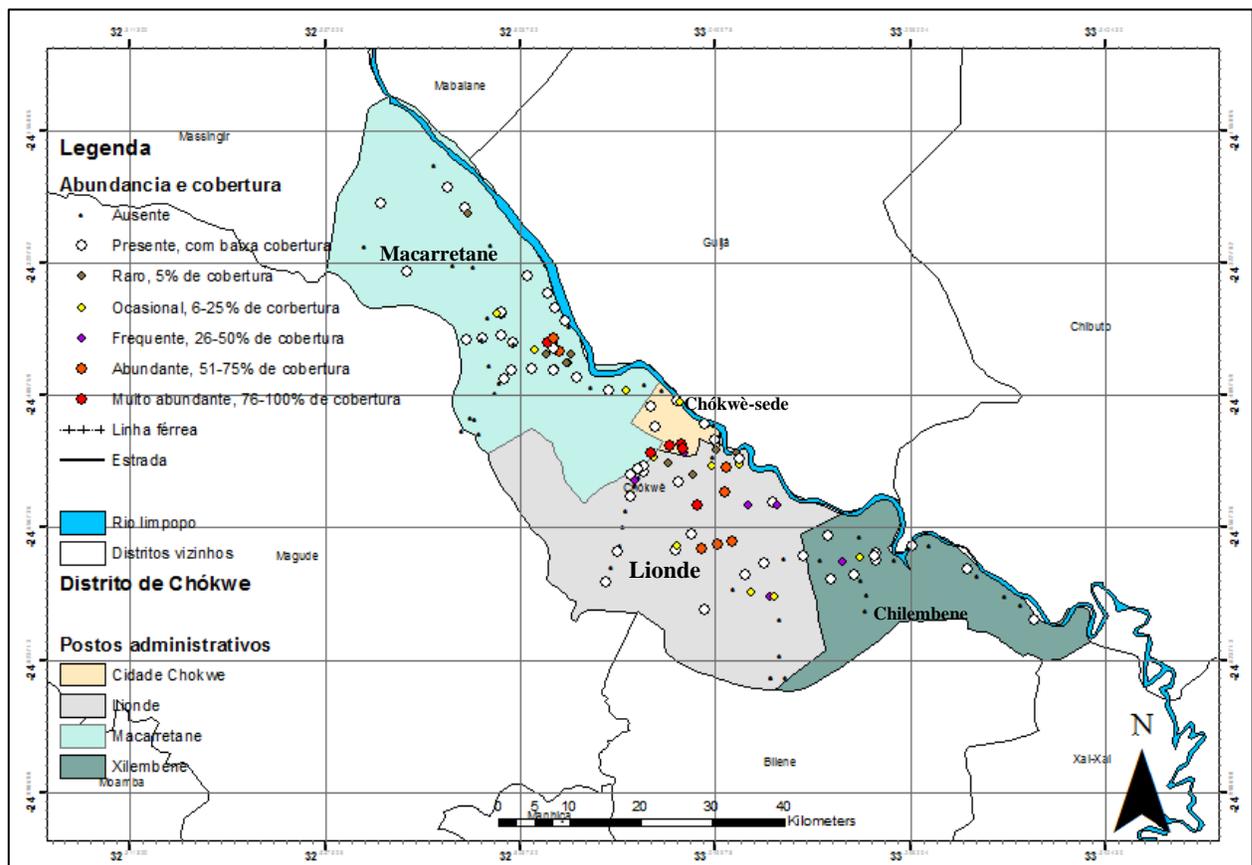


Figura 15. Distribuição espacial da abundância e cobertura de *P. juliflora* no distrito de Chókwe

Os resultados acima expostos, mostram também que a *P. juliflora* ocorre em todos os postos administrativos do distrito. Não obstante a existência de mais de 50% dos pontos inventariados estarem na classe de baixa cobertura e com poucos indivíduos, vários estudos consideram que a *P. juliflora* possui uma alta capacidade de expandir-se para novas áreas (Howari *et al.*, 2022;

Masakha, 2015; Wakie *et al.*, 2014; Engda, 2009). Além disso, a semente desta planta possui dormência e uma longevidade muito elevada, podendo chegar a 20 anos no solo. Isto faz com que haja um grande reservatório da semente no solo capaz de gerar novas invasões, que podem resultar na formação de matas altamente densas e impenetráveis (Kumar & Mathur, 2014; Pasiecznik *et al.*, 2004).

Por outro lado, a existência de criadores de gado pode ter sido um factor que facilitou a expansão rápida da *P. juliflora* e que pode continuar a facilitar no futuro, dado que o gado é considerado um dos agentes de dispersão dessa espécie (Shiferaw *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 1999). Dados do Inquérito Agrário Nacional (MADER, 2020) indicam que o distrito de Chókwè possui um efectivo significativo de gado, com 43.587 cabeças de gado bovino e 10.480 cabeças de gado caprino de acordo com o PEDD (2012). A dispersão da semente pelo gado foi demonstrada num estudo conduzido por Shiferaw *et al.* (2004) na Etiópia, onde apuram que 1 kg de excremento de caprinos e bovinos pode conter, aproximadamente, 760 e 2.833 sementes, respectivamente. Esses autores fundamentam que, quando esses animais se alimentam das vagens, as sementes não são completamente mastigadas, e passam pelo intestino, onde recebem tratamentos que aumentam a taxa de sucesso de germinação quando chegam no solo.

Souza *et al.* (1999) no Brasil, reportou uma percentagem média de germinação de sementes viáveis de *P. juliflora* de 37,3% para muares, 14,8% para bovinos e 9,3% para caprinos, sugerindo que esses animais são os principais agentes de dispersão desta planta.

Outro factor que terá contribuído para a disseminação massiva da *P. juliflora*, e que continua a representar um risco, está relacionado com o facto de que o distrito de Chókwè é propenso a calamidades naturais cíclicas, sobretudo inundações de grande magnitude, especialmente nas localidades de Malau (Posto Administrativo de Lionde), Machinho e Matuba (Posto Administrativo de Macarretane) (PEDD, 2012). Nestes locais foram encontradas extensas áreas com cobertura acima de 50% durante o inventário. Abdulahi *et al.* (2017), consideram que a água desempenha um papel significativo na disseminação de sementes para outras áreas, através do escoamento superficial, pois, os pântanos, margens de estradas e canais de irrigação são altamente invadidas por *P. juliflora*.

Estes resultados sugerem uma necessidade urgente de se tomarem medidas de controlo, pois, de contrário, a situação poderá se tornar bastante alarmante nos próximos anos. McGeoch *et al.* (2016) indicam que, uma vez estabelecidas, as espécies invasoras são extremamente difíceis de controlar e a erradicação é quase impossível ou altamente dispendiosa. A título de exemplo, até 2010, a África do Sul tinha cerca de 1,8 milhões de hectares invadidos pela *P. juliflora*, e estudos realizados estimaram que o corte de populações densas dessa espécie custaria cerca de US\$ 534 por hectare, o equivalente a US\$ 961 milhões (Haregeweyn *et al.*, 2013; Van Wilgen *et al.*, 2012; Witt, 2010).

3.8.2. Distribuição diamétrica e altura de *P. juliflora*

Neste estudo foram inventariados no total 18630 indivíduos de *P. juliflora*. Os resultados apresentados nas Figuras 16 e 17, mostram a distribuição dos mesmos nas diferentes classes de diâmetro e altura, respectivamente. Na classe de diâmetro abaixo de 5 cm registou-se o equivalente a 6106 indivíduos/ha, seguidos de 102 indivíduos/ha com diâmetro de 5 a 10 cm e por último 2 indivíduos/ha com diâmetro acima de 10 cm. Relativamente à classe de altura, onde foram medidos apenas os indivíduos com diâmetro igual ou superior a 5 cm (DAP \geq 5), nota-se que houve maior predominância de indivíduos (84) com altura a variar de 2,13 a 4,17 m, seguido de 18 indivíduos/ha com altura superior a 4,17 m e por último 2 indivíduos com uma altura inferior a 2,13 m.

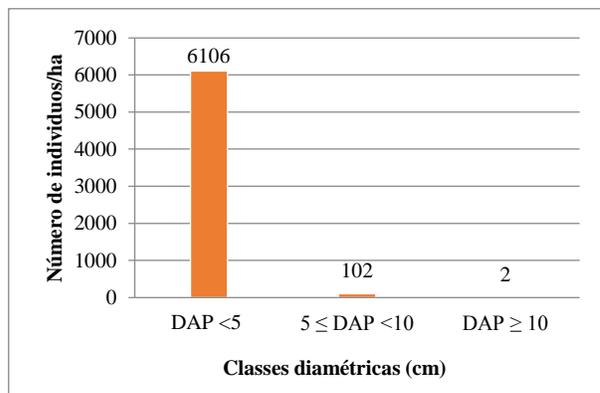


Figura 17. Densidade absoluta de *P. juliflora* por classes de diâmetro

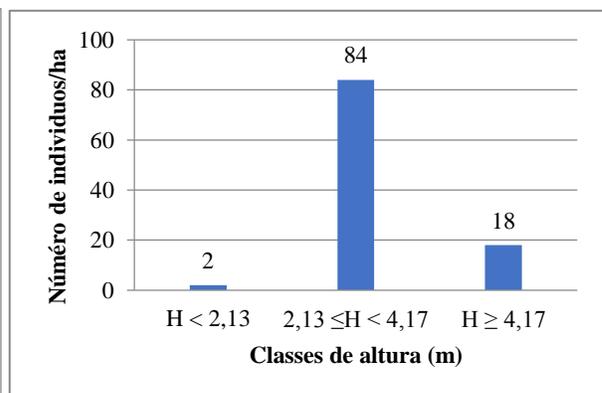


Figura 16. Densidade absoluta de *P. juliflora* por classes de altura, com diâmetro \geq 5cm

Na Figura 16, observa-se que a distribuição de indivíduos da *P. juliflora* por área decresce com aumento das classes diamétricas. Um comportamento similar foi também observado por Oliveira

et al. (2012) quando estudavam a estrutura de uma população de *P. juliflora* estabelecida no leito de um rio temporário no Brasil, onde obtiveram uma densidade de aproximadamente 2.382,67 indivíduos/ha com diâmetro inferior a 5 cm e, apenas 22 com diâmetro superior a 5 cm. Medeiros *et al.* (2021), ao avaliarem a composição florística e a estrutural da vegetação constataram o mesmo cenário observado neste estudo, onde maior número de indivíduos situou-se nas duas primeiras classes ($DAP < 5$ e $5 \leq DAP < 10$), tendo um comportamento semelhante ao de um J-invertido ou uma distribuição exponencial negativa.

Os resultados deste estudo apresentaram uma mudança temporal no número de árvores, ou um processo natural de auto-desbaste típico de populações florestais naturais (Johnson *et al.*, 2002). Este princípio sugere que, um espaço de crescimento finito é ocupado progressivamente por poucas árvores à medida que elas crescem em tamanho com a idade. Assim, sem ter espaço suficiente para crescer, os indivíduos cuja capacidade competitiva é menor, morrem em virtude do aumento da competição e da supressão, aproximando-se a uma densidade ótima, que possa coexistir em uma determinada área.

Vários outros autores obtiveram comportamentos similares nos seus estudos, ao fazerem agrupamentos dos indivíduos em classes diamétricas (Araújo, 2007; Chassot, 2013; Meyer, 2011; Johnson *et al.* 2002). Contudo, Lima e Leão (2013), consideram a designação do comportamento em “J” invertido, como sendo extremamente simplista e, praticamente, qualquer floresta nativa se enquadra nela, o que já não se verifica numa floresta plantada, a qual assemelha-se à curva normal. Assim, a invasão de *P. juliflora* assemelha-se ao comportamento de uma floresta nativa, porém, nessas áreas pode-se levar anos para que este comportamento seja notável (Uetela, 2014), contrariamente ao que acontece com as espécies invasoras como observado neste estudo. Este facto acontece devido a capacidade invasiva da *P. juliflora*, caracterizada pelo rápido crescimento com tendência a dominar o território em pouco tempo (Chapman, 2019; Walter, 2011; Pasiecznik *et al.*, 2001).

Por outro lado, Nascimento *et al.* (2001) apontam que as elevadas densidades verificadas na classe inicial podem ser assumidas como consequência do estágio de sucessão inicial em que se encontra a área invadida que, normalmente é formada por um grande número de indivíduos de pequeno porte. Este autor afirma ainda que, espécies vegetais que pertencem aos estágios iniciais de sucessão e que habitam locais alterados como grandes clareiras e bordas de vegetação

apresentam um padrão de distribuição em grupo, com um carácter agressivo pela sua capacidade de adaptação às variadas condições ecológicas.

Analisando os resultados referentes à estrutura vertical, nota-se que o maior número de indivíduos foi registado na classe central ($2,13 \leq H < 4,17$), o correspondente a 74% dos indivíduos amostrados, com $DAP \geq 5$. Estes resultados assemelham-se aos obtidos por Medeiros *et al.* (2021), que teve uma maior ocorrência nesta classe, com 62% dos indivíduos amostrados. Porém, os resultados referentes à altura não foram coerentes à semelhança do que aconteceu com as classes do diâmetro. Lima (1994) no seu estudo sobre o comportamento silvicultural da *P. juliflora* no Brasil, observou que o crescimento em altura não é afectado pela densidade dos indivíduos, porém, a competição entre eles afecta o crescimento em diâmetro.

3.8.3. Distribuição da *P. juliflora* nos diferentes tipos de solo

Os resultados do teste de Chi-quadrado, mostraram que há uma relação significativa entre a presença da *P. juliflora* e as características dominantes do tipo do solo ($P = 0.026$). A partir da Figura 18, é possível observar que, a *P. juliflora* ocorre em todos os tipos de solo, excepto nos arenosos. Além disso, há uma tendência de maior frequência da espécie em solos argilosos profundos. Isso é consistente com o facto de que a espécie tem uma preferência por solos com presença de argila, apesar da sua capacidade para tolerar uma vasta gama de solos, desde arenosos, argilosos pesados e pedregosos, alcalinos, com pH de 10,5 e com um nível de salinidade tão alto quanto das águas do mar (Pasicznik *et al.*, 2001).

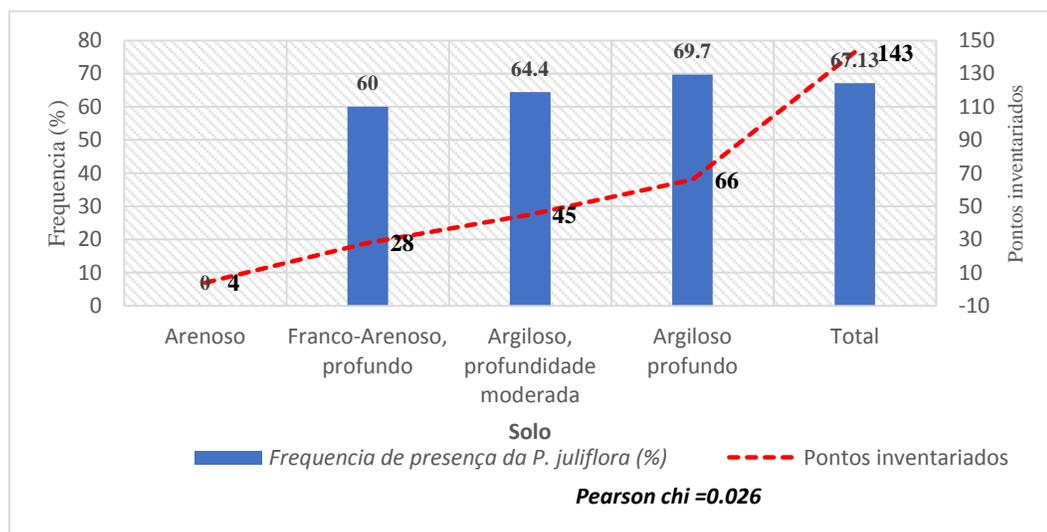


Figura 18. Distribuição da *P. juliflora* nos diferentes tipos de solo

Dakhil *et al.* (2021), ao avaliarem o risco global de invasão pela espécie *P. juliflora*, considerando a relevância do tipo de solo, constataram que, a presença de argila teve uma contribuição significativa para o risco de invasão, indicando uma maior afinidade desta espécie por solos com alta proporção de argila.

Por outro lado, a ausência da *P. juliflora* em solos de textura arenosa, pode derivar de uma combinação de factores, sendo um deles o facto desses solos serem pouco comuns na área, predominando em uma pequena área do distrito, próxima ao limite com o distrito de Bilene, onde há uma transição de solos argilosos para arenosos (Figura 19). A outra possibilidade é da espécie ainda não ter sido introduzida naquela região, pois a sua ocorrência em diferentes locais é geralmente atribuída à acção do homem e, posteriormente, os animais vão acelerando a sua expansão para diferentes pontos (Shackleton *et al.*, 2014; Walter, 2011; Laxén, 2007). Este fenómeno é bastante notório na maior parte das residências do distrito de Chókwè, pois grande parte da população usa a *P. juliflora* como sombra e cerca de currais, constituindo desta forma um foco de dispersão da espécie para as áreas circunvizinhas.

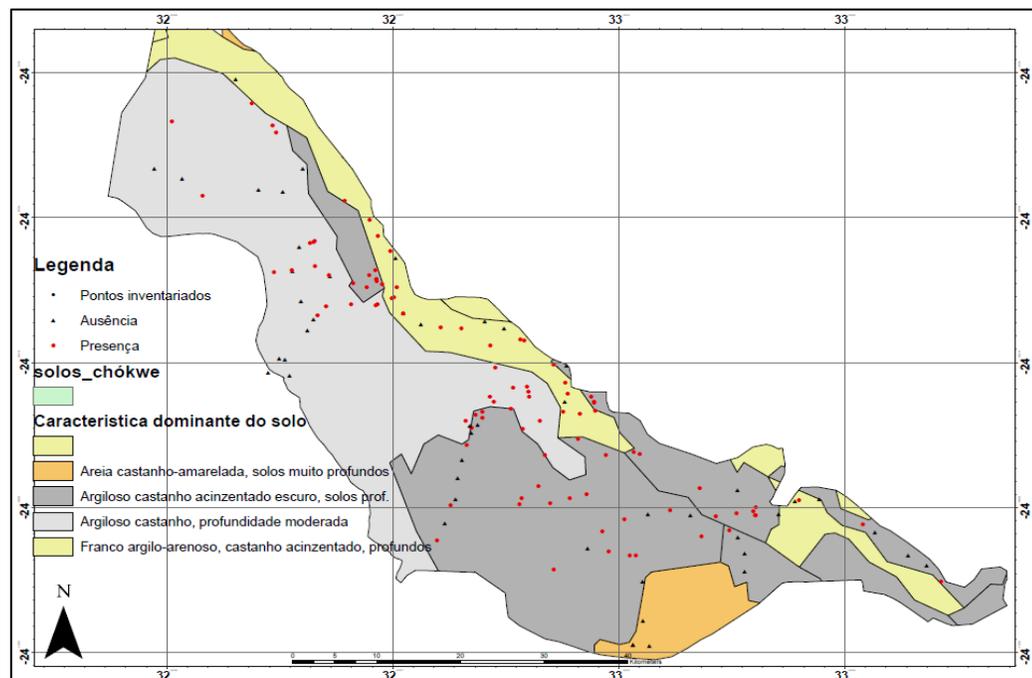


Figura 19. Distribuição dos pontos de ocorrência de *P. juliflora* nos diferentes tipos de solo

Uma das razões pelas quais a *P. juliflora* é frequentemente usada como sombra deve-se ao facto desta responder melhor em zonas áridas e semi-áridas, bem como em solos pesados e com alta salinidade (Pasicznik *et al.*, 2001). Essas características são comuns em uma grande parte do distrito de Chókwè, o que faz com que esta planta seja uma escolha popular para essa finalidade. No entanto, em áreas onde predominam solos arenosos especificamente na localidade de Chiaquelane, as árvores de sombra são dominadas pelos cajueiros, que são capazes de se desenvolver melhor em solos mais leves do que em solos pesados que dominam grande parte do distrito (Ribeiro *et al.*, 2008). A maior predominância dos solos pesados é evidente no gráfico anteriormente apresentado (Figura 19), onde os maiores pontos inventariados caíram nestes solos (111 pontos dos 145).

3.8.4. Distribuição da *P. juliflora* nos diferentes tipos de usos e cobertura do solo

Os resultados do teste de Chi-quadrado para o uso e cobertura do solo, mostram que há uma relação significativa deste com a presença da *P. juliflora* ($P=0.025$). A partir da Figura 20, observa-se que esta espécie esteve presente em todo o tipo de uso e cobertura do solo, com a excepção da floresta densa. Esta ausência, possivelmente estará associada ao facto de tratar-se de uma área natural, sem ocorrência de perturbações que possam promover a colonização pela mesma.

Este resultado é sustentado por Nascimento (2008), o qual observou uma situação similar onde, a *P. juliflora* não conseguiu invadir áreas climáx. Este autor, considera que esta espécie não é capaz de se estabelecer em comunidades vegetais nativas que se encontram em estágio avançado de sucessão, considerando ainda, uma hipótese da mesma não tolerar ambientes sombreados e, sendo assim, não se desenvolveria em ambientes cuja vegetação nativa se encontrasse intacta, com alta densidade e diversidade de espécies.

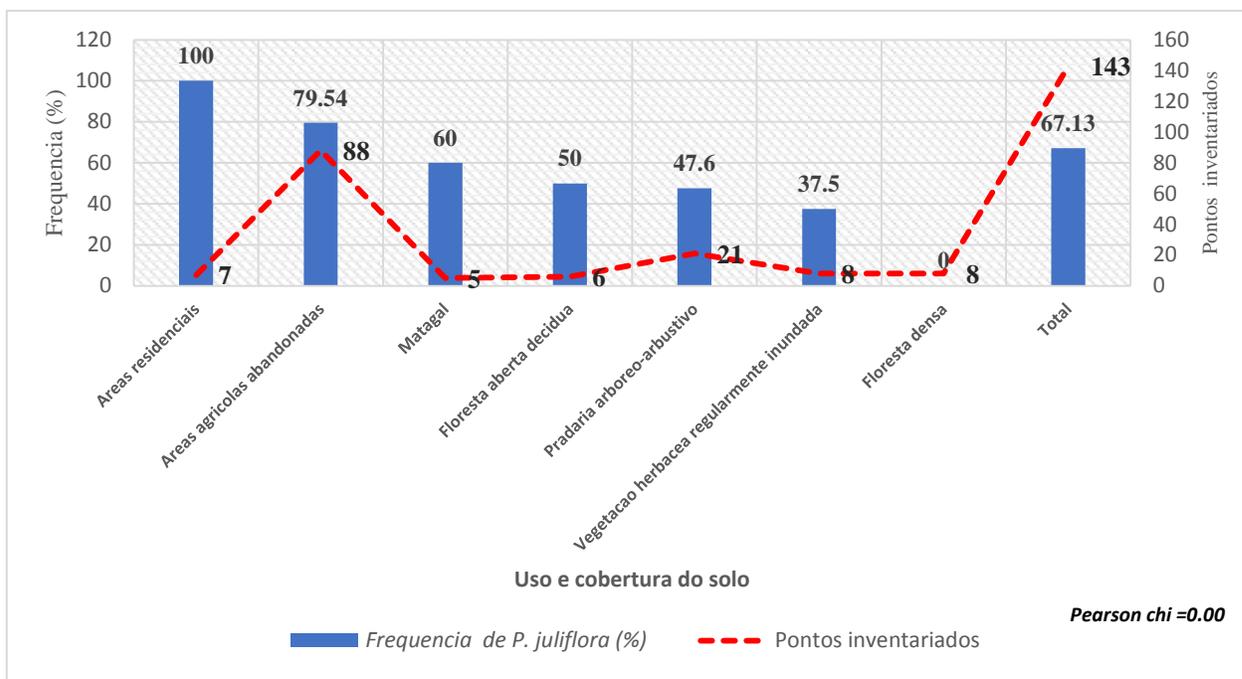


Figura 20. *P. juliflora* nos diferentes tipos de uso e cobertura de solo

De acordo com Dukes e Mooney (1999), o regime das perturbações antrópicas constitui um dos grandes factores que influenciam o nível de susceptibilidade de uma comunidade à invasão biológica. Este facto é evidenciado pela maior frequência de *P. juliflora* nos restantes tipos de uso e cobertura de solo, com destaque para áreas residenciais, agrícolas e matagal que apresentaram uma ocorrência de 100%, 79,54% e 60%, respectivamente. Porém, para as residências a ocorrência é atribuída à preferência no uso desta espécie como sombra, conforme explicado no subcapítulo anterior.

A Figura 20 mostra ainda que, as áreas agrícolas abandonadas foram as mais inventariadas neste estudo, com 88 pontos, e também as mais invadidas pela *Prosopis* (79,54%). Este resultado deve-se à existência de extensas áreas agrícolas no distrito que são notáveis em todos os postos administrativos. No entanto, devido aos problemas de salinidade que afectam o regadio de Chókwè, essas áreas foram na sua maioria abandonadas (Locheremua, 2004) e algumas utilizadas actualmente como zonas de pastagem. Esse uso aumenta a invasão da *P. juliflora*, visto que o gado é considerado um agente de dispersão das sementes desta planta (Shiferaw *et al.*, 2004; Pasiecznik *et al.*, 2001; Souza *et al.*, 1999).

Pasiecznik *et al.* (2004), consideram que nas áreas onde a *P. juliflora* foi introduzida, ela invade pastagens, áreas agrícolas abandonadas, resultando na formação de matas impenetráveis com centenas ou milhares de hectares, podendo também invadir rapidamente campos não cultivados. Esta preferência foi também constatada no estudo do Muturi (2012).

Por outro lado, os matagais, florestas abertas decíduas e pradarias arbóreo-arbustivas mostraram-se susceptíveis à invasão pela *P. juliflora*, apesar de não dominarem extensas áreas como as áreas agrícolas. A invasividade da espécie nessas áreas pode estar associada às perturbações que as mesmas sofrem e também à presença de agentes de dispersão, como animais que transportam sua semente duma área para outra (Shackleton *et al.*, 2014; Walter, 2011).

Um estudo sobre educação ambiental na mitigação dos efeitos climáticos no distrito de Chókwè, mostrou que 68,18% dos produtores de carvão contribuem para o desmatamento (Macorreia, 2020). As áreas desmatadas são posteriormente usadas como campos de produção agrícola, pastagens, caminhos para a circulação das pessoas, corte das estacas para construções de habitações, etc. De acordo com Byers (2002), se os distúrbios antrópicos forem intensos numa dada área, pode-se criar um cenário de incompatibilidade entre as características das espécies nativas e de seu ambiente natural, de forma que algumas espécies invasoras tenham uma melhor adaptação ao ambiente alterado do que as espécies nativas concorrentes. Ou seja, as perturbações criadas estariam na sua maioria a alterar o ambiente duma forma suficiente para criarem vantagens competitivas de *P. juliflora* sobre espécies nativas.

Resultados divergentes dos obtidos neste estudo foram reportados por Muturi (2012) que, ao estudar o impacto ecológico da invasão da *P. juliflora* numa floresta no Quênia, constatou que esta encontrava-se distribuída em todas as classes de cobertura do solo, incluindo florestas, mostrando que as invasões por esta espécie podem atingir até áreas estáveis. Por sua vez, Booth *et al.* (2003), consideram que a perturbação, nem sempre é necessária para que uma invasão ocorra, e mesmo ecossistemas naturais intactos podem ser invadidos. Esta constatação é secundada por King e Grace (2000) citados pelos mesmos autores, os quais descobriram que a *Imperata cylindrica* não exigia brechas de perturbação para invadir uma floresta de pinheiros, à semelhança de Almasi (2000) que observou que a *Tibouchina herbaceae*, uma pequena planta perene invade florestas não perturbadas do Havaí e Maui.

3.8.5. Expansão da invasão com o tempo (2010-2021) e focos iniciais da introdução da *P. juliflora*

Os resultados das imagens satélites apresentadas na Figura 21, mostram a expansão da invasão da *P. juliflora* que ocorreu numa área agrícola e uma berma da estrada no Posto Administrativo de Macarretane. Não obstante a ausência de dados que pudessem ilustrar em termos de percentagem da área ocupada, é possível notar através das imagens que no ano 2010 não haviam vestígios da invasão. Porém, à medida que o tempo foi passando, pequenas manchas da invasão começaram a ser notórias entre os anos 2014 e 2017, com tendência a alastrar-se cada vez mais.

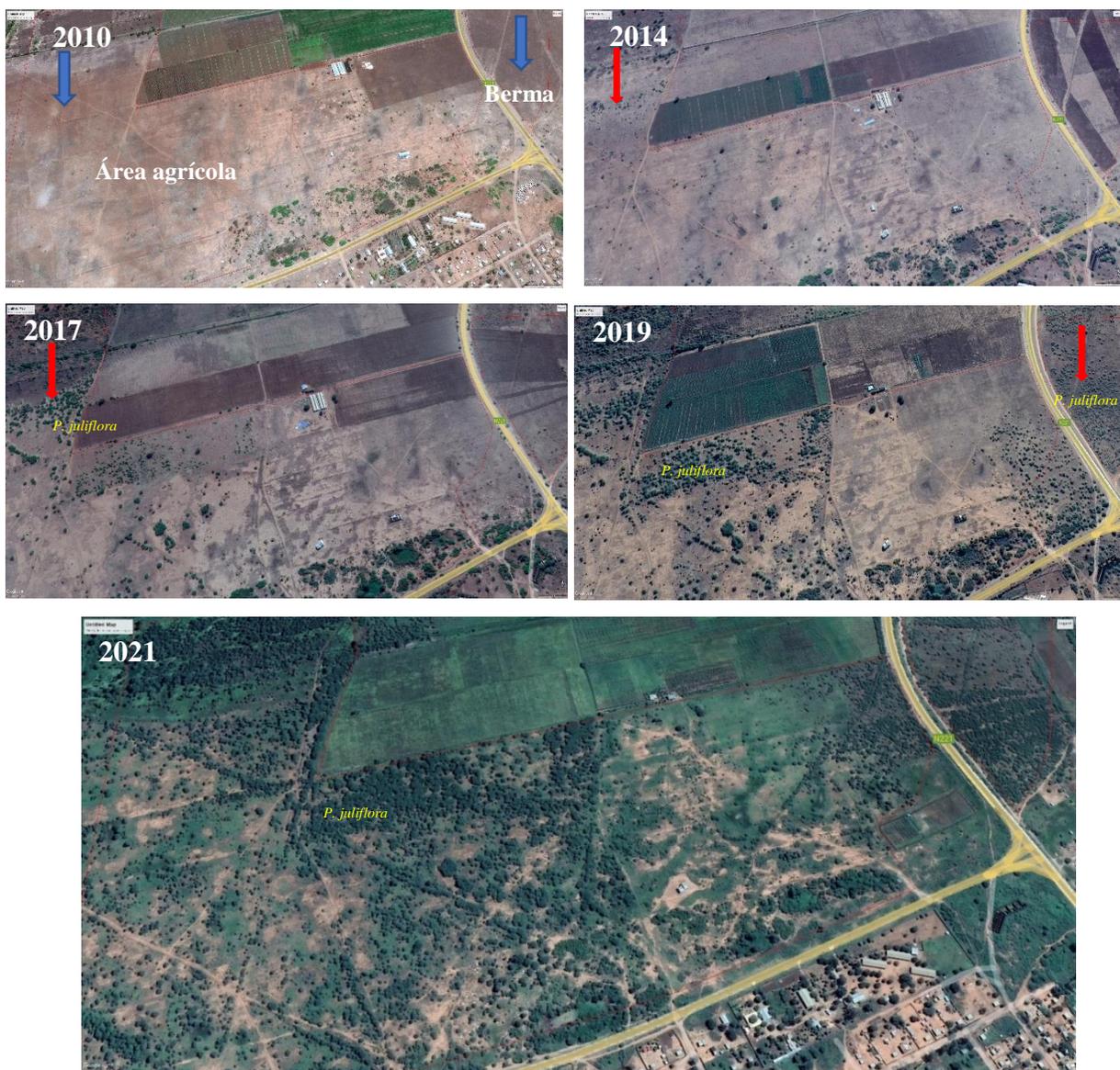


Figura 21. Evolução da invasão de *P. juliflora* no Posto Administrativo de Macarretane, entre os anos 2010 e 2021.
Fonte: Google Earth

Na imagem do ano 2019 já era evidente uma cobertura muito extensa da espécie na berma da estrada, assim como na área agrícola, quando comparado com as imagens dos anos anteriores. Na imagem do ano 2021, período em que foi conduzido o presente estudo, foi possível verificar em pleno campo que a área em causa apresentava uma cobertura e abundância de *P. juliflora* de mais de 75%, o que também é evidente na imagem do mesmo ano, significando que a espécie expandiu bastante a sua área de ocupação ao longo do tempo.

Estudos ligados ao mapeamento e monitoria das invasões por *P. juliflora*, conduzidos por diversos autores, apontam para resultados similares aos encontrados neste ou mais alarmantes do que os aqui observados (Masakha, 2015; Haregeweyn *et al.*, 2013; Engda, 2009; Tewari *et al.*, 2001). Um estudo similar sobre taxas de mudanças de cobertura do solo conduzido por Howari *et al.* (2022), nos Emirados Árabes Unidos, foi possível constatar uma rápida mudança de cobertura da área entre os anos 2010 e 2019, com a *P. juliflora* a expandir a sua área de 5,32 km² para 15.912 km², o equivalente a 33,44% de avanço. De forma análoga, Tewari *et al.* (2001) e Jadhav *et al.* (1993), fazendo mapeamento e monitoramento de pastagens de Banni, na Índia, usando dados de sensoriamento remoto, verificaram que dentro de 9 anos (1980-1988) a *P. juliflora* aumentou a sua área de 378 km² para 684 km² (um aumento de 81%), o correspondente a uma taxa de aproximadamente 25 km²/ano.

Outros resultados similares foram observados na Etiópia, onde a *P. juliflora* foi detectada pela primeira vez numa imagem satélite de 1987, cobrindo uma área total de 78,56 km², porém, aumentos subsequentes para 88,10 e 107,86 km² foram observados em 1999 e 2004, respectivamente (Haregeweyn *et al.*, 2013). Engda (2009), analisando a dinâmica espacial e temporal de *P. juliflora* na região de Afar ainda no mesmo país, constatou que no período de 2001 a 2007 a invasão atingiu 11.578 ha, partindo duma situação inicial de 3.848 ha durante o ano de 2001, o que correspondeu a uma taxa de propagação de 1.288,4 ha/ano.

Masakha (2015), usando imagens de satélite de 1998 e 2012 para determinar a taxa de propagação da *P. juliflora* e seu impacto em outros usos da terra no Quênia, notou que em 1998, *P. juliflora* cobria apenas 2.906 ha, o que representava 4,2% da cobertura do solo da área de estudo. No entanto, em 2012, ela se espalhou muito rapidamente para 8.555 ha, representando um incremento anual de 68,1%.

Estes resultados mostram o que muitos autores têm escrito relativamente às características das espécies invasoras, com destaque para a *P. juliflora*, uma espécie que apresenta características biológicas que a tornam uma invasora potencial, com capacidade de ocupar e expandir muito rapidamente para novas áreas (Shiferaw *et al.*, 2004; Tewari *et al.*, 2001 e Pasiecznik *et al.*, 2001). Este feito consegue-se graças à alta produção de sementes, podendo chegar a 140.000 sementes/por ano, produção de frutos atractivos para os animais, capacidade de sobrevivência dos propágulos à digestão dos animais, formação de banco de sementes no solo, que dada a sua dormência e a longevidade servem para dar início a novas invasões, bem como ao início precoce da fase reprodutiva, entre outras características (Chapman, 2019; Walter, 2011; Pasiecznik *et al.*, 2001; Ribaski, 2000).

3.8.6. Focos iniciais de *P. juliflora* no distrito de Chókwè

A partir das imagens de satélite apresentadas no subcapítulo anterior, mostrando a expansão da área invadida pela *P. juliflora*, observou-se que para o ano 2010, não haviam manchas visíveis da invasão, estando a área seleccionada completamente limpa. Porém, quando se observa as imagens das áreas residenciais (Figura 22), próximas a área anteriormente mencionada é possível notar para o mesmo ano a presença de *P. juliflora* nos quintais das residências as quais foram mapeadas durante o estudo. Este facto, evidencia que esta espécie apareceu primeiro nas áreas residenciais e a partir destas começou a se espalhar para as áreas circunvizinhas.



Figura 22. Árvores de *P. juliflora* usadas como sombra numa área próxima à área invadida

Fonte: Google Earth

Vários estudos apontam que as infestações de *P. juliflora* resultam, em muitos casos, de uma introdução intencional, visto que esta espécie apresenta também benefícios, associados a capacidade de poder crescer em ambientes áridos e inóspitos, o que contribuiu para que fosse adotada como sombra ao redor das residências. Além disso, a mesma é usada para vários outros fins, como cerca viva nos quintais, lenha, madeira, alimentação do gado, entre outros fins (Patnaik, 2017; Oduor & Githiomi, 2013).

Boy e Wiit (2013), afirmam que entre os anos 1970 e 1980, houve um programa de reflorestamento baseado no uso de *P. juliflora* em vários países africanos, com financiamento de agências internacionais de desenvolvimento, juntamente com várias ONGs, que incentivaram as comunidades pobres em zonas áridas com pastagens degradadas para plantarem esta espécie exótica com o propósito de melhoria de vida. O mesmo cenário foi constatado por Wakie *et al.* (2012), em entrevistas aos membros duma comunidade na região de Afar na Etiópia, que indicaram que o plantio intencional de *P. juliflora* foi facilitado por várias organizações governamentais, incluindo o Ministério da Agricultura daquele país.

As constatações acima referidas, foram também relatadas por alguns anciãos consultados nas residências onde foram feitos os levantamentos. Não obstante não se ter conduzido um estudo visando aferir o processo de introdução de *P. juliflora* no distrito de Chókwè, os consultados afirmaram que houve um programa de distribuição de mudas desta espécie, as quais eram produzidas em viveiros localmente estabelecidos. Segundo os mesmos, a orientação recebida foi de plantarem as mudas nos seus quintais para a obtenção de sombra e produção de vagens para a alimentação de gado. Este facto foi testemunhado em pleno campo, pois algumas residências tinham currais cuja cerca era *P. juliflora* (Figura 23), o que pode sustentar a tese de que o foco de infestação tenha sido as áreas residenciais, e as áreas invadidas possam ter resultado em parte da acção do gado, pois este é apontado em vários estudos como um dos maiores agentes de disseminação desta espécie (Abbas *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 1999).



Figura 23. *P. juliflora* usada como cerca do curral e caprinos alimentando-se das vagens a caminho das áreas de pastagem

Fonte: Autor

i) Comparação dos diâmetros e alturas da *P. juliflora* entre as residências e áreas invadidas

Os resultados da ANOVA mostraram haver diferenças significativas ($P = 0.00$) nas médias do diâmetro e da altura de *P. juliflora* em áreas residenciais e invadidas, respectivamente para todo o distrito de Chókwè (Figura 24 e 25).

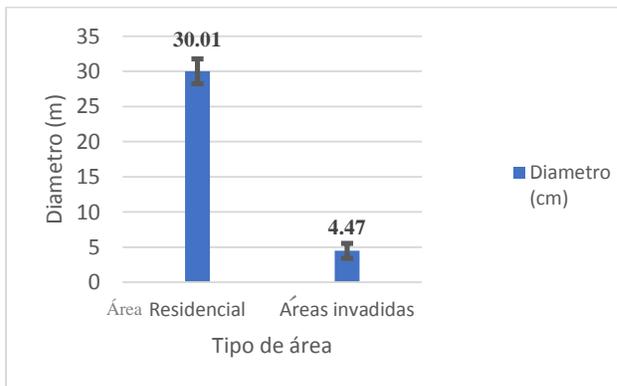


Figura 24. Diâmetro de *P. juliflora* nas áreas residenciais e invadidas

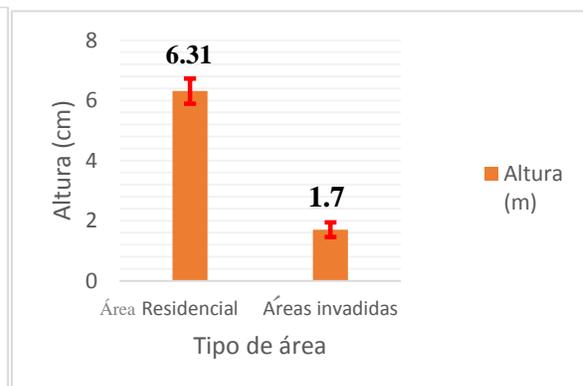


Figura 25. Altura de *P. juliflora* nas áreas residenciais e invadidas

Conforme apresentado nas duas figuras, o diâmetro para as áreas residenciais teve uma média de 30,1cm (erro padrão $\pm 1,8$) contra 4,47 cm (e.p $\pm 1,1$) das áreas invadidas. O mesmo cenário foi verificado na variável altura, onde a espécie *P. juliflora* nas áreas residenciais apresentou uma maior altura média relativamente às áreas invadidas, com 6,31 m (e.p $\pm 0,42$) contra 1,7 m (e.p $\pm 0,24$), respectivamente. Estes resultados aliados aos apresentados nas imagens satélites, mostram

fortes evidências de que as invasões da *P. juliflora* ao nível do distrito de Chókwè tiveram como pontos iniciais as áreas residenciais.

Lima (1994), ao avaliar o crescimento em altura das espécies de *P. juliflora* em Petrolina, no Brasil, verificou que passados 9 anos a mesma apresentou uma altura de aproximadamente 6,5 m, com uma taxa de crescimento anual de 0,79 m. Por sua vez, Andrade *et al.* (1993), num estudo sobre a selecção de espécies de *P. juliflora* numa região semi-árida no Brasil, relatou uma altura média de 2,79 durante um período de 5 anos.

Relativamente ao diâmetro, Lima (1994), notou que até aos 9 anos a *P. juliflora* apresentou um diâmetro médio de 15 cm, contudo, o mesmo autor afirma que devido à mortalidade ocorrida nas espécies em estudo pode ter interferido no desenvolvimento do povoamento, favorecendo o crescimento em diâmetro das plantas que permaneceram vivas. Segundo o mesmo, o crescimento em altura não é afectado pela densidade do povoamento, todavia, a competição entre árvores afecta o crescimento em diâmetro.

Assim, atendendo que o estudo conduzido por Lima (1994), decorreu em condições edafo-climáticas muito próximas às da área deste estudo e, comparando as alturas das áreas invadidas com as obtidas nas áreas residenciais há fortes evidências, de que a espécie *P. juliflora* usada como sombra tenha mais de 9 anos e, as áreas invadidas tenham passado pelo processo de invasão há aproximadamente 4 anos. Todavia, Lima (1994), citando Muthana (1988), reportou que estudos conduzidos em outras regiões como a Índia, demonstraram uma variação em altura e no diâmetro das árvores de *P. juliflora* em função da idade e do local. Diferentes plantios de *P. juliflora* com 7, 8 e 9 anos, apresentaram alturas médias de 6,90 m, 8,44 m e 5,92 m, respectivamente, como observado na região de Jhunjhunu, enquanto que em Sardarshahar, para as mesmas idades, foram encontradas alturas médias de 6,13 m, 7,95 m e 7,26 m.

ii) Proximidade entre as áreas invadidas e áreas residenciais no distrito de Chókwè

A Figura 26 mostra a distribuição dos pontos de ocorrência de *P. juliflora* em relação às áreas residenciais. Foram criados três perímetros com raios de 1,5 km, 3 km e 5 km à volta das áreas residenciais. Da observação do mapa, verifica-se, que há uma maior ocorrência de *P. juliflora* (77%) num raio de até 5 km, e poucas ocorrências acima deste raio (23%). Este cenário,

associado ao que foi apresentado no subcapítulo anterior, sustenta cada vez mais a tese de que os focos iniciais de *P. juliflora* são as zonas residenciais.

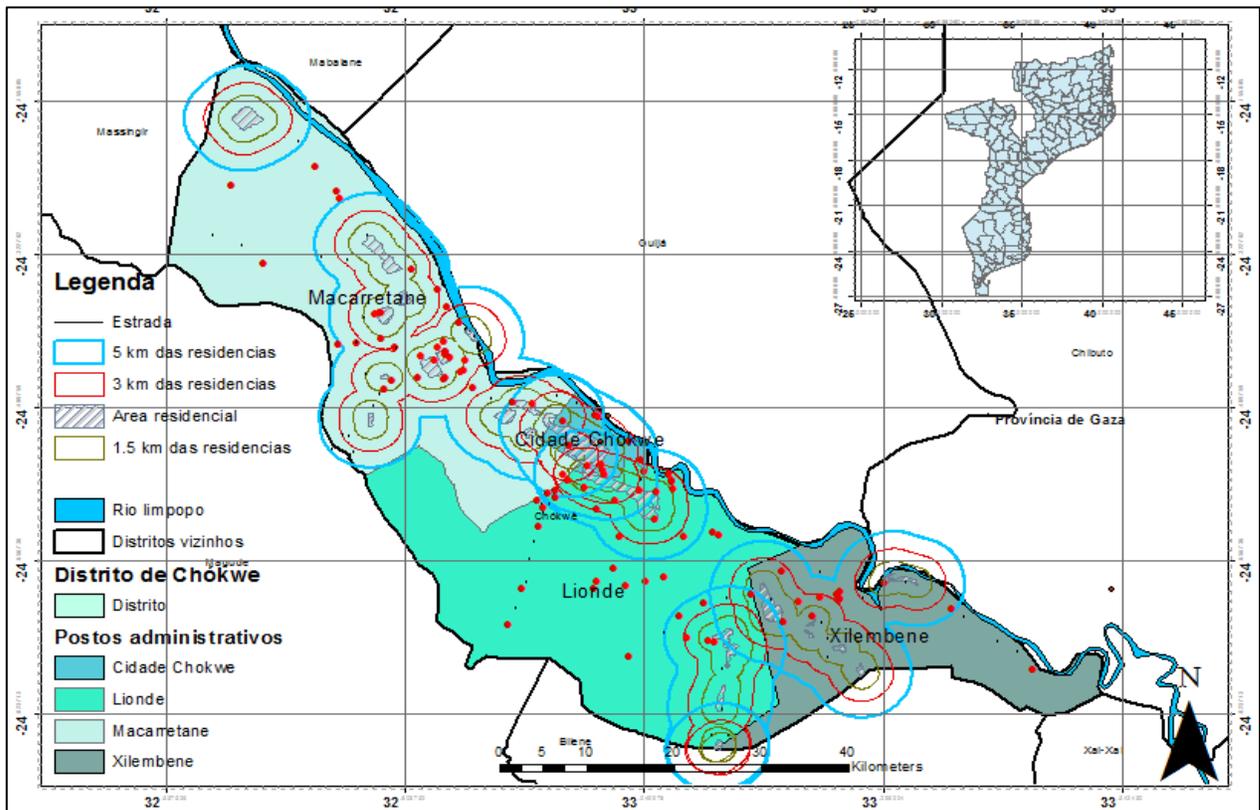


Figura 26. Proximidade das áreas invadidas com as residências

3.8.7. Análise da distribuição actual e futura de *P. juliflora* em Moçambique

Os resultados obtidos neste estudo, mostram como seria a distribuição de *P. juliflora* a nível nacional, desde a situação actual (2022) e no futuro (2050 e 2080), em condições balanceadas (A1B) e pessimistas (A2), relativamente ao clima.

Os modelos ajustados através do *software* MaxEnt resultaram em curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*), obtidos através da média de 15 replicações realizadas (Figura 25). Estas curvas fazem a relação entre a sensibilidade e a especificidade, que podem ser traduzidos na capacidade do modelo em diagnosticar os verdadeiros positivos (presenças) e negativos (ausências), respectivamente (Trindade, 2019). Os resultados da área abaixo da curva ROC (AUC) apresentaram valores altos, variando de 0,88 a 0,91, com um desvio padrão muito baixo,

variando de 0,05 a 0,08. E, o teste binomial de omissão apresentou valores significativos ($p < 0,01$) para todos os limites de decisão ou de corte testados (*thresholds*) e com uma baixa taxa de omissão (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados dos testes de validação do modelo

Ano	Cenários	AUC	<i>P-value</i> <0.01	<i>Threshold</i>
Actual (2022)	–	0,9118 ± 0,0608	0,0069	0,44
2050	A1B	0,8824 ± 0,0838	0,0096	0,45
	A2	0,9191 ± 0,0543	0,0068	0,39
2080	A1B	0,8983 ± 0,0632	0,0065	0,41
	A2	0,9107 ± 0,0536	0,0038	0,40

Nota: A1B_Cenário balanceado e A2_Cenário pessimista

Segundo Trindade (2019), os resultados aqui obtidos denotam uma elevada capacidade preditiva do modelo, pois todos os valores de AUC aproximam-se de 1 (valor máximo que pode assumir), contrariamente a uma previsão aleatória, cujo valor de AUC é de 0,5 (Figura 25). De acordo com Dalapicolla (2016), este valor (AUC) mede a capacidade discriminatória do modelo, que é interpretado como a probabilidade de que ao seleccionarmos aleatoriamente dois pontos, um de presença e outro de ausência, o modelo consiga prever os dois correctamente, o que pode-se esperar nos modelos aqui gerados.

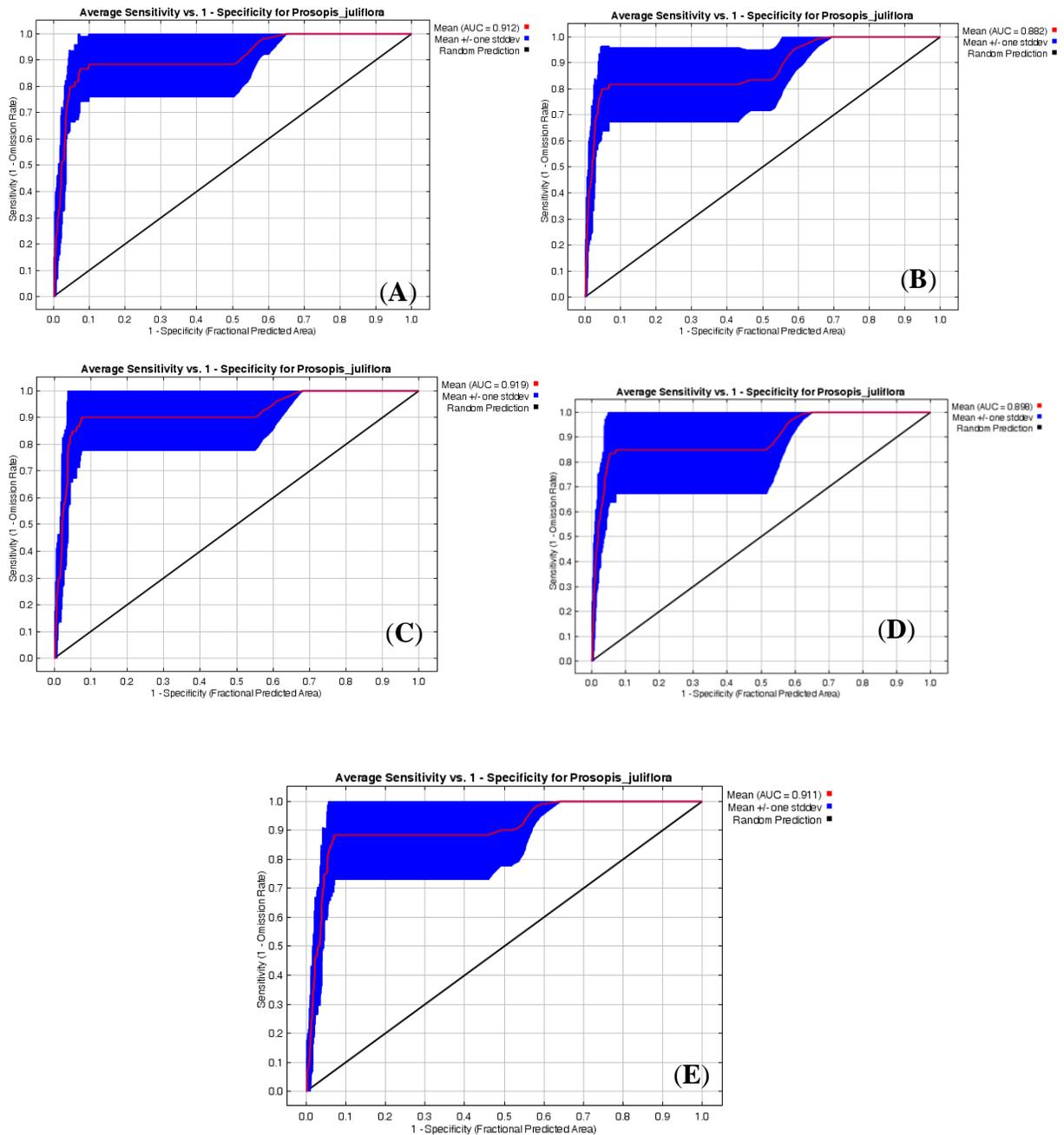


Figura 27. Curvas ROC (*Receiver operating characteristic*) para os dados teste, AUC (vermelho), desvio padrão (azul) e previsão aleatória (preto), para 2022 (A), 2050 (B e C) e 2080 (D, E) nos cenários A1B e A2, respectivamente.

3.8.8. Avaliação da contribuição das variáveis para o modelo

A Tabela 4, a seguir apresentada mostra as estimativas médias de contribuições relativas das variáveis analisadas para o modelo MaxEnt, baseados no teste de Jackknife. A partir desta tabela, é possível notar que para todos os anos e cenários (A1B e A2), as variáveis de maior expressão em ordem decrescente para o modelo foram: a sazonalidade da precipitação (Bio 15), solos, variação diurna média da temperatura (Bio 2), altitude e vegetação. As variáveis de menor contribuição foram: a temperatura anual (Bio 1), temperatura média do trimestre mais seco (Bio 9), precipitação do mês mais seco (Bio 14) e precipitação anual (Bio 12).

Tabela 4. Percentagem de contribuição das variáveis de estudo para o modelo

Variável	Presente	Ano/cenário			
		2050/A ₁ B	2050/A ₂	2080/A ₁ B	2080/A ₂
Bio 15	36,6	42,1	39,7	44,5	43,1
Solo	32,7	25,9	32,5	29	31,9
Bio 2	15,8	13,7	13,3	11,4	8,4
Altitude	8	13,7	8,4	10,7	11,7
Vegetação	3,5	2,7	3,9	2,6	2,7
Bio 12	3,3	1,4	2,1	1,1	0,4
Bio 14	0,1	0,1	0	0,6	1,4
Bio 9	0	0,3	0	0,1	0,3
Bio 1	0	0	0	0	0

A sazonalidade da precipitação (Bio15) foi a variável que mostrou uma elevada contribuição para o modelo, o que pode evidenciar que a *P. juliflora* tem uma grande afinidade com a distribuição da precipitação, pois esta espécie é típica de zonas áridas e semi-áridas, e responde melhor em condições de baixa precipitação. Este facto é sustentado por Lima (1994) que considera que, em geral, os pontos máximos de reprodução ocorrem em períodos de baixa precipitação e um elevado *stress* hídrico.

A elevada contribuição da sazonalidade da precipitação (Bio15) para o modelo indica que essa variável é um fator importante que influencia a presença e a abundância da *P. juliflora* em determinadas áreas.

Uma previsão da distribuição potencial de *P. juliflora* feita por Dakhil *et al.* (2021), mostrou que há um aumento linear na adequabilidade de ocorrência de *P. juliflora* com o aumento da capacidade de água disponível no solo de 2% para 11,5% e acima disso já não se verifica

nenhuma alteração. Este facto, mostra que esta planta não precisa de elevada humidade para o seu desenvolvimento.

As variáveis vegetação e solos, mais uma vez voltaram a demonstrar que têm uma grande relação com a ocorrência da *P. juliflora*, podendo contribuir para prever as zonas potenciais para a sua ocorrência a nível nacional, pois, na área de estudo foi possível constatar essa associação, tal como discutido no subcapítulo 3.7.9.

Num estudo feito por Dakhil *et al.* (2021) sobre o risco global de distribuição de *P. juliflora* ao nível dos biomas constataram que as pastagens tropicais, subtropicais e matagais são os mais preferidos pela mesma e, no referido estudo, Moçambique aparece como uma região com áreas susceptíveis à invasão, sobretudo a zona sul.

Os resultados deste estudo corroboram também com os obtidos por Heshmati *et al.* (2019), que ao avaliarem a invasão global de *P. juliflora* desencadeada pelas mudanças climáticas, constataram uma contribuição de 12,9% para a variável variação da temperatura média diurna (Bio 2). Contudo, para as variáveis Bio 1 (temperatura anual) e Bio 12 (precipitação anual), os resultados são divergentes, sendo que para o referido estudo, as mesmas tiveram uma maior contribuição. A divergência entre os dois estudos pode estar associada ao facto de neste, ter-se incluído a vegetação e o solo, o que não aconteceu no dos autores referenciados anteriormente, os quais focaram apenas nas variáveis climáticas, sem incluir as outras duas, que neste estudo mostraram uma maior expressão quando comparadas com às que eles prestaram mais atenção (Bio 1 e Bio 12).

Ao modelar a distribuição potencial da *P. juliflora*, Amiri *et al.* (2022) observaram que a variável climática Bio 2 teve uma contribuição significativa, a qual foi atribuída à maior demanda energética da espécie para suas actividades fisiológicas. Dakhil *et al.* (2021) ressaltam que, no contexto das mudanças climáticas, espera-se um aumento significativo da temperatura, o que pode aumentar o risco de expansão da *P. juliflora*, uma vez que a taxa de germinação das sementes está associada ao aumento da temperatura. Essa preocupação é também destacada na Estratégia Nacional para a Mitigação das Mudanças Climáticas (MICOA, 2012), que aponta cenários climáticos desenvolvidos para Moçambique indicando aumento da temperatura média do ar entre 1,8 °C a 3,2 °C, redução da precipitação entre 2% a 9%, aumento da radiação solar

entre 2% a 3% e aumento da evapotranspiração entre 9% a 13%, condições que podem favorecer a invasão da espécie no país.

3.8.9. Avaliação das áreas potencialmente propensas para invasão da *P. juliflora* para os anos 2022, 2050 e 2080

Os resultados das previsões de distribuição potencial da *P. juliflora* obtidos através das variáveis climáticas e físicas, mostram que a área actualmente propensa à invasão por esta espécie no país, corresponde a 54,6%. Contudo, nos próximos anos esta área mostra uma tendência de aumentar, num contexto de mudanças climáticas, onde num cenário péssimo (A2) a percentagem da área poderá atingir 62,9% a 63,9% para os anos 2050 e 2080 (Tabela 5).

Tabela 5. Percentagem da área potencialmente propensa para a invasão *P. juliflora*, no presente e no futuro (2050 e 2080) num cenário de mudanças climáticas (A1B e A2)

Ano	Cenários	Percentagem da área potencial (%)	
		Inadequada	Propensa
Actual (2022)	–	45,4	54,6
2050	A1B	41,8	58,2
	A2	37,1	62,9
2080	A1B	39,1	60,9
	A2	36,1	63,9

Segundo Dukes e Mooney (1999), nos últimos dois séculos, taxas aceleradas de uso de combustíveis fósseis e desmatamento conduziram às concentrações cada vez mais crescentes de CO₂. Este autor afirma ainda que, em ambientes livres de competição, as espécies invasoras tendem a responder fortemente a elevadas concentrações de CO₂, citando como exemplo dessas espécies, a *P. juliflora*. Um comportamento similar é revelado a partir da tabela 5 onde ao comparar os cenários de emissões balanceadas (A1B) com as altas (A2), para o mesmo ano de análise, verifica-se que a percentagem da área propensa aumenta.

Resultados similares aos do presente estudo, foram obtidos por Dejene *et al.* (2020), estudando a dinâmica regional na distribuição de *P. juliflora* sob mudanças climáticas em África para 2050 e 2070. Estes autores constataram que, além do aumento da área propensa à invasão, a zona sul e

parte das zonas centro e norte de Moçambique apresentaram-se como altamente a moderadamente propensas à invasão pela espécie, conforme observado neste estudo (Figura 28).

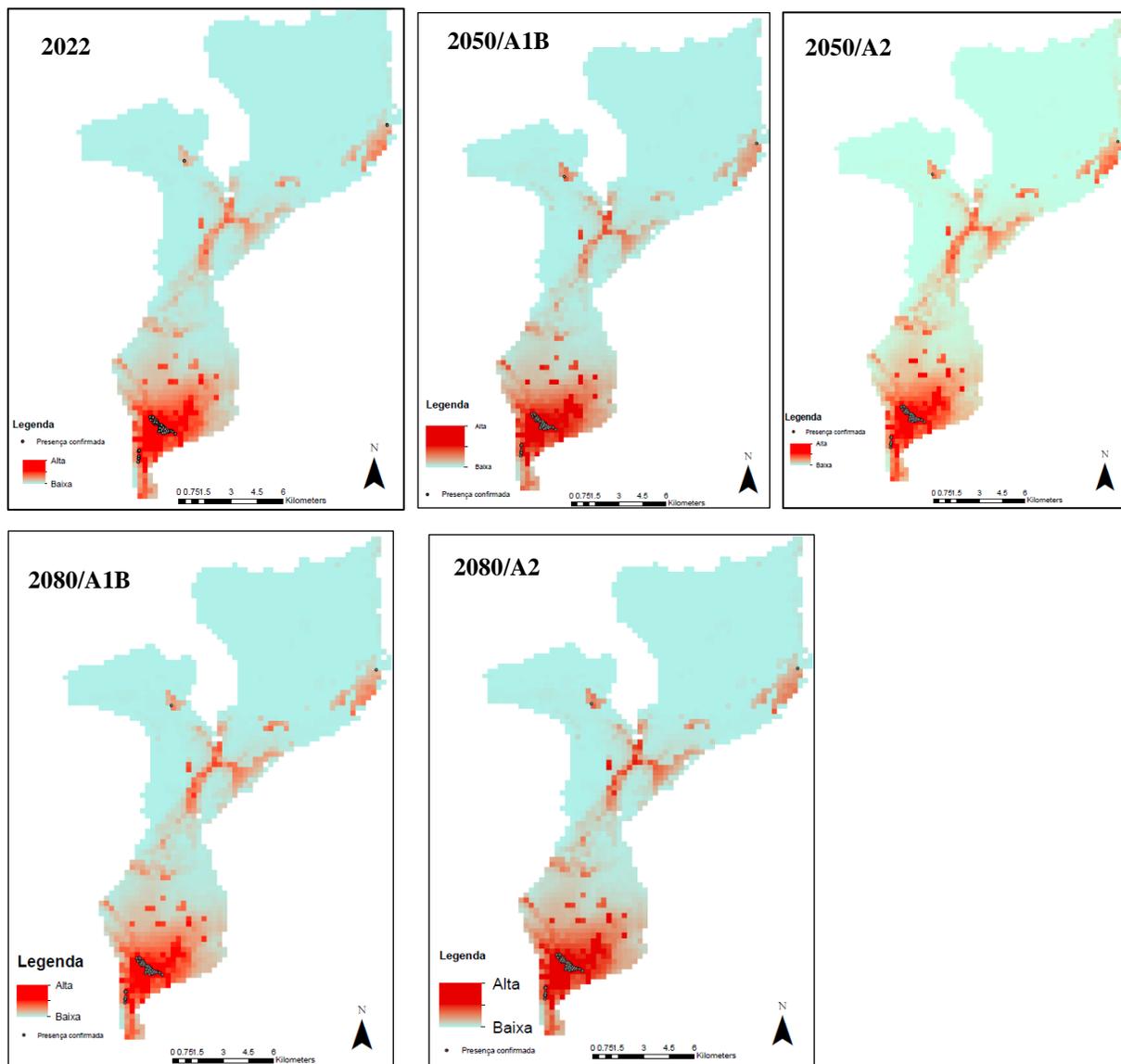


Figura 28. Áreas potencialmente propensas à invasão de *P. juliflora* em Moçambique, actualmente e no futuro, num contexto de mudanças climáticas

Na Figura 28 apresentam-se as áreas potencialmente propensas à invasão da *P. juliflora* a nível nacional. Verifica-se que a zona sul possui uma maior área de risco de invasão pela *P. juliflora* em todos anos e cenários climáticos. As zonas centro e norte, quando comparadas à zona sul, as áreas potenciais estão em menor proporção, dominando mais uma escala intermédia de adaptação. Esta adaptação possivelmente estará relacionada com a altitude, visto que a mesma

revelou-se ter uma contribuição significativa para o modelo, aliado ao facto das zonas onde predominam altitudes elevadas (centro e norte) não apresentarem uma grande área de adaptabilidade, segundo os mapas. Corroborando com este cenário, Dejene *et al.* (2020), constatou no seu estudo que para altitudes baixas a probabilidade de adaptação era alta e moderada para à condição climática actual.

Analisando os mapas apresentados, é possível notar ainda, que as áreas das zonas centro e norte, propensas a invasão, possuem características similares às do distrito de Chókwè, especialmente quanto ao tipo de solo e altitude (INGC, 2009). A extensão da área propensa na zona centro é dominada por planícies e solos pesados, que segundo o INGC (2009) é vulnerável a inundações e estresse hídrico, tal como no distrito de Chókwè. Além disso, de acordo com o relatório nacional para a convenção sobre a diversidade biológica de Malawi (Government of Malawi, 2019), há registo de ocorrência e uma rápida expansão de *P. juliflora* nos distritos de Chikwawa e Nsanje, que fazem fronteira com Moçambique, especificamente na área anteriormente citada como propensa. Isso sugere que há uma possibilidade da espécie atingir essa área, uma vez que, as zonas de ocorrência do lado de Malawi são atravessadas por rios que se ligam ao rio Zambeze, podendo facilitar a disseminação da semente de *P. juliflora* para esta zona.

Vários outros autores como EPP0 (2018); Heshmati *et al.* (2019) e Dakhil *et al.* (2021), apresentaram resultados que mostram que grande parte do território nacional é altamente propensa à invasão pela *P. juliflora*. Booth *et al.* (2003) consideram que uma distribuição potencial fornece uma ideia das regiões climáticas onde uma espécie é capaz de sobreviver no ambiente físico. Contudo, isso não significa que a espécie poderá sobreviver, porque a distribuição da mesma não é limitada apenas pelos factores edafoclimáticos, como também pela falta de dispersão ou pela interacção com outras espécies.

Um dos maiores agentes de dispersão da semente de *P. juliflora* é o gado, contudo não foi incluído nestes modelos, por insuficiência de dados de distribuição de gado (caprino e bovino) a nível nacional. Porém, dada a semelhança dos modelos gerados por outros autores anteriormente descritos e pelo facto de alguns distritos vizinhos das áreas consideradas propensas, terem reportado a ocorrência de *P. juliflora*, há evidências do modelo gerado neste estudo ser indicativo da distribuição potencial de *P. juliflora* no país, servindo desta forma para a chamada

de atenção aos tomadores de decisão, sobre o grande risco de invasão. Assim, há necessidade de se tomar medidas preventivas para que a situação não se torne alarmante nos próximos anos.

3.9. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste estudo, conclui-se o seguinte:

- A *Prosopis juliflora* possui uma ocorrência de 67% nas diferentes áreas seleccionadas para o estudo e está presente em todos os postos administrativos do distrito de Chókwè.
- Os pontos de maior abundância de *P. juliflora* estão mais concentrados nos postos administrativos de Macarretane, Lionde e Chókwè.
- Nos pontos estudados houve uma maior ocorrência de indivíduos de *P. juliflora* com um diâmetro abaixo de 5 cm, indicando que a invasão ainda está em curso.
- A presença de *P. juliflora* está associada ao tipo de solo e vegetação, com os solos arenosos e floresta densa os menos susceptíveis à invasão.
- A expansão da área invadida aumentou ao longo dos anos e com provável ano de início da expansão acelerada o de 2013, tendo como focos iniciais de dispersão as áreas residenciais.
- As áreas potencialmente propensas para *P. juliflora* no país estão mais concentradas na zona sul e centro. Essas áreas podem atingir 62,99% e 63,9% para os anos 2050 e 2080, respectivamente.

CAPÍTULO IV. Avaliação do impacto de *P. juliflora* sobre a diversidade florística no distrito de Chókwè

RESUMO

A *P. juliflora* é uma espécie xerófita, originária da América Central e do Sul e bastante conhecida em vários países do mundo devido aos seus impactos negativos ao bem-estar ecológico, através da modificação dos nichos que nalguns casos leva à extinção de espécies nativas. Em Moçambique, encontra-se espalhada em extensas áreas do distrito de Chókwè, porém pouco se sabe sobre os reais impactos na comunidade vegetal deste distrito. Assim, foi conduzido um estudo com o objectivo de avaliar os impactos da *P. juliflora* na diversidade florística no distrito de Chókwè. Para o efeito foram seleccionadas 7 áreas invadidas e não invadidas por *P. juliflora*, adjacentes uma da outra. Em cada área seleccionada demarcou-se uma parcela de 20 m x 50 m e dentro da mesma foi inventariada a vegetação herbácea com recurso a uma quadrícula de 1m², colocada debaixo da copa da espécie de estudo. Dez quadrículas foram lançadas em cada área invadida e não invadida, seguindo um padrão de amostragem em formato “W”, totalizando 70 quadrículas para cada tipo de área. Em cada quadrícula registou-se a abundância, cobertura e sociabilidade para cada espécie. As variáveis de análise foram: frequência, abundância, cobertura, índice de valor de importância (IVI), riqueza, os índices de diversidade de Shannon-Wiener e Simpson. Os índices de diversidade foram determinados a partir dos *números Hill* e comparados com base no intervalo de confiança de 95% obtido por meio do método bootstrap com 100 repetições, usando o *iNext online*. Os resultados deste estudo revelaram que as famílias Poaceae, Asteraceae, Malvaceae e Fabaceae foram as mais representativas no distrito de Chókwè. Para a área não invadida foram encontradas 51 espécies, onde a de maior importância foi a *Urochloa mosambicensis* (IVI=24,13), enquanto a área invadida contou com 16 espécies, onde a mais importante foi *Panicum maximum* (IVI=38,80). Não houve semelhança entre as duas áreas, sendo a de maior diversidade a não invadida com índice de *Shannon* de 28,65 e Simpson de 17,94, enquanto a invadida teve 12,91 e 10,65 para os dois índices, respectivamente. Isso revela que a *P. juliflora* tem impacto sobre a diversidade de espécies no distrito Chókwè.

Palavras-chave: *Prosopis juliflora*, área invadida, diversidade de espécies

4.1. INTRODUÇÃO

A disseminação de espécies exóticas invasoras é agora reconhecida como uma das maiores ameaças ao bem-estar ecológico e económico do planeta (CDB, 2010). De acordo com Williamson e Fitter (1996), a invasão é caracterizada pela ocupação e estabelecimento de uma espécie exótica em uma determinada área, podendo-se expandir para áreas circunvizinhas, ocasionando perdas económicas ou biológicas, como a extinção de flora ou fauna nativa, e afectar a estrutura da comunidade ou a função do ecossistema invadido.

As invasões biológicas podem causar impactos em diversos níveis, desde os efeitos sobre indivíduos (morfologia, crescimento, comportamento e mortalidade), efeitos genéticos, efeitos sobre a dinâmica da população (abundância, crescimento populacional, extinção), da comunidade (riqueza, diversidade, estrutura trófica) e de processos ecossistémicos (disponibilidade de nutrientes, produtividade e regime de perturbações) (Parker *et al.*, 1999).

Um exemplo bastante comum de invasão biológica é o caso da espécie *Prosopis juliflora*. Esta espécie é originária da América do Sul, e foi introduzida em novos ambientes de diferentes partes do mundo no final dos anos 1970 até o início dos anos 80 na tentativa de conter alguns cenários de desmatamento e a desertificação em muitos países, incluindo africanos (Mwangi & Shallow, 2005; Pasiecznik *et al.* 2001). No entanto, o seu rápido crescimento, produção de grandes quantidades de sementes, tolerância às variações climáticas e a capacidade de substituição da vegetação natural, contribuíram para tornar esta espécie numa das piores espécies invasoras do mundo (GISD, 2023; Pasiecznik *et al.* 2001). A capacidade invasora da *P. juliflora* deve-se, em parte, à actividade alelopática proveniente dos tecidos foliares *in vivo* ou em decomposição no solo (Muturi, 2012; Nakano *et al.*, 2010).

Muturi (2012) define a alelopatia como o efeito prejudicial originado por produtos químicos ou exsudatos produzidos por uma espécie de planta viva sobre a germinação, crescimento ou desenvolvimento de outra espécie de planta ou microorganismos que compartilham o mesmo habitat. As folhas de *P. juliflora* contêm vários produtos químicos, incluindo taninos, flavonóides, esteróides, hidrocarbonetos, ceras e alcalóides, que são conhecidos por terem efeitos sobre a germinação e crescimento de outras espécies de plantas (Pasiecznik *et al.* 2001). Como

resultado, a diversidade de plantas (tanto o número de plantas individuais de uma espécie quanto o número de espécies ao redor de *P. juliflora*) são afectadas pelos aleloquímicos.

Em seus estudos, Al-Humaid e Warrage (1998) verificaram que os extratos aquosos da *P. juliflora* afectavam negativamente a germinação e crescimento inicial do *Cynodon dactylon*. Kaur *et al.* (2014) estudando a alelopatia da mesma espécie sobre a *Brassica campestris* constataram que o solo abaixo de *P. juliflora*, continha maiores níveis de fenólicos totais e suprimiram o crescimento da segunda espécie do que o solo na ausência da mesma.

Assim, diante deste efeito, torna-se importante gerar informações sobre os impactos da *P. juliflora* e suas consequências sobre a comunidade de espécies vegetais presentes no distrito de Chókwè, a fim de fornecer recomendações para o manejo desta planta em diferentes ambientes onde a mesma se encontra espalhada. Daí que, constituiu objetivo deste trabalho determinar o impacto da *P. juliflora* sobre a riqueza e a diversidade de espécies herbáceas no distrito de Chókwè.

4.2. METODOLOGIA

4.2.1. Descrição do local de estudo

O presente estudo foi conduzido nos finais do mês de Agosto de 2021, em três postos administrativos do distrito de Chókwè, nomeadamente: Macarretane, Chókwè-Sede e Lionde. A selecção destes locais foi baseada no nível de invasão da *P. juliflora*, procurando-se seleccionar áreas acessíveis, com a presença da espécie com abundância igual ou superior a 75 % e existência duma área adjacente não invadida (Shiferaw, 2021b).

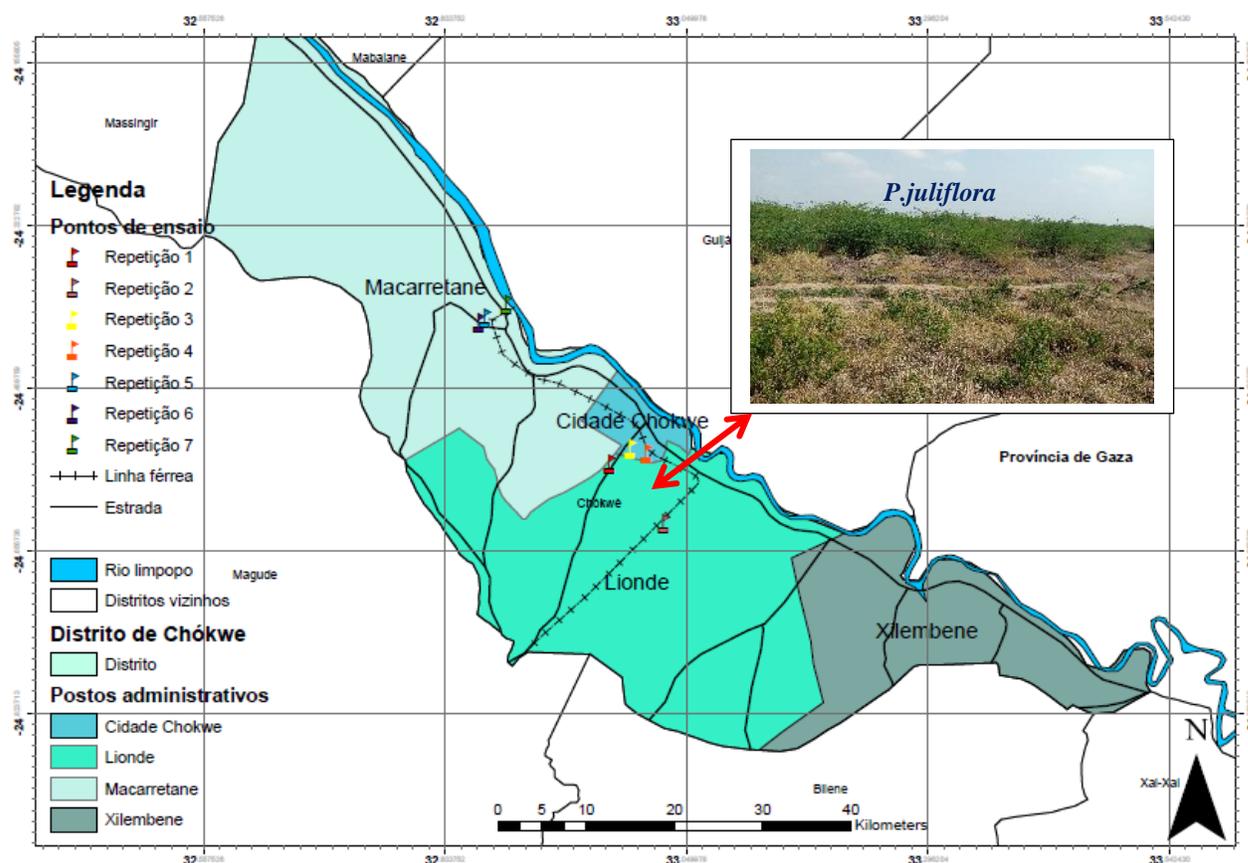


Figura 29. Áreas seleccionadas para a condução do estudo

4.2.2. Avaliação do impacto de *P. juliflora* na diversidade de espécies

Para a avaliação do impacto de *P. juliflora* sobre a diversidade florística, foram seleccionadas 7 áreas invadidas e não invadidas por esta espécie, adjacentes uma da outra numa distância de 10 m (Figura 30) (Bezaredie *et al.*, 2023; Shiferaw *et al.*, 2021c). Para cada área seleccionada fez-se uma parcela rectangular medindo 20 m x 50 m e dentro da mesma foi inventariada a vegetação herbácea com recurso a uma quadrícula de 1 x 1m (1m²), colocada debaixo da copa da espécie em estudo. Um total de 10 quadrículas foram lançadas em cada área (invadida e não invadida), seguindo um padrão de amostragem em formato “W” (Kaur *et al.*, 2012; Georginah & Maanda, 2015; El-Keblawy & Al-Rawai, 2007). Em cada quadrícula, foram registados os nomes das espécies, a abundância, cobertura.

As áreas seleccionadas estavam sobre o mesmo tipo de solo (argiloso) e apresentavam uma cobertura com mais de 75% e indivíduos com uma altura e um diâmetro (DAP) com uma média de 2,9 m e 5,7 m, respectivamente.

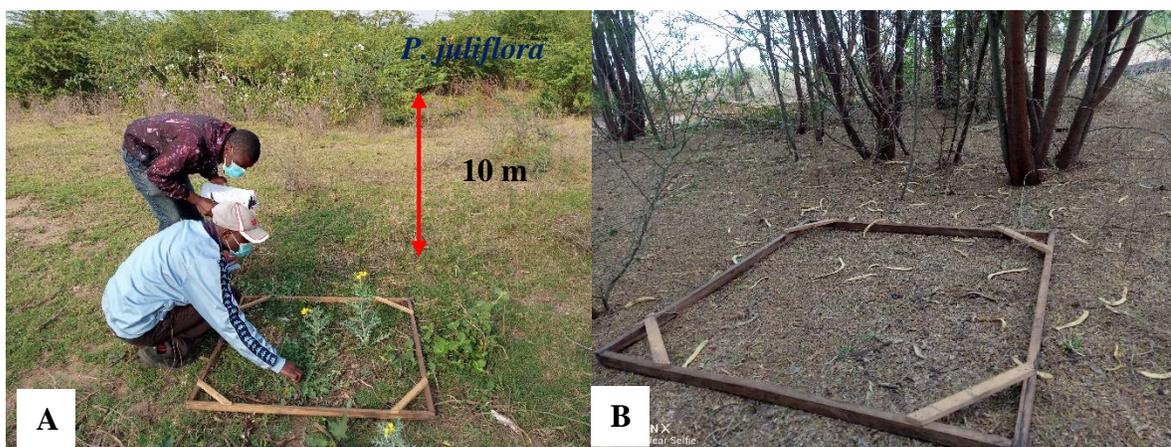


Figura 30. Levantamento da vegetação herbácea nas áreas não invadidas (A) e invadidas (B)

Fonte: Autor

4.2.3. Identificação das espécies

Em cada inventário, a identificação das espécies herbáceas encontradas foi feita com auxílio dum colector botânico e manuais de identificação de plantas. As espécies de difícil identificação, foram colectadas, prensadas em jornais, secadas à sombra e posteriormente levadas para a identificação no herbário do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM) (Durigan,

2003). Contudo, houve algumas espécies que, devido à falta de elementos (flor, fruto, semente) não foi possível a sua identificação completa, terminando-se apenas na família.

4.2.4. Parâmetros fitossociológicos avaliados

i. Frequência

Através da contagem do número de ocorrências de cada espécie nos inventários feitos, foram estimadas as frequências absoluta e relativa para a quantificação da magnitude espacial de distribuição das espécies de plantas registradas (Booth *et al.*, 2003), aplicando-se as seguintes fórmulas:

$$\text{Frequência absoluta} = \frac{\text{Numero de quadrículas com espécie } i}{\text{numero total de quadrículas}} \quad (3)$$

$$\text{Frequência Relativa} = \frac{\text{Freq.ab } (i)}{\Sigma \text{Freq.ab}} \times 100\%$$

Onde:

Freq.ab (i): é a frequência absoluta da espécie *i*;

$\Sigma \text{Freq.ab}$: é a soma das frequências absolutas de todas as espécies

ii. Abundância da vegetação herbácea

A abundância indica o número de indivíduos de uma determinada espécie. Segundo Ziller (1992), a abundância absoluta consiste no número de indivíduos de cada espécie por unidade de área considerada, enquanto que a relativa refere-se a percentagem dos indivíduos de cada espécie em relação a abundância de todas as espécies. Neste caso, as plantas foram quantificadas através da estimativa do número de indivíduos de uma dada espécie por 1m² de área, considerando-se a seguinte escala adaptada de Cain e Castro (1959), citado por Silva *et al.* (2018)

Abundância (plantas/indivíduos por m²)

- 1 = Raro (1 a 5 plantas)
- 2 = Pouco comum (5 a 14 plantas)
- 3 = Comum (15 a 29 plantas)
- 4 = Abundante (30 a 99 plantas)
- 5 = Muito abundante (+ de 100 plantas)

Assim, para a determinação da abundância absoluta e relativa foram aplicadas a seguinte fórmula:

$$\overline{\mathbf{Ab}_1} = \frac{\Sigma \mathbf{Ab}(i)}{\text{Nr de vezes que foi registada a especie } i} \quad (4)$$

$$\overline{\mathbf{AbR}_1} = \frac{\overline{\mathbf{Ab}_1}}{\Sigma \mathbf{Ab}} \times 100\%$$

Onde:

$\overline{\mathbf{Ab}_1}$: é a classe média de abundância da espécie i

$\Sigma \mathbf{AB}(i)$ é o somatório das classes de abundâncias espécie i

$\overline{\mathbf{AbR}_1}$: é a abundância relativa da espécie i

$\Sigma \mathbf{Ab}$: é o somatório das abundâncias de todas as espécies

iii. Cobertura para espécies herbáceas

Como forma de indicar a percentagem da área coberta por indivíduos duma dada espécie em cada inventário (quadrícula de 1m²), foi estimada a cobertura com base na escala modificada de Braun-Blanquet (1979), a seguir representada (Booth *et al.* 2003):

Cobertura

1 = 0 a 5 % da área coberta por m²

2 = 6 a 25 % da área

3 = 26 a 50 % da área

4 = 51 a 75 % da área

5 = 76 a 100 % da área

Para a determinação da cobertura absoluta e relativa foram aplicadas a seguinte fórmula:

$$\overline{\mathbf{Cob}_1} = \frac{\Sigma \mathbf{Cob}(i)}{\text{Nr de vezes que foi registada a especie } i} \quad (5)$$

$$\mathbf{CobR} = \frac{\overline{\mathbf{Cob}_1}}{\Sigma \mathbf{Cob}} \times 100\%$$

Onde:

$\overline{\mathbf{Cob}_1}$: é a classe média de cobertura da espécie i

$\sum \mathbf{Cob}(i)$: é o somatório das classes de cobertura espécie i

\mathbf{CobR} : é a cobertura relativa da espécie i

$\overline{\sum \mathbf{Cob}}$: é o somatório das abundâncias de todas as espécies

iv. Índice de Valor de Importância (IVI)

O índice de valor de importância indica as espécies mais importantes dentro da área estudada. Este índice integra os parâmetros relativos da estrutura horizontal (Felfili & Venturoli, 2000), que foi determinado a partir dos valores relativos da frequência, cobertura e abundância. Teoricamente, a espécie mais importante olhando-se para o valor de IVI é aquela que apresenta o maior sucesso em explorar os recursos do seu habitat (Durigan, 2003)

$$IVI = Freq. Relativa + Ab. relativa + Cob. relativa \quad (6)$$

4.2.5. Determinação dos índices de diversidade florística

O conceito de diversidade de espécies engloba o conhecimento da riqueza e da abundância das espécies na área de estudo. A riqueza é tida como o número de espécies vegetais presentes em uma área. Magurran (1988) afirma que a diversidade é relativa ao número de espécies e suas abundâncias em uma comunidade ou habitat.

De acordo com Durigan (2003), existem vários índices que podem ser utilizados para expressar a diversidade de uma comunidade vegetal. São considerados melhores aqueles que incluem nos seus cálculos, a riqueza e a densidade relativa das espécies. Quanto maior for o número de espécies, mais semelhante for a abundância de cada espécie e melhor distribuídos estiverem esses indivíduos na área amostral, maior será a diversidade da comunidade. Dada a complexidade existente em uma comunidade, existem vários índices de diversidade, dentre eles o mais empregado é o índice de diversidade de Shannon-Wiener (Dias, 2005).

i. Índice de diversidade (Diversidade alfa)

A diversidade taxonômica, filogenética ou funcional de uma comunidade são cada vez mais caracterizadas usando os *números Hill* ou número efectivo de espécies. Estes números são uma família paramétrica que unificou vários índices de diversidade que diferem apenas em sua sensibilidade à abundância relativa de espécies pelo parâmetro q (Chao & Chiu, 2016). O parâmetro q de uma diversidade indica sua sensibilidade a espécies comuns e raras (Chao *et al.* 2014). Quando os *números Hill* são estimados para $q = 0$, as abundâncias de espécies não são ponderadas e correspondem à riqueza de espécies, como mostra a equação 7a.

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)} \quad (7a) \quad {}^1D = \lim_{q \rightarrow 1} {}^qD = \exp \left(- \sum_{i=1}^S p_i \log p_i \right) \quad (7b) \quad {}^2D = 1 / \left(\sum_{i=1}^S p_i^2 \right) \quad (7c)$$

onde:

S = é o número de espécies na comunidade e

i = a i-ésima espécie com abundância relativa p_i .

Fonte: Chao *et al.*, 2014

As equações 7b e 7c representam os parâmetros $q=1$ e $q=2$, que correspondem aos índices de Shannon e Simpson, respectivamente. De acordo com Chao *et al.* (2014), uma das vantagens dos *números Hill* é que os principais índices de diversidade propostos na literatura, como a entropia de Shannon e o Índice de Simpson, podem ser facilmente convertidos nesses números por meio de transformações algébricas simples, como já ilustrado anteriormente.

4.3. Análise de dados

Os parâmetros fitossociológicos (frequência, abundância, cobertura e índice de valor de importância) foram estimados após a organização dos dados utilizando a planilha de dados da Microsoft Excel, *versão 2019*. Para a comparação das áreas invadidas e não invadidas fez-se análises de diversidade recorrendo-se aos *números Hill* para as três ordens de q ($q=0$, 1 e 2), e foram criadas curvas de rarefação e interpolação para os dados da abundância das espécies e cobertura amostral, utilizando o software *iNext online* (Chao *et al.*, 2016). O intervalo de confiança de 95% foi obtido por meio do método bootstrap com 100 repetições.

4.4. Resultados e discussão

4.4.1. Composição florística da área de estudo

Neste estudo foram registadas no total 56 espécies, distribuídas em 21 famílias e 43 géneros (Tabela 6). Destas, 51 foram encontradas na área não invadida por *P. juliflora* e 16 na área invadida, correspondendo a 91,1% e 28,57% do total das espécies, respectivamente (Tabela 7). No entanto, deste número de espécies, 3 não foram identificadas por falta de elementos (flor, fruto ou semente), identificando-se apenas até ao nível da família.

Tabela 6. Relação das espécies distribuídas por famílias

Espécie/família	Tipo de área		Espécies invasoras	
	Não invadida	invadida	Área não invadida	Área invadida
Acanthaceae				
<i>Blepharis maderaspatensis</i> Linnaeus, 1753	x	x	–	–
<i>Hygrophila auriculata</i> (Schumach.) Heine	x	–	–	–
<i>Justicia flava</i> Kurz	x	–	–	–
Amaranthaceae				
<i>Achyranthes aspera</i> Duss, 1897	x	x	x	x
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	x	–	x	–
<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	x	–	–	–
Aparagaceae				
<i>Asparagus aethiopicus</i> L.	x	–	–	–
Asteraceae				
<i>Asteraceae 1(desconhecida)</i>	x	–	–	–
<i>Asteraceae 2(desconhecida)</i>	x	–	–	–
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop	x	–	x	–
<i>Conyza</i> sp.	x	–	–	–
<i>Nidorella auriculata</i> DC.	x	–	–	–
<i>Parthenium hysterophorus</i> Adans.	x	x	x	x
<i>Sonchus</i> sp.	x	–	–	–
<i>Xanthium strumarium</i> L.	x	–	x	–
Capparaceae				
<i>Maerua rosmarinoides</i> (Sond.) Hochst.	x	–	–	–
Convolvulaceae				
<i>Ipomoea</i> sp.	x	–	–	–
Cyperaceae				
<i>Cyperus</i> sp.	x	–	–	–
Euphorbiaceae				
<i>Euphorbia hirta</i> L.	x	–	x	–
<i>Euphorbia prostrata</i> J. Graham	x	–	–	–

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

Fabaceae				
<i>Indigofera sp.</i>	x	x	–	–
<i>Indigofera spicata</i> Forssk.	x	x	x	x
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (DC.) Urb.	x	–	x	–
Heliotropiaceae				
<i>Heliotropium sp.</i> Pall., 1795	x	–	–	–
Lamiaceae				
<i>Ocimum basilicum</i> L.	x	–	–	–
Malvaceae				
<i>Abutilon guineense</i> (Schum.) Baker fil. & Exell	x	x	–	–
<i>Abutilon sp.</i>	-	x	–	–
<i>Corchorus olitorius</i> L.	x	–	–	–
<i>Gossypium herbaceum</i> L.	x	–	–	–
<i>Sida acuta</i> Burm.fil.	x	x	x	x
<i>Sida sp.</i>	x	–	–	–
Nyctaginaceae				
<i>Boerhavia diffusa</i> Engelm. & A. Gray	x	–	x	–
<i>Boerhavia coccinea</i> Mill.	x	–	x	–
Papaveraceae				
<i>Argemone mexicana</i> L.	x	–	x	–
Phyllanthaceae				
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	x	–	–	–
Poaceae				
<i>Chloris gayana</i> Kunth	x	x	x	x
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	x	–	x	–
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	x	–	x	–
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	-	x	–	x
<i>Eragrostis sp</i>	x	x	–	–
<i>Eriochloa meyeriana</i> (Nees) Pilg.	x	–	–	–
<i>Heteropogon contortus</i> Linnaeus, 1753	x	–	x	–
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	x	x	–	–
<i>Poaceae I</i> (desconhecida)	x	–	–	–
<i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.) Stapf & C.E.Hubb. ex Moss	x	–	–	–
<i>Setaria woodii</i> Hack.	x	x	–	–
<i>Urochloa mosambicensis</i> (Hack.) Dandy	x	x	–	–
Portulacaceae				
<i>Portulaca oleracea</i> L.	x	–	x	–
<i>Portulaca quadrifida</i> L.	x	–	x	–
Rubiaceae				
<i>Dentella repens</i> (L.) J.R. Forst. & G. Forst.	x	–	–	–
Sapindaceae				
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	x	x	x	x
Solanaceae				
<i>Datura stramonium</i> L.	x	–	x	–

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

<i>Solanum incanum</i> Forssk.	-	x	-	-
Zygophyllaceae				
<i>Tribulus terrestris</i> Muhl.	x	-	x	-
Total	51	16	21	7

Onde: x= espécie presente e _ausente

Das 56 espécies observadas nas áreas estudadas, 22 são classificadas como invasoras segundo a CABI (2022) e, destas espécies, as maiores ocorrências foram verificadas nas áreas não invadidas (21) e poucas nas invadidas (7), evidenciando que o número de espécie sofreu uma redução independentemente de ser ou não invasoras.

Os resultados referentes à distribuição de gêneros e espécies de plantas por famílias para as duas áreas (não invadida e invadida), mostraram que na área não invadida, as famílias Poaceae, Asteraceae e Malvaceae foram as que mais se destacaram quanto ao número de espécies, representando 19,64%, 14,29% e 8,93% das espécies, respectivamente. Já na área invadida, as famílias Poaceae, Malvaceae e Fabaceae foram as mais observadas, representando cerca de 10,71%, 5,36% e 3,57% das espécies, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da distribuição do gênero e espécies por famílias

Familia	Não invadida			Invadida		
	Gêneros	Nr. espécies	% espécies	Gêneros	Nr. espécies	% espécies
Acanthaceae	3	3	5,36	1	1	1,79
Amaranthaceae	3	3	5,36	1	1	1,79
Aparagaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Asteraceae	8	8	14,29	1	1	1,79
Capparaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Convolvulaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Cyperaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Euphorbiaceae	1	2	3,57	0	0	0,00
Fabaceae	2	3	5,36	1	2	3,57
Heliotropiaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Lamiaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Malvaceae	4	5	8,93	2	3	5,36
Nyctaginaceae	1	2	3,57	0	0	0,00
Papaveraceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Phyllanthaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Poaceae	10	11	19,64	6	6	10,71
Portulacaceae	1	2	3,57	0	0	0,00
Rubiaceae	1	1	1,79	0	0	0,00

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

Sapindaceae	1	1	1,79	1	1	1,79
Solanaceae	2	1	1,79	1	1	1,79
Zygophyllaceae	1	1	1,79	0	0	0,00
Total	46	51	91,07	14	16	28,57

As famílias encontradas neste estudo são comuns em levantamentos de vegetação no distrito de Chókwè, e a maior representatividade verificada para as famílias Poaceae, Asteraceae, Malvaceae e Fabaceae, vai de acordo com os resultados encontrados por Ngazero (2013), fazendo levantamento da vegetação das zonas de reprodução do pardal-de-bico vermelho (*Quelea quelea*) neste distrito. A mesma situação foi observada por Omar (2020) e Uate (2021), ambos estudando hospedeiros alternativos da *Pentalonia nigronervosa* e do vírus BBTV no distrito de Chókwè.

Outros estudos, como o de Massuanganhe (2013) e Pagule (2016), conduzidos na província de Gaza, tiveram as famílias Poaceae, Asteraceae e Fabaceae como sendo de maior riqueza específica.

Um estudo de actualização da base de dados de plantas vasculares recentemente conduzido em Moçambique, indica as famílias Fabaceae, Poaceae e Asteraceae como as mais representadas, com cerca de 891, 543 e 428 espécies, respectivamente (Odorico *et al.*, 2022).

Resultados similares foram também obtidos por Demissew *et al.* (2020), num estudo de impactos da *P. juliflora* na diversidade e regeneração de espécies nativas na região de Afar, nordeste da Etiópia. Outros resultados que destacam as três famílias mais ricas encontradas neste estudo, são apresentados na base de dados de plantas naturalizadas em África (GloNAF), e segundo Richardson *et al.* (2022) estas famílias estão entre as mais ricas em espécies no mundo.

4.4.2. Análise da composição florística entre as áreas invadidas e não invadidas por *P. juliflora*

i. Composição florística da área não invadida

Na Tabela 8, estão apresentados os principais resultados dos parâmetros fitossociológicos das 51 espécies encontradas na área não invadida pela *P. juliflora*, destacando-se apenas as 10 espécies com maior índice de valor de importância (IVI).

Tabela 8. Composição florística da área não invadida pela *P. juliflora* em ordem do seu valor de importância (IVI)

Espécie/família	Área não invadida pela <i>P. juliflora</i>				
	Ocorrência	FR%	AbR%	CobR%	IVI
<i>Urochloa mosambicensis</i> (Hack.) Dandy	40,00	18,35	3,69	2,09	24,13
<i>Chloris gayana</i> Kunth	12,00	5,50	4,00	1,93	11,44
<i>Corchorus olitorius</i> L.	14,00	6,42	2,45	2,23	11,11
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	10,00	4,59	2,52	2,62	9,73
<i>Cyperus</i> sp.	12,00	5,50	2,19	1,77	9,46
<i>Heteropogon contortus</i> L.	7,00	3,21	3,92	2,02	9,15
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	5,00	2,29	5,03	1,82	9,14
<i>Poaceae 1</i> (Desconhecida)	7,00	3,21	2,61	2,16	7,99
<i>Conyza</i> sp.	10,00	4,59	1,60	1,61	7,80
<i>Eriochloa meyeriana</i> (Nees) Pilg.	1,00	0,46	2,29	4,04	6,78
Total	218,00	100,00	100,00	100,00	300,00

Onde: FR%_ Freqüência relativa, AbR%_Abundância relativa, CobR%_Cobertura relativa e IVI_Índice de valor de importância

Assumindo que os parâmetros fitossociológicos como a frequência, abundância e cobertura expressam o nível de importância ecológica de uma espécie num dado ecossistema, a Tabela 8 das espécies em ordem do seu IVI, mostra claramente aquelas que foram mais expressivas na área não invadida. Assim, a *Urochloa mosambicensis* foi a espécie que mais se destacou nesta área, apresentando uma frequência relativa de 18,35%, abundância relativa de 3,69% e cobertura relativa de 2,09%, o que resultou num índice de valor de importância de 24,13. De forma análoga, outras espécies com maior IVI foram: *Chloris gayana* (11,44), *Corchorus olitorius* (11,11), *Cynodon dactylon* (9,73), *Cyperus* sp. (9,46), *Heteropogon contortus* (9,15), *Cynodon nlemfuensis* (9,14), *Poaceae1* (7,99), *Conyza* sp. (7,80) e *Eriochloa meyeriana* (6,78).

Não obstante algumas espécies terem apresentado maior IVI, como é o caso de *Eriochloa meyeriana*, quando analisada isoladamente, nota-se que teve apenas um registo de ocorrência, porém, devido ao seu elevado valor de cobertura e abundância, acabou apresentando um maior IVI.

A maior cobertura da espécie *Eriochloa meyeriana* foi também observada por Chauque (2007), num estudo sobre a biodiversidade no distrito de Chókwè. Segundo Durigan (2003), teoricamente a espécie mais importante olhando-se para o IVI é aquela que apresenta o maior sucesso em

explorar os recursos (nutrientes, luz, espaço) do seu habitat, o que foi evidentemente demonstrado pela *Urochloa mosambicensis*.

Importa referir que, das 10 espécies mais importantes, 8 fazem parte da família Poaceae. Esta constatação é suportada por Timberlake *et al.* (1985), os quais reportaram que no distrito de Chókwè, as áreas fora da influência do regadio são largamente ocupadas por áreas de pastagem onde as gramíneas são as mais abundantes.

Ngazero (2013) constatou, no seu estudo que a *Urochloa mosambicensis* era uma das mais abundantes nos levantamentos feitos em Chókwè, o que vai de acordo com os resultados encontrados neste estudo. Contudo, o mesmo não foi observado por Omar (2020 e Uate (2021), que apesar de terem encontrado a espécie nos levantamentos feitos, esta não foi muito expressiva. Esta diferença pode ser explicada pelo facto dos levantamentos feitos por estes terem abrangido exclusivamente as áreas agrícolas, onde as espécies predominantes em muitos casos estão associadas às culturas praticadas.

Os resultados alcançados neste estudo, corroboram também com os obtidos por Timberlake *et al.* (1985), que descreveram a vegetação do distrito de Chókwè e observaram que, a vegetação herbácea era predominantemente constituída pela *Urochloa mosambicensis*, *Panicum maximum* e *Cynodon dactylon* nos solos argilosos, que são dominantes nesta região. Isto indica que a área que ainda não foi invadida pela *P. juliflora* está sob o domínio das mesmas espécies que foram observadas há mais de 30 anos.

ii. Composição florística da área invadida

Os resultados apresentados na Tabela 9, mostram os principais parâmetros fitossociológicos obtidos na área invadida pela *P. juliflora*. Nesta área, foi registado um total de 16 espécies, conforme apresentado na tabela 7.

Tabela 9. Resultados fitossociológicos da área invadida pela *P. juliflora* em ordem do seu valor de importância (IVI)

Espécie	Área invadida pela <i>P. juliflora</i>				
	Ocorrência	FR%	AbR%	CobR%	IVI
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	11,00	25,00	6,37	7,43	38,80
<i>Eragrostis sp</i>	6,00	13,64	6,68	9,31	29,63
<i>Sida acuta</i> Burm.fil.	3,00	6,82	8,34	8,60	23,76
<i>Solanum incanum</i> Forssk.	2,00	4,55	10,01	8,60	23,16
<i>Urochloa mosambicensis</i> (Hack.) Dandy	5,00	11,36	6,01	5,16	22,53
<i>Indigofera spicata</i> Forssk.	3,00	6,82	5,01	7,17	18,99
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	2,00	4,55	7,51	6,45	18,50
<i>Chloris gayana</i> Kunth	2,00	4,55	5,01	8,60	18,15
<i>Abutilon guineense</i> (Schum.) Baker fil. & Exell	2,00	4,55	5,01	8,60	18,15
<i>Blepharis maderaspatensis</i> Linnaeus, 1753	1,00	2,27	10,01	4,30	16,59

Onde: FR%_ Freqüência relativa, AbR%_Abundância relativa, CobR%_Cobertura relativa e IVI_Índice de valor de importância

De acordo com estes resultados, é possível notar que a espécie que mais se destacou em termos do índice de valor de importância, assim como pelo número de ocorrência em todos os inventários, foi o *Panicum maximum*, apresentando um IVI de 38,8 e 11 ocorrências, que resultaram numa frequência relativa de 25 %, superando todas as espécies desta área. As restantes espécies em ordem do seu índice de valor importância foram: *Eragrostis sp* (29,63), *Sida acuta* (23,76), *Solanum incanum* (23,16), *Urochloa mosambicensis* (22,53), *Indigofera spicata* (18,99), *Digitaria ciliaris* (18,50), *Chloris gayana* (18,15), *Abutilon guineense* (18,15) e *Blepharis maderaspatensis* (16,59).

Em relação à cobertura relativa e abundância relativa, destacaram-se nesta área as espécies *Eragrostis sp*, *Sida acuta*, *Solanum incanum*, *Digitaria ciliaris*, *Chloris gayana* e *Blepharis maderaspatensis*. Contudo, estas espécies fazem parte da lista das 10 mais importantes e a sua contribuição para este índice é explicada pelo seu destaque nos restantes parâmetros, visto que este índice conjuga os três parâmetros (cobertura, frequência e abundância).

A espécie *Panicum maximum*, revelou-se mais importante nesta área quando comparada com a área não invadida. De igual forma, verifica-se com as restantes espécies que foram listadas como as 10 mais importantes nesta área. Este facto pode sugerir um certo grau de afinidade ou tolerância destas espécies às áreas invadidas pela *P. juliflora*. Porém, um estudo de associação seria necessário para apurar tal facto.

Para o caso específico de *Panicum maximum*, o maior índice de valor de importância pode estar associado ao sombreamento na área invadida, pois diversos estudos consideram esta espécie, bem como a maioria das gramíneas como sendo tolerantes ao sombreamento (Lucas, 2004). Vieira *et al.* (2012), estudando o efeito do sombreamento no crescimento inicial de *Panicum maximum* cv. Massai, obtiveram maiores valores da matéria seca foliar num nível de sombreamento de 75%.

Outro estudo que mostra a resposta positiva de *P. maximum* em condições de luminosidade reduzida, foi conduzido por Castro *et al.* (1999). No referido estudo, esta espécie atingiu 119,72% da matéria seca na sombra do que numa luminosidade a 100%. Lucas (2014), citando autores como Saibro (2011) e Fucks (1999), considera que o sombreamento é o factor isolado que mais afecta o desempenho produtivo do bosque forrageiro, pois, ao alterar a quantidade e qualidade de luz que atinge a pastagem, as espécies como *P. maximum* e outras gramíneas perenes têm demonstrado bom desempenho produtivo em sub-bosques sombreados em zonas tropicais e subtropicais.

Em princípio, a relação de elevada produção da matéria seca das gramíneas forrageiras em ambientes sombreados, pode ser considerada algo positivo em zonas de grande produção do gado como o distrito de Chókwè, porém, a invasão de *P. juliflora* impossibilitará a entrada de animais dentro da área de pastagem, dada a presença de espinhos nesta espécie, que segundo Berhanu e Tesfaye (2006), são conhecidos por provocar lesões físicas em animais, assim como em humanos, que em alguns casos podem resultar na morte.

4.4.3. Diversidade de espécies nas duas áreas (invadida e não invadida)

Os resultados apresentados na Figura 31 evidenciam diferenças significativas nos índices de diversidade entre as áreas invadidas e não invadidas, as quais são influenciadas pelo número de indivíduos amostrados (a) e pela cobertura amostral (b). Olhando para os índices de diversidade, em resposta ao número de indivíduos amostrados, a riqueza ($q=0$) e a diversidade de Shannon ($q=1$) apresentaram diferenças significativas entre as duas áreas ($p<0,05$), sendo a área invadida com 16 espécies e o índice de Shannon de 12,91, enquanto que na área não invadida observou-se 51 espécies e o índice de Shannon foi de 28,65. Por outro lado, a diversidade de Simpson ($q=2$) não diferiu entre as duas áreas, apresentado um índice de 10,65 e 17,94 para a área invadida e não invadida, respectivamente.

Estes resultados sugerem que as duas áreas possuem composições de espécies distintas e abundâncias diferentes, porém o índice de Simpson não foi sensível para detectar essas diferenças visto que o mesmo dá mais peso às espécies comuns entre as áreas, contrariamente ao do Shannon que é mais sensível às espécies raras (Roswell *et al.*, 2021).

Quando a análise é feita em relação à cobertura amostral (Figura 31b), os três índices de diversidade (riqueza, índice de Shannon e Simpson) revelaram diferenças significativas entre as áreas invadidas e não invadidas. Ademais, houve uma tendência de aumento desses índices à medida que a cobertura amostral aumentou, com uma ligeira estabilização observada aos 87% da cobertura amostral para a área invadida, sugerindo que a maioria das espécies presentes nesta área foram captadas antes da cobrir os 100% da área amostral, e que a adição de mais amostras não teria um impacto significativo na diversidade observada nesta área.

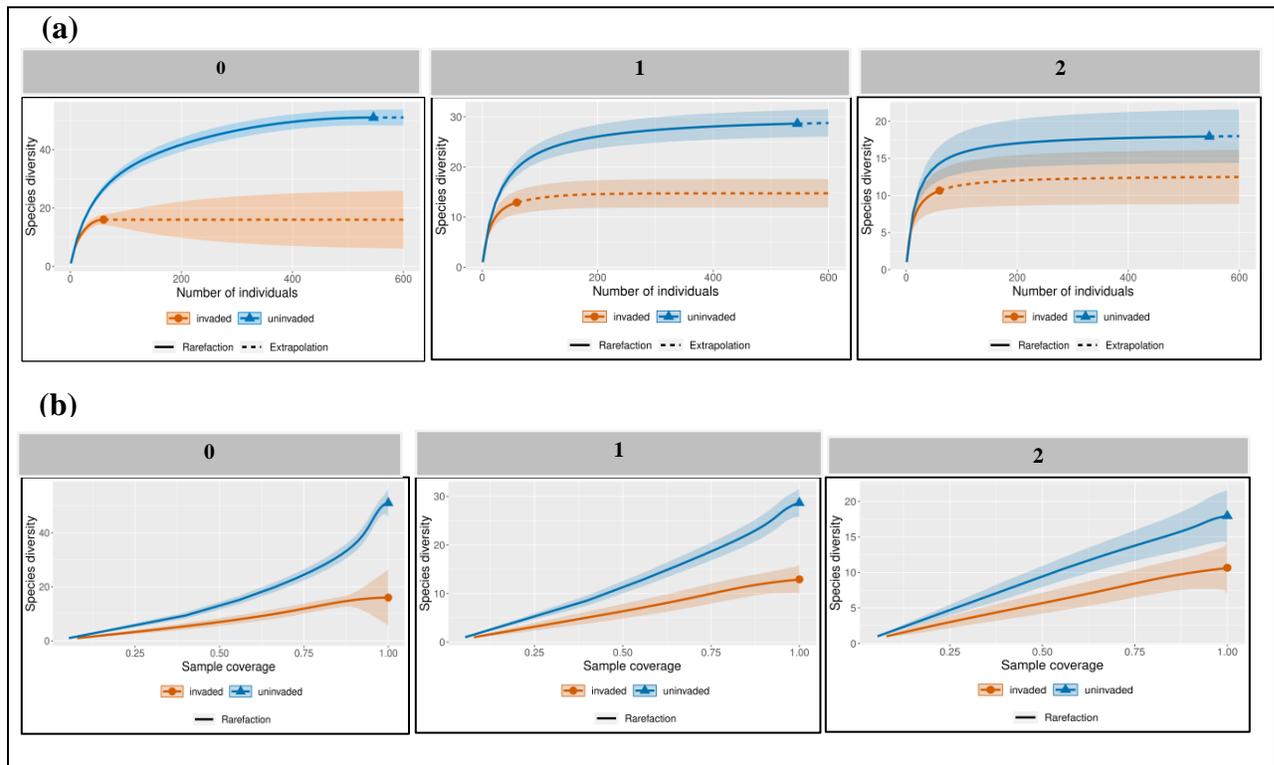


Figura 31. Curvas de rarefação e extrapolação baseadas no número de indivíduos (a) e cobertura amostral (b) com intervalos de confiança 95% (área sombreada), para as áreas invadidas e não invadidas, separadamente por ordem de diversidade: $q=0$ (riqueza de espécies), $q=1$ (diversidade de Shannon) e $q=2$ (diversidade Simpson).

Da comparação dos resultados observados e os resultantes da extrapolação apresentados na Figura 31a, observa-se que, a diferença na diversidade entre as duas áreas é mantida mesmo com o aumento da área amostrada (Figura 31b). Isso sugere que as variações na composição de

espécies entre essas áreas podem ser inerentes às condições específicas de cada uma delas, e não apenas uma consequência da escala amostral utilizada. Vários estudos de avaliação do impacto da *P. juliflora* sobre a vegetação nativa, vão de acordo com os resultados obtidos neste estudo (Bezaredie *et al.*, 2023; Shackleton *et al.*, 2014; Kaur *et al.*, 2012; Ndhlovu, 2011).

Os baixos índices de diversidade obtidos na área invadida são também suportados por Demissew *et al.*, (2020), que ao avaliarem os impactos de *P. juliflora* na diversidade e regeneração de espécies nativas na região de Afar, nordeste da Etiópia, constataram uma menor proporção de plantas e redução no índice de diversidade de Shannon na área sob invasão.

Clement *et al.* (2020), avaliando o impacto desta espécie nas áreas de pastagem na região de Turkana no Quênia, concluiu que a colonização da área cria um impacto negativo na regeneração e estabelecimento de outras espécies nativas naquela região. Maheshnaik *et al.* (2018), estudando o impacto de *P. juliflora* numa reserva na Índia, obtiveram valores de diversidades elevados para a área não invadida, relativamente à área invadida.

Os resultados obtidos neste estudo diferem dos reportados por Kumar e Mathur (2014), que observaram maior riqueza específica e diversidade nas áreas invadidas por *P. juliflora*. Estes autores atribuem os resultados por eles obtidos ao elevado número de espécies herbáceas que crescem juntamente com a *P. juliflora*, a influência da luz e perturbações que a área invadida tinha sofrido. Assim, uma possível razão da divergência nos resultados pode ser atribuída à diferença da intensidade de invasão entre as áreas estudadas. É possível que a área estudada por Kumar e Mathur (2014), não apresente uma abundância e cobertura elevadas em comparação com o presente estudo, o que pode ter influenciado os resultados, considerando que a luz foi apontada como um factor importante na explicação dos resultados obtidos por aqueles autores.

Wilgen *et al.* (2017), reportando casos de invasões biológicas na África do Sul, destacaram que a invasão por *P. juliflora* reduziu a densidade, riqueza e diversidade de plantas nativas, apontando como exemplo, uma diminuição de árvores nativas de oito para três espécies quando as invasões duplicaram de densidade, e a cobertura de gramíneas perenes e plantas herbáceas nativas diminuiu de 15-20% para zero. Os mesmos autores verificaram ainda, que a competição interespecífica por águas subterrâneas entre a *P. juliflora* e *Acacia erioloba* (nativa) aumentou a probabilidade de mortalidade da segunda espécie em tempos de estresse. Muturi (2012) observou

em seu estudo sobre o impacto ecológico da *P. juliflora* que, a cobertura, diversidade e densidade de espécies herbáceas estava muito reduzida debaixo da copa de *P. juliflora* do que na copa da *Acacia tortilis*.

Pegado *et al.* (2006) demonstraram na sua pesquisa que as áreas invadidas pela *P. juliflora* em Caatinga, no Brasil, são mais pobres em espécies arbóreas e arbustivas nativas, e têm menor abundância de indivíduos, do que em áreas onde a espécie não está presente. Na mesma área de estudo desse autor, Nascimento (2008) verificou que a presença da *P. juliflora* aumenta a mortalidade da *Mimosa tenuiflora*, *Erythrina velutina*, *Caesalpinia microphylla* e *Caesalpinia ferrea*, espécies nativas daquele local.

Os resultados aqui obtidos, sugerem que para além de uma possível competição pela luz, água e nutrientes que possa ter ocorrido, a redução de espécies pode estar ainda associada ao efeito alelopático que a *P. juliflora* possui sobre as mesmas. Siddiqui *et al.* (2009), avaliando o efeito de diferentes concentrações duma solução aquosa das folhas de *P. juliflora* sobre a germinação das sementes de trigo, constatou que a solução impediu a germinação destas. Segundo Muturi *et al.* (2012), a *P. juliflora* é muito conhecida pelos seus efeitos alelopáticos que podem causar a inibição da germinação de sementes de outras espécies de plantas que se encontram à sua volta. Os aleloquímicos presentes nesta planta foram isolados por Nakano *et al.* (2002 e 2010), e identificados como siringina, (-) - lariciresinol, L-triptofano, juliprosopina, juliprosina e juliprosopinal. Destes, os derivados de juliprosina é que exibem um elevado efeito alelopático.

4.5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste estudo conclui-se o seguinte:

- As famílias Poaceae, Asteraceae, Malvaceae e Fabaceae foram as mais destacadas nas duas áreas (invadidas e não invadidas).
- As gramíneas foram as espécies que mais se destacaram na área não invadida em comparação com a invadida.
- A diversidade de espécies nas áreas invadidas e não invadidas é diferente, e a presença de *P. juliflora* afectou negativamente a diversidade.

CAPÍTULO V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Com base nos resultados deste estudo, conclui-se o seguinte:

- A ocorrência de *P. juliflora* no distrito de Chókwè foi de 67%, nas áreas seleccionadas para o estudo, com uma elevada abundância e cobertura, nos postos administrativos de Macarretane, Lionde e Chókwè-sede
- Houve uma maior ocorrência de indivíduos de *P. juliflora* com um diâmetro abaixo de 5 cm, indicando que a invasão está ainda em processo.
- A presença de *P. juliflora* está associada ao tipo de solo e vegetação, com os solos arenosos e floresta densa os menos susceptíveis à invasão.
- A expansão da área invadida aumentou ao longo dos anos e com provável ano de início da expansão acelerada o de 2013, tendo como focos iniciais de dispersão as áreas residenciais.
- As áreas potencialmente propensas para *P. juliflora* no país estão mais concentradas na zona sul e centro. Essas áreas podem atingir 62,99% e 63,9% para os anos 2050 e 2080, respectivamente.
- A diversidade de espécies nas áreas invadidas e não invadidas é diferente, e a presença de *P. juliflora* afectou negativamente a diversidade.

5.2. Recomendações

Com base nas conclusões tiradas neste estudo recomenda-se que:

- A situação da invasão pela *P. juliflora* seja vista como algo sério pelas autoridades, tanto de Agricultura, Ambiente e Saúde, criando-se uma estratégia local (distrito de Chókwe), assim como nacional para a contenção e monitoria desta espécie;
- Sejam promovidas campanhas de sensibilização da população sobre os impactos negativos desta espécie. Além disso, recomenda-se também a realização de campanhas de erradicação da mesma, ainda que os focos de infestação estejam numa fase inicial.
- Que sejam conduzidos estudos que visam avaliar a produtividade dos solos nas áreas invadidas por esta espécie;
- Sejam realizados estudos similares em outros locais do país e em especial nas áreas que mostraram-se ser potencialmente propensas à invasão por esta espécie, de modo que medidas visando a sua contenção sejam tomadas.

5.3. Constrangimentos do estudo

- Constituiu constrangimento neste estudo, a ausência de imagens satélite de alta resolução, para a determinação da área efectivamente afectada pela *P. juliflora* no distrito, assim como fazer o acompanhamento da expansão da mesma com o tempo, desde a sua introdução até à situação actual.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, A. M., Mancilla-Leyton, J. M. & Castillo, J. M. (2018). Can camels disperse seeds of the invasive tree *Prosopis juliflora*? Weed Research. <https://doi.org/10.1111/wre.12298>
- Abdulahi, M. M., Ute, J. A., & Regasa, T. (2017). *Prosopis juliflora* L: Distribution, impacts and available control methods in Ethiopia, Tropical and Subtropical Agroecosystems. 20. 75-89.
- Ahmed, N., Atzberger, C. & Zewdie, W. (2021). Species Distribution Modelling performance and its implication for Sentinel-2-based prediction of invasive *Prosopis juliflora* in lower Awash River basin, Ethiopia. Ecol Process 10, 18 <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00285-6>
- Almasi, K.N. A Non-native Perennial Invades a Native Forest. Biological Invasions 2, 219–230 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1010009123469>
- Al-Humaid, A. I., Warrage, M.O.A. (1998). Allelopathic effects of mesquite (*Prosopis juliflora*) foliage on seed germination and seedling growth of bermudagrass (*Cynodon dactylon*), 38(2), 0–243. doi:10.1006/jare.1997.0312
- Alves, A. A., Reis, E. M., Neto, M. F. (2015) Forrageiras indicadas para a alimentação animal no Semiárido brasileiro, Petrolina: Embrapa Semiárido. Acessado em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141004/1/Cartilha-Andrea.pdf> , 04.04.2023
- Amiri, M., Tarkesh, M. & Shafiezadeh, M. (2022). Modelling the biological invasion of *Prosopis juliflora* using geostatistical-based bioclimatic variables under climate change in arid zones of southwestern Iran, J Arid Land (2022) 14(2): 203–224, <https://doi.org/10.1007/s40333-022-0004-1>
- Andrade, L., Fabricante, J. & Oliveira, F. (2010). Impactos da invasão de *Prosopis juliflora* (sw.) DC. (Fabaceae) sobre o estrato arbustivo-arbóreo em áreas de Caatinga no Estado da Paraíba, Brasil. Acta Scientiarum Biological Sciences. 32. 249-255. 10.4025/actascibiols.v32i3.4535.
- Andrade, L., Fabricante, J. & Oliveira, F. (2009). Invasão biológica por *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.: impactos sobre a diversidade e a estrutura do componente arbustivo-arbóreo da caatinga no estado do Rio Grande do Norte, Brasil, Acta Scientiarum Biological Sciences 23(4): pp935-943.
- Andrade, G. C., Cristo, R. C., Henriques, O. N., Lima, P. C. F. (1993). Introdução e seleção de espécies de *Prosopis* na região semi-árida do Rio Grande do Norte. IN: Congresso Florestal Brasileiro, São Paulo: SBS/SBEF, 1993. v.1, p. 134-136.

- Araújo, L. V. C. (2007). Composição florística, fitossociológica e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de Caatinga no semi-árido paraibano, Tese de Doutorado, Paraíba, Universidade Federal da Paraíba: acessado em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/8109/2/arquivototal.pdf> (23.06.22)
- Asenafi, B. (2008). Landuse/Landcover Dynamics in *Prosopis juliflora* Invaded Area of Metehara and the Surrounding Districts Using Remote Sensing and GIS Techniques. Unpublished MSc Thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa, 88.
- Berhanu, A. & Tesfaye, G. (2006). The Proposis dilemma, impacts on dryland biodiversity and some controlling methods. *Journal of the Drylands* 1(2): 158-164.
- Bezaredie, D., Tadesse, Z. & Zemenu T. (2023). Effects of *Prosopis juliflora* on plant diversity on rangeland in Shilabo District, Somali Regional State, Ethiopia, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14049>
- Bogale, G. A. & Tolossa, T. T (2021). Climate change intensification impacts and challenges of invasive species and adaptation measures in Eastern Ethiopia, *Sustainable Environment*, 7:1, 1875555, DOI: 10.1080/23311843.2021.1875555
- Booth, B. D., Murphy, S. D., Swanton, C. J. (2003). Weed ecology in natural and agricultural systems, CABI Publishing, ISBN 0-85199-528-4
- Bokrezion, H. (2008). The Ecological and Socio-economic Role of *Prosopis juliflora* in Eritrea (Tese de doutoramento), acessado dia 15.09.2020 em <https://wocaptopedia.net/images/5/53/Bokrezion.pdf>.
- Boy, G. & Witt, A. (2013). Invasive alien plants and their management in Africa, Nairobi, ISBN 978 1 78064 408 0.
- Burkart, A. (1976). A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal Arnold Arbor*. 57:499.
- Byers, J. E. (2002). Impact of non-indigenous species on natives enhanced by anthropogenic alteration of selection regimes. *Oikos*, v.3, n.97, p. 449-458.
- CDB_ Convenção sobre Diversidade Biológica (2010) Panorama da Biodiversidade Global 3. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas (MMA), 94pp
- Chapman, D., Le Roux, J., Linnamagi, M., Pasiiecznik, N., Pescott, O., Singh, I., Starfinger, U., Vicente, J. & Tanner, R. (2019). *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin*. 49. 290-297. 10.1111/epp.12531.
- Chassot, T. (2013). Densidade e incremento diamétrico de árvores individuais da floresta ombrófila mista, Santa Maria, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Maria Centro de Ciências Rurais: <http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Teses2013/Tatiane-Chassot.pdf>

- Chao, A., Gotelli, N., Hsieh, T. C., Sander, E., Ma, K., Colwell, R & Ellison, A. (2014). Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs*. 84. 45-67. 10.1890/13-0133.1.
- Chao, A. & Chiu, C. (2016). Species Richness: Estimation and Comparison. 10.1002/9781118445112.stat03432.pub2.
- Chao, A., Ma, K. H., and Hsieh, T.C. (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide published at http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/inext-online/.
- Chaúque, O. P. (2007). Estudo da Biodiversidade do distrito de Chókwè, Tese de Licenciatura, UEM, Maputo.
- Choge, S., Clement, N., Gitonga, M., & Okuye, J. (2012). Status report on commercialization of *Prosopis* tree resources in Kenya. Nairobi: KEFRI.
- Clement, N., Agevi, H. & John, O. (2020). Impacts of *Prosopis juliflora* on Abundance and Species Diversity of Forage Species in Turkana County, Kenya. 10.9734/CJAST/2020/v39i3331026.
- Dakhil, M. A., El-Keblawy, A., El-Sheikh, M.A., Halmy, M.W.A., Ksiksi, T., Hassan, W. A. (2021) Global Invasion Risk Assessment of *Prosopis juliflora* at Biome Level: Does Soil Matter? *Biology*, 10, 203. <https://doi.org/10.3390/biology10030203>.
- Dave, P. N. & J. Bhandari. (2013). *Prosopis juliflora*: A review. *International Journal of Chemical Studies* 1: 2321–4902.
- Dejene, S., Egeru, A., Ng, Wai-Tim & Weldemariam, E. (2020). Regional dynamics in distribution of *Prosopis juliflora* under predicted climate change in Africa. *Tropical Ecology*. 61. 10.1007/s42965-020-00101-w.
- Del Valle, F. R., Escobedo, M., Muñoz, M. J., Ortega, R. & Bourges, H. (1983). Chemical and Nutritional Studies on Mesquite Beans (*Prosopis juliflora*), 48(3), 914–919. doi:10.1111/j.1365-2621.1983.tb14929.x
- Delapicolla, J. (2016). Tutorial de modelos de distribuição de espécies: guia teórico. Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Disponível em: <http://blog.ufes.br/lamab/tutoriais>
- Demissew, S., Bekele, T., Betemariam, E. & Gameda, W. (2020). Impacts of *Prosopis juliflora* on native species diversity and regeneration in Afar Region, Northeast Ethiopia. 10.1101/2021.03.09.434549.
- Diagne, C., Turbelin, A., Moodley, D., Novoa, A., Leroy, B., Angulo, E., Adamjy, T., Dia, C. A. K. M., Taheri, A., Tambo, J., Dobigny, G. & Courchamp, F. (2021). The economic costs of biological invasions in Africa: a growing but neglected threat? In: Zenni RD, McDermott

S, García-Berthou E, Essl F (Eds) The economic costs of biological invasions around the world. *NeoBiota* 67: 11-51. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.59132>

- Dias, A. C. (2005). Composição florística, fitossociológica, diversidade de espécies arbóreas e comparação de métodos de amostragem na floresta ombrófila densa - Parque estadual Carlos Botelho/SP-Brasil. pp.203.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C. & Carl, G. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography* 36, 27–46.
- Duarte, M. R., & Silva, E. P. (2016) Invasões Biológicas. In: *Biologia quase ao extremo – Lima Neuza Rejane Wille*, (organizadora), Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Diversidade e Inclusão (ABDI).
- Dukes, J. S., & Mooney, H. A. (1999). Does global change increase the success of biological invaders? *Trends in Ecology & Evolution*, 14(4), 135-139
- Durigan, G. (2003). Métodos para análise de vegetação arbórea. In: Cullen Jr. Laury, Rudran, Rudy & Valladares-PADUA, Cláudio (Orgs.). *Métodos de estudo em Biologia da Conservação & Manejo da Vida Silvestre*. Curitiba: Editora UFPR, Cap. 17, p. 455-479.
- Dzikiti, S.; Schachtschneider, K.; Naiken, V.; Gush, M.; Moses, G.; Le Maitre, D.C. (2013). Water relations and the effects of clearing invasive *Prosopis* trees on groundwater in an arid environment in the Northern Cape, South Africa. *Journal of Arid Environments*, 90(), 103–113. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.10.015
- El-Keblawy, A., Al-Rawai, A. (2007). Impacts of the invasive exotic *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. on the native flora and soils of the UAE. *Plant Ecol* 190, 23–35 <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9188-2>
- Engda, G., (2009). Spatial and Temporal Analysis of *Prosopis juliflora* (Swarz) DC Invasion in Amibara Woreda of the Afar NRS, M.Sc Thesis, Addis Ababa University.
- EPPO (2018). Pest risk analysis for *Prosopis juliflora*. EPPO, Paris. Disponível em: www.eppo.int/hq/eppo.int.
- FAO (2006). Problems posed by the introduction of *Prosopis spp.* In selected countries, Plant Production and Protection division, Rome, disponível em: <http://www.fao.org/3/a-a0683e.pdf>.
- MICOA (2012). Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação de Mudanças Climáticas 2013-2025, Maputo, aprovada na 39ª Sessão de Conselho de Ministros, acessado em <https://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2017/03/Estrategia-Nac-Adaptacao-e-Mitigacao-Mudancas-Climaticas-2013-2025.pdf> (24.04.2023).
- Fernandes, A., Sousa, C., Mafalacusser, J. & Alves, T (2020). Manual para a Instalação e Monitoria de Parcelas de mostragem Permanentes, FNDS, Maputo.

- Felfili, J. M. & Venturoli, F (2000) Tópicos em análise de vegetação, Universidade de Brasília, Comunicações Técnicas Florestais v.2, n.2.
- Fônseca, N. C., Albuquerque, A. S., Leite, M. J. & Lira, C. S. (2016) Similaridade florística e colonização biológica de *Prosopis juliflora* [(Sw) DC] ao longo do Rio Paraíbas, Nativa, Sinop, v.4, n.6, p.392-397, nov./dez. 2016.Pesquisas Agrárias e Ambientais DOI: 10.14583/2318-7670.v04n06a08<http://www.ufmt.br/nativa>
- Fufa, A., Tessema, T. & Hundessa, N. (2017). Distribution and abundance of emerging invasive weeds in central Western part of Ethiopia, African Journal of Agricultural Research, Vol. 12(13), pp 1121-1127.
- Georinah, M. M., & Ligavha-Mbelengwa, H. M. (2015). Assessment of plant biodiversity on and off mature stands of *Androstachys johnsonii* Prain and *Colophospermum mopane* (J.Kirk ex Benth.) J. Leonard. African Journal of Agricultural Research, 10(11), 1281-1287.
- Gonçalves, G. S., de Andrade L. A., Xavier, K. R. F. & da Silva, J.F. (2015). Métodos de controle de *Prosopis juliflora* (sw.) dc. (Fabaceae) em áreas invadidas no semiárido do Brasil, Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 645-653.
- Global Invasive Species Database (2023). Downloaded from http://www.iucngisd.org/gisd/100_worst.php on 05-04-2023.
- Government of Malawi (2019). Sixth national report to the convention on biological diversity, Lilongwe, Malawi. Acessado em: <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/mw-nr-06-en.pdf> 23.04.2023
- Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Meshesha, D. & Melkie, A. (2013). Analysis of the invasion rate, impacts and control measures of *Prosopis juliflora*: A case study of Amibara District, Eastern Ethiopia. Environmental monitoring and assessment. 185. 10.1007/s10661-013-3117-3
- Heshmati, I., Khorasani, N., Shams-Esfandabad, B. & Borhan, R. B. (2019)._Forthcoming risk of *Prosopis juliflora* global invasion triggered by climate change: implications for environmental monitoring and risk assessment, Environ Monit Assess (2019) 191:72 <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7154-9>
- Howari, F.M., Sharma, M., Nazzal, Y., El-Keblawy, A., Mir, S., Xavier, C.M., Salem, I.B., Al-Taani, A.A., Alaydaros, F. (2022). Changes in the Invasion Rate of *Prosopis juliflora* and Its Impact on Depletion of Groundwater in the Northern Part of the United Arab Emirates. Plants 11, 682. <https://doi.org/10.3390/plants11050682>
- Howe, H F, Smallwood, J. (1982). Ecology of Seed Dispersal, 13(1), 201–228. doi:10.1146/annurev.es.13.110182.001221.
- Hulme, P. E., Pyšek, P., Nentwig, W., Vilà, M. (2009). Will Threat of Biological Invasions Unite the European Union?, American Association for the Advancement of Science, DOI: 10.1126/science.1171111

- Hundessa, N., & Fufa, A. (2016). Distribution and Socio-economic Impacts of *Prosopis juliflora* in East Shewa and West Arsi Zones, Ethiopia, International Journal of African and Asian Studies, Vol.24.
- Instituto Nacional de Estatística_INE (2020) Folheto Estatístico Distrital, Chókwe, p1
- INGC. 2009. Main report: INGC Climate Change Report: Study on the impact of climate change on disaster risk in Mozambique. [Asante, K., Brito, R., Brundrit, G., Epstein, P., Fernandes, A., Marques, M.R., Mavume, A., Metzger, M., Patt, A., Queface, A., Sanchez del Valle, R., Tadross, M., Brito, R. (eds.)]. INGC, Mozambique.
- IPCC (2000). Emissions Scenarios, A Special Report of IPCC Working Group III, Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change,
- Invasive Species Compendium_CABI (2022). [https://www.cabidigitallibrary.org/journal/cabicompendium/isdt#\(distribution:1036973;OR\)\(kingdom:Plantae\)](https://www.cabidigitallibrary.org/journal/cabicompendium/isdt#(distribution:1036973;OR)(kingdom:Plantae)) acessado a 20.11.222
- Jadhav, R. N., Kimothi, M. M. & Kandya, A. K. (1993). Grassland mapping/monitoring of Banni, Kachchh (Gujarat) using remotely-sensed data, International Journal of Remote Sensing, 14:17, 3093-3103, DOI: 10.1080/01431169308904422
- Johnson, P. S., Shifley, S. R., Rogers, R. (2002). The Ecology and Silviculture of Oaks. CABI, New York, p. 544.
- *Jornal o País*, publicado a 16/03/2018. <https://opais.co.mz/mais-de-2000-pessoas-perderam-emprego-devido-ao-mal-do-panama/>
- Kaur, R., Callaway, Ragan, M., Inderjit, (2014). Soils and the conditional allelopathic effects of a tropical invader. Soil Biology and Biochemistry, 78(), 316–325. doi:10.1016/j.soilbio.2014.08.017.
- Kaur, R., Gonza´les, W.L., Llambi, L. D., Soriano, P. J, Callaway, R. M, *et al.* (2012) Community Impacts of *Prosopis juliflora* Invasion: Biogeographic and Congeneric Comparisons. PLoS ONE 7(9): e44966. doi:10.1371/journal.pone.0044966
- King, S.E. and Grace, J.B. (2000) The effects of gap size and disturbance type on invasion of wet pine savanna by cogongrass, *Imperata cylindrica* (Poaceae). American Journal of Botany 87, 1279–1286.
- Kool, M., Van S. F., Haile, A., Mohamed, A. & Nzumira, H.(2014). Controlling and/or using *Prosopis juliflora* in spate irrigation systems. Practical Note 25. Spate Irrigation Network.
- Kozera, C. (2001). Composição Florística e estrutura fitossociológica do estrato herbáceo – subarbustivo em duas áreas de floresta ambrofila densa Paraná, Brasil, dissertação de mestrado, Campinas.

- Kriticos, D. J., Webber, B. L., Leriche, A., Ota, N., Macadam, I., Bathols, I. & Scott, J. K. (2012). CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling. , 3(1), 53–64. doi:10.1111/j.2041-210x.2011.00134.x
- Kull, C. A., Shackleton, C. M., Cunningham, P. J., Ducatillon, C., Dufour-Dror, J., Else, K.J., Friday, J. B., Gouveia, A. C., Griffin, A.R., Marchante, E., Midgley, S.J., Pauchard, A., Rangan, H., Richardson, D.M., Rinaudo, T., Tassin, J., Urgenson, L. S., von Maltitz, G. P., Zenni, R. D. & Zylstra, M.J. (2011). Adoption, use and perception of Australian acacias around the world, 17(5), 822–836. doi:10.1111/j.1472-4642.2011.00783.x
- Kumar, S. & Mathur, M. (2014). Impact of invasion by *Prosopis juliflora* on plant communities in arid grazing lands. *Tropical Ecology*. 55. 33-47.
- Laxén J. (2007). Is *Prosopis* a curse or a blessing? An ecological and economic analysis of an invasive alien tree species in Sudan. In: Lukkanan O, ed. *Tropical forestry reports*. Finland: VITRI, University of Helsinki, 1–199.
- Leão, T. C. C., Almeida, W. R., Dechoum, M., Ziller, S. R. 2011. *Espécies Exóticas Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas*. Centro de Pesquisas Ambientais do Nordeste e Instituto Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental. Recife, PE. 99 p.
- Lima, P. C. F., 1994. *Comportamento silvicultural de espécies de Prosopis, em Petrolina-PE, Região Semi-Arida Brasileira*. PhD thesis, Universidade Federal do Parana, Brazil
- Lisboa, S. N., Domingos, F., Vallius, E., Lensu, A., Macamo, E. and Siteo, A. (2022) Assessing the Impact of Road and Land Use on Species Diversity of Trees, Shrubs, Herbs and Grasses in the Mountain Landscape in Southern Africa. *Front. Conserv. Sci.* 3:829690. doi: 10.3389/fcosc.2022.829690
- Liu, C., Diagne, C., Angulo, E., Banerjee, A-K., Chen, Y., Cuthbert, RN., Haubrock, PJ., Kirichenko, N., Pattison, Z., Watari, Y., Xiong, W. & Courchamp, F. (2021). Economic costs of biological invasions in Asia. In: Zenni RD, McDermott S, García-Berthou E, Essl F (Eds) *The economic costs of biological invasions around the world*. *NeoBiota* 67: 53-78. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.58147>.
- Locheremua, V. L. (2004). Diagnóstico da Salinidade dos Solos no Bloco. Irrigado pelo D11 - caso da margem direita do Sistema de Regadio de Chókwè, FAEF-UEM, acessado em: <http://monografias.uem.mz/bitstream/123456789/1983/1/2004%20-%20Locheremua%2C%20Ven%C3%A2ncio%20L..pdf> , 23.04.23
- Lucas, N. M. (2004). Desempenho animal em sistema silvipastoril com acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) e rendimento de matéria seca de cultivares de *Panicum maximum* Jacq. sob dois regimes de luz solar, Porto Alegres.RS, obtido em: <http://hdl.handle.net/10183/4948>
- Machado, S. A., Figueiredo Filho, A. (2003) *Dendrometria*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 309p

- McGeoch, M. A., Genovesi, P., Bellingham, P.J. et al. (2016) Prioritizing species, pathways, and sites to achieve conservation targets for biological invasion. *Biol Invasions* 18, 299–314 <https://doi.org/10.1007/s10530-015-1013-1>
- Mack, R. N. (2003). Phylogenetic constraint, absent life forms, and preadapted alien plants: a prescription for biological invasions, *International Journal of Plant Science*. 164(3 Suppl.): S185–S196.
- Macorreia, M. E. (2020). Educação Ambiental na mitigação dos efeitos climáticos no distrito de Chókwè em Moçambique, *Revista de Botânica, São Paulo*, V. 15, No7:362-375. Obtido em <https://periodicos.unifesp.br/index.php/revbea/article/view/10788/8197> (10.08.22)
- Magombe, M. (2000). Estudo de Infestantes Aquáticas no Regadio de Chókwè. Trabalho de Licenciatura, UEM-FAEF. Maputo
- Maheshnaik, B. L., Baranidharan K, V. (2018) Impact of invasive alien species-*Prosopis juliflora* on floral diversity of Sathyamangalam tiger reserve, Tamil Nadu, India. *Biodiversity Int J.*;2(6):579–585. DOI: 10.15406/bij.2018.02.00115
- Marchante, H., Morais, M., Freitas, H & Marchante, E. (2014). Guia Prático para a Identificação de Plantas Invasoras em Portugal, Imprensa da Universidade de Coimbra Acedido em: <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0786-3>, Maio, 2021.
- Marchante, H., Marchante, E. & Freitas, H. (2005). Plantas invasoras em Portugal – fichas para identificação e controlo, Ed. dos autores. Coimbra.
- Masakha, E. J. (2015). Impacts of *Prosopis Juliflora* on Land Use and Ecology of Salabani Location, Marigat District, Baringo County, Kenya, *Journal of Environment and Earth Science* www.iiste.org ISSN 2224-3216 (Paper) ISSN 2225-0948 (Online) Vol.5, No.19,
- Massuanganhe, G. A. (2013). Avaliação da diversidade de espécies vegetais na região costeira do posto administrativo da praia do Bilene, dissertação de mestrado, UEM, Maputo.
- Maundu, P., Kibet, S., Morimoto, Y., Imbumi, M. & Adeka, R. (2009). Impact of *Prosopis juliflora* on Kenya's semi-arid and arid ecosystems and local livelihoods. *Biodiversity*. 10. 33-50. 10.1080/14888386.2009.9712842.
- McNeely, J. A., Mooney, H. A., Neville, L.E., Schei, P. & Waage J. K. (2001). A Global Strategy on Invasive Alien Species. IUCN Gland, Switzerland, and Cambridge, UK. x + 50 pp.
- Medeiros, N. C. G., Sousa, S. M. S., Monteiro, M.M., Azevedo, L. K. S. & Sales, S. C. V. (2021) Levantamento florístico e fitossociológico em remanescente florestal em patos-pb, DOI: <http://dx.doi.org/10.20873/uftv8-9968> Revista Desafios – v. 08, n. 01, 2021
- Meyer, E. A. (2011). densidade de árvores por diâmetro na floresta estacional decidual no rio do grande sul, Santa Maria, dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8686/MEYER%2.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (03.08.22)

- Ministério da Administração Estatal (2005). Perfil do distrito de Chókwè, MAE-Maputo, disponível em: www.portaldogoverno.gov.mz
- Ministerio da Agricultura e Desenvolvimento Rural, (2020). Inquérito Agrário Integrado, Maputo, Acessado em: www.agricultura.gov.mz .
- Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (2015). Estratégia e plano de acção para a conservação da diversidade biológica em Moçambique. Maputo. MITADER. 124 pp.
- Mohamed, M. A. (2014) Positive and Negative Impact of *Prosopis juliflora* MarodiJeh Region, Somaliland. HARGIESA, Dissertação, obtido no dia 11.09.2020, em <https://pdffox.com/positive-and-negative-impact-ofprosopis-juliflora-marodi-jeh-region-somaliland-pdf-free.html>
- Mosweu, S., Munyati, C., Kabanda, T., Setshogo, M. & Muzila, M. (2013). "Prosopis L. Invasion in the South-Western Region of Botswana: The Perceptions of Rural Communities and Management Options," Natural Resources, Vol. 4 No. 8, 2013, pp. 496-505. doi: 10.4236/nr.2013.48061.
- Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). Aims and Methods of Vegetation. New York: John Wiley & Sons.
- Muller, G. C., Junnila, A., Traore, M. M., Traore, S. F., Doumbia, S., Sissoko, F., Dembele, S. M., Schlein, Y., Arheart, K. L., Revay, E. E., Kravchenko, V. D., Witt, A. & Beier, J. C. (2017). The invasive shrub *Prosopis juliflora* enhances the malaria parasite transmission capacity of Anopheles mosquitoes: a habitat manipulation experiment. Malaria Journal, 16(1), 237–. doi:10.1186/s12936-017-1878-9
- Muturi, G. A. (2012). Ecological impacts of *Prosopis* invasion in riverine forests of kenya, Thesis, Wageningen University, Wageningen, ISBN: 978-94-6173-402-0.
- Mwangi, E. & Swallow, B. (2005). Invasion of *Prosopis juliflora* and local livelihoods: Case study from the lake Baringo area of Kenya. ICRAF Working Paper – no. 3. Nairobi: World Agroforestry Centre
- Mwangi, E., & Swallow, B. (2008). *Prosopis juliflora* invasion and rural livelihoods in the Lake Baringo Area of Kenya. Conservation and Society, 6(2): 130-140.
- Nakano, H. (2010). Plant Growth Inhibitors From Mesquite (*Prosopis juliflora*). In: Ramawat, K. (eds) Desert Plants. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1_16
- Nakano, H., Fujii, Y., Yamada, K. *et al.* (2002). Isolation and identification of plant growth inhibitors as candidate(s) for allelopathic substance(s), from aqueous leachate from mesquite

(*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) leaves. *Plant Growth Regulation* **37**, 113–117
<https://doi.org/10.1023/A:1020579101938>

- Nakicenovic, N., Swart, R. (2000). Special report on emissions scenarios. A special report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/6101/1/emissions_scenarios.pdf
- Nascimento, A. R. T, Longhi, S. J. & Brena, A. D. (2001). Estrutura e padrões de distribuição espacial de espécies arbóreas em uma amostra de Floresta Ombrófila Mista em Nova Prata, RS. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.11, n.1, 105-119p.
- Nascimento, C. E. S. (2008). Comportamento invasor da algarobeira *Prosopis juliflora* (Sw) DC. nas planícies aluviais da Caatinga. Tese de Doutorado. p.116.
- Ndhlovu, T. (2011) Impact of *Prosopis* (mesquite) invasion and clearing on ecosystem structure, function and agricultural productivity in semi-arid Nama Karoo rangeland, South Africa, Thesis of Master degree of Science in Conservation Ecology, University of Stellenbosch,
- Ngazero, A. K. (2013). Levantamento da vegetação das zonas de reprodução do pardal-de-bico vermelho (*quelea quelea*) e efeito de produtos químicos como repelentes no seu controlo., Dissertacao de mestrado, UEM, Maputo.
- Nkoa, R., Owen, M., & Swanton, C. (2015). Weed Abundance, Distribution, Diversity, and Community Analyses. *Weed Science*, 63(SP1), 64-90. doi:10.1614/WS-D-13-00075.1
- Odorico, D., Nicosia, E., Datizua, C., Langa, C., Raiva, R., Souane, J., Nhalungo, S., Banze, A., Caetano, B., Nhauando, V., Ragú, H., Machunguene Jr., M., Caminho, J., Mutemba, L., Matusse, E., Osborne, J., Wursten, B., Burrows, J., Cianciullo, S., Malatesta, L. & Attorre, F. (2022). An updated checklist of Mozambique's vascular plants (Vol. 189). Vol. 189. PhytoKeys.
- Oduor, N. M. and Githiomi, J. K. (2013) Fuel-wood energy properties of *Prosopis juliflora* and *Prosopis pallida* grown in Baringo District, Kenya, *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 8(21), pp. 2476-2481, DOI: 10.5897/AJAR08.221.
- Oliveira, A. E. & Machado, C. J. S. (2009). Quem é quem diante da presença de espécies exóticas no Brasil? Uma leitura do arcabouço institucional legal voltada para a formulação de uma Política Pública Nacional, *Ambiente & Sociedade*, Campinas v. XII, n. 2 p. 373-387
- Oliveira, L. S., Andrade, B., Leonaldo, A., Fabricante, J. R., Goncalves, G. S. (2012). Structure of a *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. Population established in a temporary riverbed in the Microregion of Cariri in the State of Paraíba. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(5), 1769–1778. doi:10.5433/1679-0359.2012v33n5p1769
- Omar, I. A. (2020). Hospedeiros Alternativos da *Pentalonia nigronerva* e do vírus de topo em leque da bananeira (Banana bunchy top virus-BBTV) no distrito de Chókwè, Monografia, UEM, Maputo.

- Pagule, C. E. (2016). Levantamento das espécies invasoras nas formações vegetais em zonas de ocorrência de fogo no Parque Nacional do Limpopo, Dissertação de mestrado, UEM, Maputo.
- Pandeya, S.C., Puri, G. S. & Singh, J. S. (1968). Research Methods in Plant Ecology. New York: Asia Publishing House.
- Parker, I., Simberloff, D., Lonsdale, W. Goodell, K., Wonham, M., Kareiva, P. M., Williamson, M. H., Von Holle, B., Moyle, P. B., Byers, J. E., & Goldwasser, L. (1999). Impact: Toward a Framework for Understanding the Ecological Effects of Invaders. *Biological Invasions* 1, 3–19 <https://doi.org/10.1023/A:1010034312781>.
- Pasiecznik, N.M., Felker, P., Harris, P.J.C., Harsh, L.N., Cruz, G., Tewari, J.C., Cadoret, K. and Maldonado, L.J. (2001). The *Prosopis juliflora* - *Prosopis pallida* Complex: A Monograph. HDRA, Coventry, UK. pp.172.
- Pasiecznik, NM, Harris, P.J. C. & Smith, S. J (2004). Identifying Tropical *Prosopis* Species: A Field Guide. HDRA, Coventry, UK. ISBN 0 905343 34 4.
- Patnaik, P., Abbasi, T. & Abbasi, S.A. (2017). Prosopis (*Prosopis juliflora*): blessing and bane, *Tropical Ecology* 58(3): 455–483.
- Pegado, C. M. A., Andrade, L. A., Félix, L. P., & Pereira, I. M. (2006). Efeitos da invasão biológica de algaroba - *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. sobre a composição e a estrutura do estrato arbustivo-arbóreo da caatinga no Município de Monteiro, PB, Brasil. *Acta Botânica Brasílica* v. 20, p. 887-898.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P. & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, Vol 190/3-4 pp 231-259.
- Pimentel, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52(3), 273–288. doi:10.1016/j.ecolecon.2004.10.002 10.1016/j.ecolecon.2004.10.002
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R. & Morrison, D. (2000). Environmental and Economic Costs of Nonindigenous Species in the United States. *Bioscience*. 50.pp 53-65. 10.1641/0006-3568(2000)050[0053: EAECON]2.3.CO;2.
- Pillar, V.D. 1996. Descrição de comunidades vegetais. UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>
- Pivello, V. R. (2011). Invasões Biológicas no Cerrado Brasileiro: Efeitos da Introdução de Espécies Exóticas sobre a Biodiversidade. *ECOLOGIA.INFO* 33
- Plano Estratégico de Desenvolvimento do Distrito de Chokwe (2012). Província de Gaza,

- Ribaski, J. (2000). Influência da algaroba *Prosopis juliflora* (SW.) DC. sobre A disponibilidade e qualidade da forragem de capim-búfel [*Cenchrus ciliaris*] na região semi-árida brasileira, Curitiba (Tese de doutoramento)
- Ribeiro, J. L., do Val, A. D. B. & Neto, P. R. (2008). Recomendações Técnicas para o Cultivo do Cajueiro-Anão-Precoce na Região Meio-Norte do Brasil, Embrapa, circular técnica 50, ISSN 0104-7633.
- Ribeiro, F. M. & Campos-Farinha, A. E. (2005). Invasões Biológicas e insectos sociais invasores, *Biológico*, São Paulo, v.67, n1/2, p.11-17.
- Richardson, D., Witt, A., Pergl, J., Dawson, W., Essl, F., Kreft, H., van Kleunen, M., Weigelt, P., Winter, M. & Pyšek, Petr. (2022). Plant Invasions in Africa. 10.1007/978-3-030-89684-3_11.
- Richardson D. M. (2011). Fifty years of invasion ecology : the legacy of Charles Elton, Blackwell Publishing Ltd, https://doi.org/10.1002/9781444329988.ch_1
- Richardson, D. M., Pyšek, P., Rejmánek, M., Barbour, M. G., Panetta, F. D. & Carol J. West (2000). Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. 6(2), 93–107. doi:10.1046/j.1472-4642.2000.00083.x.
- Roswell, M., Dushoff, J. and Winfree, R. (2021), A conceptual guide to measuring species diversity. *Oikos*, 130: 321-338. <https://doi.org/10.1111/oik.07202>
- Sandilyan, S. (2019). Strategies for control and management of some selective Invasive Alien Plant Species Endangering Indian Biodiversity. National Biodiversity Authority, Chennai.
- Shackleton, R. T., Le Maitre, D. C., Pasiecznik, N. M. & Richardson, D. M. (2014). *Prosopis*: a global assessment of the biogeography, benefits, impacts and management of one of the world's worst woody invasive plant taxa. *AoB PLANTS* 6: plu027; doi:10.1093/aobpla/plu027
- Shackleton R. T., Le Maitre, D. C., Richardson, D. M., (2015). Stakeholder perceptions and practices regarding *Prosopis* (Mesquite) invasions and management in South Africa. *Ambio*. Oct;44(6):569-81. doi: 10.1007/s13280-014-0597-5.
- Shanwad, UK & Gebremedhin, B. (2015). Management of *Prosopis juliflora* through Chemicals: A Case Study in India. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*. 5. 30-38.
- Shiferaw, H., Alamirew, T., Dzikiti, S., Bewket, W., Zeleke, G. & Schaffner, U. (2021a) Water use of *Prosopis juliflora* and its impacts on catchment water budget and rural livelihoods in Afar Region, Ethiopia. *Sci Rep* 11, 2688. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81776-6>
- Shiferaw, W. (2021b) Effects of invasion level of *Prosopis juliflora* on native species diversity and regeneration in Afar region, Northeast Ethiopia, bioRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.03.09.434549>

- Shiferaw, W., Demissew, S., Bekele, T., Aynekulu, E., Pitroff, W. (2021c) Invasion of *Prosopis juliflora* and its effects on soil physicochemical properties in Afar region, Northeast Ethiopia, International Soil and Water Conservation Research, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.003>
- Shiferaw, H., Schaffner, U., Bewket, W., Alamirew, T., Zeleke, G., Teketay, D., Eckert, S. (2019) Modelling the current fractional cover of an invasive alien plant and drivers of its invasion in a dryland ecosystem. *Sci Rep.*;9(1):1576. doi: 10.1038/s41598-018-36587-7. PMID: 30733452; PMCID: PMC6367408.
- Shiferaw, H., Teketay, D., Nemomissa, S., & Assefa, F. (2004). Some biological characteristics that foster the invasion of *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. at Middle Awash Rift Valley Area, north-eastern Ethiopia. *Journal of Arid Environments*. 58. 135-154. 10.1016/j.jaridenv.2003.08.011.
- Siddiqui, S., Bhardwaj, S., Khan, S. S., Meghvanshi, M. K. (2009). Allelopathic Effect of Different Concentration of Water Extract of Prosopis Leaf on Seed Germination and Radicle Length of Wheat (Var-Lok-1) *American-Eurasian Journal of Scientific Research* 4 (2): 81-84, ISSN 1818-6785
- Silva, D. A., Albuquerque, J. A., Alves, J. M. A., Rocha, P. R. R., Medeiros, R. D., Finoto, E. L. & Menezes, P. H. S. (2018). Caracterização de plantas daninhas em área rotacionada de milho e feijão-caupi em plantio direto, *Scientia Agropecuaria* 9(1): 7– 15 (2018), DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.01.01
- Silva, G. F., Curto, R. D. A., Soares, C.P. B. & Piassi, L. C. (2012). Avaliação de métodos de medição de altura em florestas naturais, *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.2, p.341-348
- Singh, S., Swapnil, S. S. & Verma, S. K. (2011). Antibacterial properties of Alkaloid rich fractions obtained from various parts of *Prosopis juliflora*, *International Journal of Pharma Sciences and Research (IJPSR)*, Vol.2(3), pp114-120
- Sintayehu, D. W., Dalle, G. & Bobasaa, A. F. (2020). Impacts of climate change on current and future invasion of *Prosopis juliflora* in Ethiopia: environmental and socio-economic implications, Volume 6, Issue8, ISSN2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04596>.
- Souza, S. R. R., Amorim, I. L., Rolim Júnior, S. S., Cunha, M. C. L., Lins-e-Silva, A. C. R. & Hulme, P. E. (1999). Estudo da dispersão de sementes de algaroba (*Prosopis juliflora* (SW) DC) por caprinos, bovinos e muarens no semi-árido do Nordeste do Brasil. workshop “Algarobeira, solução ou problema no semi-árido nordestino?”
- Terblanche, C., Liversage, T., Nicolau, D., Bila, S., Nazerali, S., Costa., H., Duarte, E. (2022). Assessment of Invasive Species Status and Development of a Restoration Strategy & Management Plan for Maputo National Park (MNP), Mozambique. Colterra, BIOFUND, WCS. Maputo, Mozambique. 70 pp.

- Tewari, J., Harris, P., Harsh, L. N., Cadoret, K., & Pasiecznik, N. (2001). *Managing Prosopis juliflora: A Technical Manual*. The Henry Doubleday Research Association, Ryton-on-Dunsmore, UK ISBN: 0905343271
- Timberlake, J., Jordão, C., & Serno, G. (1985) Levantamento de Pastagens e Solos de Chokwè, INIA. Série terra e água. Comunicação n° 50.
- Touber, L. e Noort L., 1985. Avaliação de terra para agricultura regada na área do “SIREMO”, vale do Limpopo. INIA. Série terra e água. Comunicação 26 vol 2, 56p
- Trindade, W. C. F. (2019). Modelagem de distribuição das formações vegetais do estado do paraná: passado, presente e futuro, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil.
- Uate, M. (2022). Hospedeiros alternativos do *Pentalonia nigronervosa* e do vírus do topo em leque da bananeira (Banana Bunchy Top Virus-BBTV), Monografia, UEM, Maputo.
- Uetela, A. E. (2014). Dinâmica e prognose de produção de uma floresta de miombo utilizando matriz de transição, dissertação de mestrado, Curitiba, acessado em: http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2014/d687_0180-M.pdf (24.04.2023).
- UNEP, 2006. Africa Environment Outlook 2. Division of Early Warning and Assessment, United Nations Environment Programme, Nairobi.
- Vallejo, V. E., Z. Arbeli, W. Terán, N. Lorenz, R. P. Dick & F. Roldan. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Eco-systems & Environment* 150: 139–148.
- Van Wilgen, B. W., Dyer, C., Hoffmann, J. H., Ivey, P., Le Maitre, D. C., Moor, J. L., Richardson, D. M., Rouget, M., Wannenburgh, A. & Wilson, J. R. U. (2011). National-scale strategic approaches for managing introduced plants: insights from Australian acacias in South Africa. *17(5)*, 1060–1075. doi:10.1111/j.1472-4642.2011.00785.x
- Van Wilgen, B. W., Forsyth, G. G., Le Maitre, D. C., Wannenburgh, A., Kotzé, J. D.F., Van den Berg, E. & Henderson, L. (2012). An assessment of the effectiveness of a large, national-scale invasive alien plant control strategy in South Africa, *148(1)*, 0–38. doi:10.1016/j.biocon.2011.12.035.
- Vieira, M. S., Souto, S. M., Dias, P. F., Colombari, A. A., Azevedo, B. C. e Matta, P. M. (2012) Efeito de sombreamento no crescimento inicial de *Panicum maximum* cv. Massai, ISSN 1022-1301. 2013. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Vol. 21, Núm. 1: 49-54.
- Wakie T., Evangelista, P., Jarnevich, C., Laituri, M. (2014) Mapping current and potential distribution of non-native *Prosopis juliflora* in the Afar region of Ethiopia. *PLoS*

One;9(11):e112854. doi: 10.1371/journal.pone.0112854. PMID: 25393396; PMCID: PMC4231090.

- Wakie, T., Evangelista, P., Laituri, M. (2012). Utilization assessment of *Prosopis juliflora* in Afar Region, Ethiopia. US Forest Service, USDA Office of International Programs, USAID Pastoral Livelihoods Initiative II Project (PLI II).
- Walter, K., (2011). *Prosopis*, an Alien among the Sacred Trees of South India. Doctoral dissertation (mono-graph), University of Helsinki, Faculty of Agriculture and Forestry, Department of Forest Sciences.
- Westbrooks, R., (1998). Invasive plants: changing the landscape of America: fact book. Washington, DC: Federal Interagency Committee for the Management of Noxious and Exotic Weeds. p 107.
- Williamson, M. H. & Fitter, A. (1996). The characters of successful invaders., 78(1-2), 0–170. doi:10.1016/0006-3207(96)00025-0
- Wilson, C. E, Castro, K. L., Thurston, G. B. & Sissons, A. (2016) Pathway risk analysis of weed seeds in imported grain: a Canadian perspective. *NeoBiota* 30:49–74, <https://doi.org/10.3897/neobiota.30.7502>
- Wise, R.M., van Wilgen, B.W., & Le Maitre, D.C. (2012). Costs, benefits and management options for an invasive alien tree species: The case of mesquite in the Northern Cape, South Africa. , 84(none), –. doi:10.1016/j.jaridenv.2012.03.001
- Witt, A. B. R. (2010). Biofuels and invasive species from an African perspective—A review. *GCB Bioenergy*, 2, 321–329, Kenya, doi: 10.1111/j.1757-1707.2010.01063.xr2010 Blackwell Publishing Ltd321.
- Zachariades, C., Hoffmann, J. & Roberts, A. P. (2011). Biological Control of Mesquite (*Prosopis* Species) (Fabaceae) in South Africa. *African Entomology*. 19. 402-415. doi:10.4001/003.019.0230.
- Ziller, S. R. (1992) Análise Fitossociológica de Caxetais, Curitiba, dissertação de mestrado, obtido em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26715/D%20-%20ZILLER%2C%20SILVIA%20RENATE.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (16.01.23)
- Zenni RD, Essl F, García-Berthou E, McDermott SM (2021) The economic costs of biological invasions around the world. In: Zenni RD, McDermott S, García-Berthou E, Essl F (Eds) The economic costs of biological invasions around the world. *NeoBiota* 67: 1-9. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.69971>
- Zavale, R. da F. (2018). Caracterização Florística e Fitossociológica nas Bermas da Estrada Circular de Maputo, monografia de licenciatura, UEM-FAEF, Maputo

7. ANEXOS

Anexo 1. Composição florística da área não invadida pela *P. juliflora* em ordem do seu valor de importância (IVI)

Espécie/família	Área não invadida pela <i>P. juliflora</i>				
	Ocorrência	FR%	AbR%	CobR%	IVI
<i>Urochloa mosambicensis</i> (Hack.) Dandy	40,00	18,35	3,69	2,09	24,13
<i>Chloris gayana</i> Kunth	12,00	5,50	4,00	1,93	11,44
<i>Corchorus olitorius</i> L.	14,00	6,42	2,45	2,23	11,11
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers	10,00	4,59	2,52	2,62	9,73
<i>Cyperus</i> sp.	12,00	5,50	2,19	1,77	9,46
<i>Heteropogon contortus</i> Linnaeus, 1753	7,00	3,21	3,92	2,02	9,15
<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	5,00	2,29	5,03	1,82	9,14
<i>Poaceae 1 (Desconhecida)</i>	7,00	3,21	2,61	2,16	7,99
<i>Conyza</i> sp.	10,00	4,59	1,60	1,61	7,80
<i>Eriochloa meyeriana</i> (Nees) Pilg.	1,00	0,46	2,29	4,04	6,78
<i>Parthenium hysterophorus</i> Adans.	7,00	3,21	2,12	1,44	6,78
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	6,00	2,75	2,67	1,35	6,77
<i>Heliotropium</i> sp. Pall., 1795	6,00	2,75	2,29	1,68	6,72
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	4,00	1,83	1,14	3,53	6,51
<i>Argemona mexicana</i> L.	3,00	1,38	2,67	2,35	6,40
<i>Indigofera spicata</i> Forssk.	5,00	2,29	1,14	2,83	6,26
<i>Ocimum basilicum</i> L.	5,00	2,29	1,37	2,42	6,09
<i>Abutilon guineense</i> (Schum.) Baker fil. & Exell	3,00	1,38	1,53	3,03	5,93
<i>Dentella repens</i> (L.) J.R. Forst. & G. Forst.	5,00	2,29	1,37	2,22	5,89
<i>Euphorbia hirta</i> L.	2,00	0,92	2,29	2,52	5,73
<i>Asparagus aethiopicus</i> L.	1,00	0,46	1,14	4,04	5,64
<i>Asteraceae 1 (Desconhecida)</i>	1,00	0,46	1,14	4,04	5,64
<i>Ipomoea</i> sp.	1,00	0,46	1,14	4,04	5,64
<i>Achyranthes aspera</i> Duss, 1897	4,00	1,83	2,00	1,77	5,60
<i>Boerhavia coccinea</i> Mill.	4,00	1,83	1,43	2,27	5,54
<i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.) Stapf & C.E.Hubb. ex Moss	2,00	0,92	3,43	1,01	5,36
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop	2,00	0,92	2,86	1,51	5,29
<i>Justicia flava</i> Kurz	1,00	0,46	3,43	1,01	4,90
<i>Euphorbia prostrata</i> J. Graham	1,00	0,46	3,43	1,01	4,90
<i>Datura stramonium</i> L.	1,00	0,46	2,29	2,02	4,76
<i>Eragrostis</i> sp.	2,00	0,92	2,29	1,51	4,72
<i>Gomphrena decumbens</i> Jacq.	2,00	0,92	1,72	2,02	4,65
<i>Gossypium herbaceum</i> L.	2,00	0,92	1,72	2,02	4,65
<i>Setaria woodii</i> Hack.	3,00	1,38	1,91	1,35	4,63
<i>Sida acuta</i> Burm.fil.	2,00	0,92	1,14	2,52	4,58
<i>Sonchus</i> sp.	3,00	1,38	1,14	2,02	4,54
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	2,00	0,92	1,72	1,51	4,15

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwe

<i>Asteraceae 2(Desconhecida)</i>	2,00	0,92	1,14	2,02	4,08
<i>Tribulus terrestris</i> Muhl.	2,00	0,92	1,14	2,02	4,08
<i>Maerua rosmarinoides</i> (Sond.) Hochst.	1,00	0,46	2,29	1,01	3,76
<i>Nidorella auriculata</i> DC.	1,00	0,46	1,14	2,02	3,62
<i>Sida sp.</i>	1,00	0,46	1,14	2,02	3,62
<i>Portulaca oleracea</i> L.	2,00	0,92	1,14	1,51	3,58
<i>Hygrophila auriculata</i> (Schumach.) Heine	3,00	1,38	1,14	1,01	3,53
<i>Xanthium strumarium</i> L.	2,00	0,92	1,14	1,01	3,07
<i>Blepharis maderaspatensis</i> Linnaeus, 1753	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
<i>Indigofera sp.</i>	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
<i>Macroptilium atropurpureum</i> (DC.) Urb.	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
<i>Boerhavia diffusa</i> Engelm. & A. Gray	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
<i>Portulaca quadrifida</i> L.	1,00	0,46	1,14	1,01	2,61
Total	218,00	100,00	100,00	100,00	300,00

Onde: FR%_ Freqüência relativa, AbR%_ Abundância relativa, CobR%_ Cobertura relativa e IVI_ Índice de valor de importância

Anexo 2. Resultados fitossociológicos da área invadida pela *P. juliflora* em ordem do seu valor de importância (IVI)

Espécie	Área invadida pela <i>P. juliflora</i>				
	Ocorrência	FR%	AbR%	CobR%	IVI
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	11,00	25,00	6,37	7,43	38,80
<i>Eragrostis sp</i>	6,00	13,64	6,68	9,31	29,63
<i>Sida acuta</i> Burm.fil.	3,00	6,82	8,34	8,60	23,76
<i>Solanum incanum</i> Forssk.	2,00	4,55	10,01	8,60	23,16
<i>Urochloa mosambicensis</i> (Hack.) Dandy	5,00	11,36	6,01	5,16	22,53
<i>Indigofera spicata</i> Forssk.	3,00	6,82	5,01	7,17	18,99
<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	2,00	4,55	7,51	6,45	18,50
<i>Chloris gayana</i> Kunth	2,00	4,55	5,01	8,60	18,15
<i>Abutilon guineense</i> (Schum.) Baker fil. & Exell	2,00	4,55	5,01	8,60	18,15
<i>Blepharis maderaspatensis</i> Linnaeus, 1753	1,00	2,27	10,01	4,30	16,59
<i>Setaria woodii</i> Hack.	2,00	4,55	5,01	4,30	13,85
<i>Parthenium hysterophorus</i> Adans.	1,00	2,27	5,01	4,30	11,58
<i>Achyranthes aspera</i> Duss, 1897	1,00	2,27	5,01	4,30	11,58
<i>Cardiospermum halicacabum</i> L.	1,00	2,27	5,01	4,30	11,58
<i>Indigofera sp.</i>	1,00	2,27	5,01	4,30	11,58
<i>Abutilon sp</i>	1,00	2,27	5,01	4,30	11,58
Total	44,00	72,73	100,00	100,00	300,00

Onde: FR%_ Freqüência relativa, AbR%_ Abundância relativa, CobR%_ Cobertura relativa e IVI_ Índice de valor de importância

Anexo 3. Variáveis bioclimáticas

Variável	Descrição	Variável	Descrição
Bio01	Temperatura média anual (°C)	Bio11	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Bio02	Amplitude diurna média (°C)(mean (period max-min)) (°C)	Bio12	Precipitação anual (mm)
Bio03	isothermalidade (bio2/bio7) (*100)	Bio13	Precipitação do mês mais húmido
Bio04	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)	Bio14	Precipitação do mês mais seco
Bio05	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)	Bio15	Sazonalidade da precip. (coeficiente de variação)
Bio06	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)	Bio16	Precipitação do trimestre mais úmido (mm)
Bio07	Amplitude térmica anual (BIO5-BIO6) (°C)	Bio17	Precipitação do trimestre mais seco (mm)
Bio08	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	Bio18	Precipitação do trimestre mais quente (mm)
Bio09	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)	Bio19	Precipitação do trimestre mais frio (mm)
Bio10	temperatura média do trimestre mais quente (°C)	Bio29	Índice de humidade semanal mais alto
Bio20	Radiação média anual (W m-2)	Bio30	Índice de humidade semanal mais baixo
Bio21	Maior radiação semanal (W m-2)	Bio31	índice da Sazonalidade de humidade (C de V)
Bio22	Radiação semanal mais baixa (W m-2)	Bio32	Índice médio de humidade do trimestre mais úmido
Bio23	Sazonalidade da radiação (C of V)	Bio33	Índice médio de humidade do trimestre mais seco
Bio24	Radiação do trimestre mais húmido (W m-2)	Bio34	Índice médio de humidade do trimestre mais quente
Bio25	Radiação do trimestre mais seco (W m-2)	Bio35	Índice médio de humidade do trimester mais frio
Bio26	Radiação do trimestre mais quente (W m-2)		
Bio27	Radiação do trimestre mais frio (W m-2)		
Bio28	Índice médio anual de humidade		

Anexo 4. Ficha de levantamento da vegetação arbórea e arbustiva



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE PROTECÇÃO

Ficha de levantamento da Vegetação (árvores e arbustos)

Província _____ Distrito _____ Posto administrativo _____
 Localidade _____ Povoado _____ Tipo de área _____
 Latitude _____ Longitude _____ Altitude _____ Nr do ponto _____
 Nome do observador _____ Data ____/____/____
 Inventário N° _____ Quadricula N° _____ Topografia _____ Tipo de Solo _____
 Observações: _____

Nr	Nome científico/Vernacular	Número de indivíduos	Cobertura	DAP >5 cm	Altura	Idade
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						

Tipo de área

- 1- Residencial
- 2- Agrícola abandonada
- 3- Pastagem
- 4- Berma da estrada
- 5- Floresta

Tipo de espécie

- 1-árvore
- 2-Arbusto
- 3-Liana
- 4-Suculenta

Estrutura etária

- 1-Regenerante
- 2-Jovem
- 3-Adulta

Anexo 5. Ficha de distribuição de *P. Juliflora*



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

DEPARTAMENTO DE PROTECÇÃO

Ficha de distribuição de *Prosopis Juliflora*

Província _____ Distrito _____ Posto Administrativo _____
 Localidade _____ Povoado _____ Tipo de área _____
 Nome do observador _____ Data ____/____/____
 Inventário N° _____ Quadricula N° _____ Topografia _____ Tipo de
 Solo _____
 Observações: _____

Nr	Latitude	Logitude	Altitude	Idade	Abundancia & cobertura
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

Tipo de área	Estrutura etária	Abundância
1- Residencial	1-Regenerante	0-Ausente, nenhuma planta encontrada
2-Agrícola abandonada	2-Jovem	1-Presente, indivíduos abundantes, mas com baixa cobertura
3-Pastagem	3-Adulta	2-Raro, indivíduos muito numerosos; cobrindo pelo menos 5% da área
4-Berma da estrada		3-Ocasional, poucos ou muitos indivíduos; colectivamente cobrindo de 6 a 25% da área
5-Floresta		4-Frequente, poucos ou muitos indivíduos; colectivamente cobrindo 26-50% da área
		5-Abundante, as plantas cobrem 51-75% da área
		6-Muito abundante, as plantas cobrem 76-100% da área

Anexo 6. Ficha de levantamento da vegetação herbácea



**FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL
DEPARTAMENTO DE PROTECÇÃO**

Ficha de levantamento da Vegetação (herbácea)

Província _____ Distrito _____ Posto administrativo _____
 Localidade _____ Povoado _____ Tipo de área _____
 Latitude _____ Longitude _____ Altitude _____ Nr do ponto _____
 Nome do observador _____ Data ____/____/____
 Inventário N° _____ Quadricula N° _____ Topografia _____ Tipo de Solo _____
 Observações: _____

Nr	Nome científico/Vernacular	Abundância	Cobertura	Sociabilidade	Altura
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Abundância

- 1- Raro 1 a 2 plantas
- 2- Pouco comum 5 a 14 plantas
- 3- Comum: 15 a 29 plantas
- 4- Abundante: 30 a 99 plantas
- 5- Muito Abundante: + 100 plantas

Cobertura

- 1-1 a 5%
- 2-6 a 25%
- 3- 26 a 50%
- 4- 51 a 75%
- 5- 76 a 100%

Tipo de área

- 1-Agrícola
- 2-Agrícola abandonada
- 3-Pastagem
- 5-Berma da estrada
- 6-Floresta

Anexo 7. Teste Chi-quadrado, presença de *P. juliflora* e tipo de solo

Presença	CARC_DOMIN				Total
	1	2	3	4	
0	4	20	16	7	47
1	0	46	29	21	96
Total	4	66	45	28	143

Pearson chi2(3) = 9.2997 Pr = 0.026

Anexo 8. Teste Chi-quadrado, presença de *P. juliflora* e tipo de vegetação

. tab2 lulc presença, chi2

-> tabulation of lulc by presença

LULC	Presença		Total
	1	2	
1	3	3	6
2	3	5	8
3	7	0	7
4	70	18	88
5	0	8	8
6	10	11	21
7	3	2	5
Total	96	47	143

Pearson chi2(6) = 33.6338 Pr = 0.000

Anexo 9. ANOVA do diâmetro nos postos administrativos estudados

. anova dap postadm

Number of obs = 49 R-squared = 0.4657
 Root MSE = 9.43408 Adj R-squared = 0.4301

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	3491.16514	3	1163.72171	13.08	0.0000
postadm	3491.16514	3	1163.72171	13.08	0.0000
Residual	4005.08016	45	89.0017814		
Total	7496.2453	48	156.171777		

. swilk erro

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	49	0.98591	0.652	-0.910	0.81863

. hettest erro

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance
 Variables: erro

chi2(1) = 0.93
 Prob > chi2 = 0.3349

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

dap	Mean	Std. Err.	Tukey Groups
postadm			
1	29.70382	2.109523	A
2	32.14013	2.983317	AB
3	15.76752	2.983317	
4	42.569	3.144692	B

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

Anexo 10. ANOVA da altura nos postos administrativos estudados

. anova altura postadm

Number of obs = 49 R-squared = 0.1350
 Root MSE = 1.4704 Adj R-squared = 0.0774

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	15.188152	3	5.06271732	2.34	0.0859
postadm	15.188152	3	5.06271732	2.34	0.0859
Residual	97.2938891	45	2.16208642		
Total	112.482041	48	2.34337586		

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
e	49	0.97544	1.137	0.273	0.39231

altura	Mean	Std. Err.	Tukey Groups
postadm			
1	7	.3287922	A
2	6	.4649824	A
3	5.65	.4649824	A
4	6.088889	.4901345	A

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

Anexo 11. ANOVA do diâmetro de *P. juliflora* nas áreas invadidas e residencias

. anova dap2 duasareas

Number of obs = 37 R-squared = 0.8134
 Root MSE = 5.58443 Adj R-squared = 0.8081

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	4757.4258	1	4757.4258	152.55	0.0000
duasareas	4757.4258	1	4757.4258	152.55	0.0000
Residual	1091.50625	35	31.1858929		
Total	5848.93205	36	162.470335		

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance
Variables: erro

chi2(1) = 0.03
Prob > chi2 = 0.8663

over : duasareas

note: option snk ignored since there is only one comparison

dap2	Mean	Std. Err.	Unadjusted Groups
duasareas			
1	30.008	1.765953	
2	4.474815	1.074725	

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

Anexo 12. ANOVA da altura de *P. juliflora* nas áreas invadidas e residenciais

Number of obs = 40 R-squared = 0.7019
Root MSE = 1.33464 Adj R-squared = 0.6940

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	159.344649	1	159.344649	89.46	0.0000
duasareas	159.344649	1	159.344649	89.46	0.0000
Residual	67.6881062	38	1.78126595		
Total	227.032756	39	5.82135271		

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance
Variables: e

chi2(1) = 0.59
Prob > chi2 = 0.4427

. pwmean altura, over(duasareas) mcompare(snk) pveffects groups

Pairwise comparisons of means with equal variances

over : duasareas

note: option snk ignored since there is only one comparison

altura	Mean	Std. Err.	Unadjusted Groups
duasareas			
1	6.306	.4220505	
2	1.696667	.2436709	

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

Anexo 13. ANOVA da diversidade entre área invadida e não invadida

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

. anova s trat blocos

Number of obs = 14 R-squared = 0.9048
 Root MSE = .357165 Adj R-squared = 0.7938

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	7.27552199	7	1.03936028	8.15	0.0104
trat	4.50480358	1	4.50480358	35.31	0.0010
blocos	2.77071841	6	.461786402	3.62	0.0713
Residual	.765402253	6	.127567042		
Total	8.04092424	13	.618532634		

. swilk er

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
er	14	0.94233	1.067	0.128	0.44900

. hettest er

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: er

chi2(1) = 0.00

Prob > chi2 = 1.0000

note: option snk ignored since there is only one comparison

s	Unadjusted	
	Mean	Std. Err.
trat		
1	1.083632	.2051747
2	2.21813	.2051747

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5%

note: option snk ignored since there is only one comparison

s	Unadjusted		
	Contrast	Std. Err.	
trat			
2 vs 1	1.134498	.2901609	
		t	P> t
		3.91	0.002

Anexo 14 ANOVA da uniformidade entre area invadida e não invadida

. anova e trat blocos

Number of obs = 14 R-squared = 0.8257
 Root MSE = .047312 Adj R-squared = 0.6223

Source	Partial SS	df	MS	F	Prob > F
Model	.063604867	7	.00908641	4.06	0.0540
trat	.043639122	1	.043639122	19.50	0.0045
blocos	.019965745	6	.003327624	1.49	0.3212
Residual	.013430592	6	.002238432		
Total	.077035459	13	.005925805		

Distribuição de *Prosopis juliflora* e seu impacto no distrito de Chókwè

. swilk erro

Shapiro-Wilk W test for normal data

Variable	Obs	W	V	z	Prob>z
erro	14	0.88986	2.038	1.402	0.08045

. hettest erro

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: erro

chi2(1) = 0.00

Prob > chi2 = 1.0000

note: option snk ignored since there is only one comparison

e	Mean	Std. Err.	Unadjusted	
			t	P> t
trat				
1	.3286901	.0199393		
2	.2170285	.0199393		

Note: Means sharing a letter in the group label are not significantly different at the 5% level.

note: option snk ignored since there is only one comparison

e	Contrast	Std. Err.	Unadjusted	
			t	P> t
trat				
2 vs 1	-.1116616	.0281984	-3.96	0.002