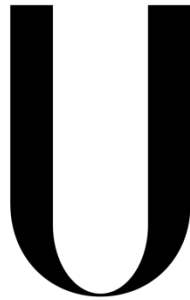


Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**LISBOA**

---

UNIVERSIDADE  
DE LISBOA

**Impactes das mudanças climáticas projetadas na distribuição de  
espécies arbóreas no sudoeste de Angola**

**José Camôngua Luís**

Dissertação orientada pelo Prof. Doutor Albano Augusto Figueiredo  
Rodrigues e Prof. Doutor Carlos Silva Neto

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2020

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Impactes das mudanças climáticas projetadas na distribuição de  
espécies arbóreas no sudoeste de Angola**

**José Camôngua Luís**

Dissertação orientada pelo Prof. Doutor Albano Augusto Figueiredo  
Rodrigues e Prof. Doutor Carlos Silva Neto

Júri:

Presidente: Professor Doutor António Manuel Saraiva Lopes do Instituto de  
Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Professor Doutor José Carlos Augusta da Costa do Instituto Superior de  
Agronomia da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Albano Augusto Figueiredo Rodrigues da Faculdade de  
Letras da Universidade de Coimbra

2020

## **Agradecimentos**

A materialização deste feito, é certamente o culminar e o início de um sonho há muito desejado, sobre o qual me recusava despertar e a projeção de muitos outros, que contou com importantes apoios e impulsos, sem os quais não teria sido efetivado. A todos os que tornaram este sonho possível, estou eternamente grato. Primeiramente dou graças a Deus, o todo poderoso pelas bênçãos que me tem concedido durante toda esta trajetória, permitindo assim a materialização deste grande feito.

Aos meus estimados orientadores Professor Doutor Carlos Silva Neto, Professor Doutor Albano Augusto Figueiredo Rodrigues, que sem medir esforço, abraçaram o compromisso e a ideia de guiarem de forma sábia, pedagógica, científica e profissional este processo, os meus mais sinceros sentimentos de gratidão. Ao Professor Luís Catarino e toda sua equipa do ex-Herbário Tropical de Lisboa.

Aos meus pais, tios, irmãos que nunca pouparam esforço nesta minha longa trajetória, sempre acreditando em mim, sou-vos eternamente grato. Aos meus mestres e amigos António Válder Chisingui, José Luís Mateus Alexandre, Hélder Alicerces Bahu, Francisco Maiato P. Gonçalves, José da Silva, Isabel Galamba, Vladi Sénio Pereira, João Hequer, vocês foram a peça basilar para esta obra por terminar. Entretanto, palavras sempre hão-de faltar para exprimir a tamanha gratidão. Os meus agradecimentos estendem-se ainda aos meus amigos e colegas do CIDE – Centro de Investigação e Desenvolvimento da Educação do ISCED Huíla, e ao sub-projeto 154 do SASSCAL, nomeadamente Marina Rafael, José Tchamba, Hervé Vela, Abel Bala, Manuel Cachissapa, Joaquim Txifunga, Paula Páscoa, José Alexandre, Gelson Canísio, Teixeira, José Maria, Mário Tchipuputua, José Nkelleka, Edgar Mahapi, Evaristo das Mangas, os meus profundos votos de gratidão. Também devo aqui destacar os meus colegas e Professores do Mestrado pelo forte apoio incondicional e contributo que tiveram neste processo.

Ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudo (INAGBE) pela concessão da bolsa de estudo, o que garantiu o financiamento da minha formação nestes pouco mais e dois anos de estadia em Portugal, ao Governo Provincial da Huíla na pessoa da Sua Excia Senhora Vice-Governadora para

Setor Político, Social e Económico Dra. Maria João Tchipalavela, ao Gabinete Provincial de Educação da Huíla (GPE-Huíla), a Secção Municipal de Educação do Lubango e finalmente ao ISCED-Huíla pela oportunidade e por acreditar nas minhas capacidades individuais.

A todos, os meus mais profundos agradecimentos.

**Dedicatória**

à minha família

## Resumo

As mudanças climáticas constituem uma das principais ameaças para os ecossistemas, uma fragilidade que está potenciada pela ação antrópica. Esta realidade é bem evidente no território angolano, onde a pressão humana sobre os recursos naturais tem promovido profundas alterações dos ecossistemas. Os modelos de nicho ecológico constituem uma potente ferramenta neste contexto, pois fornecem informações detalhadas sobre a distribuição e requisitos ambientais, auxiliando na gestão sustentável dos *habitats* mais vulneráveis. O presente trabalho visa avaliar os impactes das mudanças climáticas projetadas na distribuição de espécies arbóreas no sudoeste de Angola para o período de 2061 - 2080, tendo como referência os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5. Esta análise baseou-se na modelação de nicho ecológico, suportada no princípio da máxima entropia, com recurso ao *software* MAXENT. Os dados de presenças das espécies foram extraídos de diversas fontes, como herbários físicos e digitais, bases de dados online, como o GBIF, a base de dados da flora da Zâmbia e a *BiotaBase*. No sentido de avaliar a resposta de espécies associadas às condições ecológicas distintas, foram selecionadas quatro espécies características das principais comunidades florestais do SW angolano descritas por Barbosa (1970): *Brachystegia boehmii*, *Baikiaea plurijuga*, *Colophospermum mopane* e *Terminalia prunioides*. As variáveis climáticas foram extraídas da base de dados *worldclim* com uma resolução de 1 km, tendo sido selecionadas as variáveis não correlacionadas. Quanto aos resultados, os modelos projetam expansão da área ecologicamente adequada para ocorrência das espécies ao nível da África Austral, em oposição a uma contração significativa projetada para o SW de Angola para ambos os cenários de referência. Estas projeções apontam para uma elevada suscetibilidade do SW de Angola, onde os efeitos das mudanças climáticas, nomeadamente a diminuição da precipitação e o aumento da temperatura podem ser reforçadas pela forte pressão antrópica sobre a biodiversidade.

**Palavras chaves:** Distribuição de espécies, Nicho ecológico, Maxent, Cenários climáticos.

## Abstract

Climate change is identified as a major threat to ecosystems, a susceptibility that is reinforced by negative impacts from human activities. Such reality is clear in Angola, where pressure on natural resources from human activities increased during the last decades, promoting deep impacts on ecosystems. The knowledge about plants distribution and their resilience considering climate change scenarios is useful, namely, to set and implement measures focused on the sustainable management, a goal that is critical to the maintenance of functions and services associated to ecosystems under future climatic scenarios. Niche modelling can be a powerful tool in this context, providing detailed information about changes on suitable area comparing current and future climatic scenarios, giving support on the identification of the most vulnerable habitats. This work, supported on the maximum entropy algorithm, aims to assess changes on distribution for tree species associated to different ecologies in south-western Angola, considering the time-window 2061-2080 and having by reference two climatic scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5). Data for species occurrences were collected from different herbarium collections and from online databases. To represent the different ecologies, in this exercise we considered species associated to different vegetation types described by Barbosa (1970): *Brachystegia boehmii*, *Baikiaea plurijuga*, *Colophospermum mopane* e *Terminalia prunioides*. Aiming to ensure the production of robust models, only non-correlated variables were used in models' calibration, and validation of models' results was based on two different strategies: i) independent sample and ii) creation of a subset (30%) based on a random split of the occurrences database. Despite the restriction of the analysis to south-western Angola, the models were projected to a broader area (Southern Africa). The results point to an expansion of suitable area for the broad territory and a significant contraction for the SW Angola.

**Keywords:** Species distribution, Niche modelling, Maxent, Climatic scenarios.

## Índice

Agradecimentos .....	i
Dedicatória .....	iii
Resumo .....	iv
Abstract .....	v
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivo geral:.....	4
1.3 Mudanças climáticas: passado, presente e futuro .....	5
1.4 Os cenários climáticos .....	8
1.4.1 Cenários climáticos para África .....	10
1.5 Os impactes potenciais das mudanças climáticas em África .....	11
1.6 Impactes das mudanças climáticas nos ecossistemas .....	13
1.7 Modelos de nicho ecológico: vantagens e limitações.....	15
1.7.1 Algoritmos de modelação .....	21
2 Enquadramento geográfico.....	22
2.1 Condições biofísicas da área em estudo.....	22
2.1.1 Clima .....	24
2.1.2 Geologia .....	27
2.1.3 Solos.....	29
2.1.4 Vegetação e flora.....	30
2.2 Atividades económicas e uso do solo .....	32
3 Metodologia .....	34
3.1 Caracterização das espécies .....	34
3.2 Fontes e tratamento de dados .....	39
3.2.1 Registos de ocorrência .....	39
3.2.2 Variáveis ambientais.....	40
3.3 Processo de modelação.....	41
3.4 Binarização dos modelos .....	43
4 Resultados e discussão .....	44
4.1 Resultados .....	44
4.1.1 Distribuição potencial atual e fatores ambientais determinantes .....	44
4.1.1 Alterações na distribuição em função dos cenários futuros.....	53
4.2 Discussão dos resultados .....	63
4.2.1 Espécies mais suscetíveis às alterações climáticas.....	65

Conclusões.....	67
Referências bibliográficas .....	69

## Índice de figuras

Figura 1. Emissões antropogénicas globais de GEE. ....	6
Figura 2. Diagrama representando a influência dos fatores na distribuição espacial das espécies e diferenciação dos tipos de nicho. ....	19
Figura 3. Situação geográfica da área de estudo. ....	24
Figura 4. Variação da temperatura média anual. ....	26
Figura 5. Distribuição da precipitação média anual. ....	27
Figura 6- Pormenor das estruturas reprodutivas de <i>Baikiaea plurijuga</i> .....	35
Figura 8. Detalhe das folhas e favas da <i>Brachystegia boehmii</i> . ....	36
Figura 8. Detalhes das folhas e frutos do <i>Colophospermum mopane</i> .....	38
Figura 9. Detalhes das folhas e estruturas reprodutivas da <i>Terminalia prunioides</i> .....	39
Figura 10. Taxa de omissão para o modelo produzido para a <i>Brachystegia boehmii</i> . ....	45
Figura 11. Teste do <i>Jackknife</i> para variáveis ambientais para a espécie <i>Brachystegia boehmii</i> . ....	45
Figura 12. Distribuição potencial da <i>Brachystegia boehmii</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola. ....	46
Figura 13. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie <i>Baikiaea plurijuga</i> . ....	47
Figura 14. Teste do <i>Jackknife</i> para variáveis ambientais para a espécie <i>Baikiaea plurijuga</i> . ....	47
Figura 15. Distribuição potencial atual da <i>Baikiaea plurijuga</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola. ....	48
Figura 16. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie <i>Colophospermum mopane</i> . ....	49
Figura 17. Teste do <i>Jackknife</i> para variáveis ambientais no caso do modelo da espécie <i>Colophospermum mopane</i> . ....	50
Figura 18. Distribuição potencial atual do <i>Colophospermum mopane</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola.....	51
Figura 19. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie <i>Terminalia prunioides</i> . ....	52

Figura 20. Teste de <i>Jackknife</i> da distribuição potencial atual da <i>Terminalia prunioides</i> .....	52
Figura 21. Distribuição potencial atual da <i>Terminalia prunioides</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola.....	53
Figura 22. Variação da área de ocorrência potencial da <i>Brachystegia boehmii</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 4.5.....	54
Figura 23. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Brachystegia boehmii</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5.	55
Figura 24. Alterações na área de ocorrência potencial da <i>Brachystegia boehmii</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 8.5. ....	55
Figura 25. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Brachystegia boehmii</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 8.5.	56
Figura 26. Alterações na área de ocorrência potencial da <i>Baikiaea plurijuga</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 4.5.....	57
Figura 27. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Baikiaea plurijuga</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5. ....	57
Figura 28. Variação da área de ocorrência potencial da <i>Baikiaea plurijuga</i> na África Austral e no Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 8.5. ....	58
Figura 29. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Baikiaea plurijuga</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 8.5. ....	58
Figura 30. Variação da área de ocorrência potencial da <i>Terminalia prunioides</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário RCP 4.5. ....	59
Figura 31. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Terminalia prunioides</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5.	59
Figura 32. Variação da área de ocorrência potencial da <i>Terminalia prunioides</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 8.5. ....	60
Figura 33. Alterações na área de distribuição potencial da <i>Terminalia prunioides</i> na África Austral (A) e Sudoeste de Angola (B) segundo Cenário 8.5. ....	60
Figura 34. Variação da área de ocorrência potencial do <i>Colophospermum mopane</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 4.5. ....	61
Figura 35. Alterações na área de distribuição potencial do <i>Colophospermum mopane</i> na África Austral (A) e Sudoeste de Angola (B) segundo Cenário 4.5.	61

Figura 36. Variação da área de ocorrência potencial do <i>Colophospermum mopane</i> na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 8.5. ....	62
Figura 37. Alterações na área de distribuição potencial de <i>Colophospermum mopane</i> na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário 8.5. ....	62

## **Índice de tabelas**

Tabela 1. Lista das variáveis bioclimáticas utilizadas.....	41
---	----

## **Lista de siglas e acrónimos**

AUC - Area Under The Curve

CBD- Convenção da Biodiversidade

COP - Conferência das Partes

CQNUAC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas

ENB - Earth Negotiations Bulletin

ENM - Ecological Niche Modelling

GAM - Generalized Additive Models

GARP - Genetic Algorithm for Rule-Set Production

GBAD – Grupo do Banco de Desenvolvimento de África

GCM - General Circulation Model

GEE – Gases de Efeitos Estufa

GIBF – Global Information Biodiversity Facility

GLM - Generalized Linear Models

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Change Climate

ISCED - Instituto Superior de Ciências de Educação da Huíla

MEA – Millennium Ecosystem Assessment

NGOWP- National Geographic Okavango Wilderness Project

PK - Protocolo de Kyoto

PPM – Partes Por Milhão

RCP - Representative Concentration Pathways

ROC - Receiver Operating Characteristic

SABONET- Southern African Botanical Diversity Network

SAREP – Southern Africa Regional Environmental Programme

SASSCAL-

Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management

SDM – Species Distribution Model

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SRC – Sistema de Referências de Coordenadas

SRESS - Special Report on Emission Scenarios

TFO - The Future Okavango

UNCCD – United Nations Conventions to Combat Desertification

UNEP - United Nations Environment Programme

WCMC - World Conservation Monitoring Centre

WGS 84 - World Geodetic System 1984

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento

Angola, apesar de ocupar somente 4% da área terrestre do continente africano, é do ponto de vista florístico um dos maiores *hotspots* da África Austral, dada a sua rica diversidade fisiográfica, climática, que se traduz numa grande diversidade de biomas (White, 1983), com cerca de 7.296 táxons em 250 famílias e 1.765 géneros, e com mais de 1000 espécies endémicas (Figueiredo, Smith, & César, 2009), superada apenas pela África do Sul, tendo em conta o número de ecorregiões (Burgess *et al.*, 2004; Huntley *et al.*, 2019). Angola, possui uma superfície total de 1 246 700 km<sup>2</sup>, situada na costa oeste da África Central, entre os paralelos de 4°22' e 18°02' de latitude Sul e os meridianos de 11°41' e 24°05' de longitude Este.

Do ponto de vista fisiográfico, é caracterizada por um gradiente bioclimático que se manifesta em várias comunidades vegetais, desde estépicas da faixa desértica, savanas, formações de escarpa ou Afro montana e formações mais densas e húmidas de altitude (Diniz, 1991). Apesar desta grande diversidade biológica, existem poucos estudos atualizados. Sendo que os primeiros estudos sobre a flora e vegetação de Angola foram realizados ainda na época colonial (finais do século XIX e meados do século XX), através de várias expedições realizadas no país por botânicos, tais como: Friedrich Welwitsch (1806-1872), Hugo Baum (1867-1950); John Gossweiler (1873-1952). Outros coletores da era colonial que contribuíram para o estudo da flora e vegetação de Angola, cujos trabalhos serviram de base para a elaboração do *Conspectus Florae de Angola* (Excell e Mendonça, 1937) e do primeiro mapa de vegetação de Angola, que conta com 19 unidades vegetais (Gossweiler e Mendonça, 1939), Joaquim Monteiro e Rosa Monteiro, Luís W. Carrisso, Francisco Mendonça, Arthur Excell, Francisco de Sousa, Christian, Smith Joaquim José da Silva e muitos outros (Goyder & Gonçalves, 2019). Estes trabalhos resultaram numa grande coleção de plantas espalhadas nos mais variados herbários europeus, com destaque para o Royal Botanical Gardens, Kew (K), Museu de História Natural, Londres (BM), Museu Nacional de Historia

Natural, Paris (P), LISC do ex-Instituto de Investigação Científica Tropical de Lisboa (IICT), LISU da Universidade de Lisboa (Figueiredo *et al.*, 2009).

Um passo importante é dado em 1970 por Grandavaux Barbosa, com a publicação da Carta Fitogeográfica de Angola, contendo 32 comunidades de vegetação, baseando-se em trabalhos anteriores de Gossweiler & Mendonça de 1939, nos trabalhos de Friedrich Welwitsch (1806-1872), e em várias expedições botânicas realizadas no país durante cerca de 15 anos. Esta carta constitui até hoje, a principal obra de referência para os estudos de flora e vegetação de Angola (Huntley & Matos, 1994).

No período de 1975-2002 registou-se uma rotura no avanço do estudo da biodiversidade angolana, devido à guerra civil que atingiu o país por mais de três décadas, o que impediu a realização de qualquer tipo de avanço científico neste domínio. Com o advento da paz efetiva em 2002, começam a reascender alguns trabalhos de investigação em biodiversidade, que têm sido garantidos principalmente com a participação de investigadores angolanos nos vários projetos de cooperação regional entre diferentes instituições, nomeadamente o Southern African Botanical Diversity Network (SABONET), o Programa Regional Ambiental da África Austral (SAREP), The Future Okavango Project (TFO), Centro da África Austral para Ciência e Serviços para Adaptação às Alterações Climáticas e Gestão Sustentável dos Solos (SASSCAL), o projeto de vida selvagem do Okavango da *National Geographic* (NGOWP), (Huntley & Almeida, 2019). Todos estes trabalhos resultaram em importantes contributos para o conhecimento da flora e vegetação de Angola, com destaque para o Livro dos nomes comuns de plantas de Angola (Figueiredo & Smith 2012), a *Checklist* de plantas de Angola (Figueiredo & Smith 2008). Importantes relatórios sobre o estado da biodiversidade, bem como estudos florísticos para a caracterização de importantes *habitats* regionais (ex: *Vegetation survey of the woodlands of Huíla Province* - Chisingui *et al.* 2018), e a mais recente contribuição sobre o estado actual da biodiversidade de Angola publicado recentemente (Huntley *et al.*, 2019), são algumas das mais importantes contribuições.

Apesar da importância dos projetos referidos e do trabalho de investigação associado, é muito evidente a falta de estudos com vista à

atualização da informação fitogeográfica. É muito evidente a falta de informação sobre a biodiversidade em geral, e particularmente da flora e vegetação deste vasto território da África Austral. Esta realidade dificulta ou mesmo impossibilita a implementação de medidas de proteção e conservação para espécies individuais, num momento em que se fala muito da contribuição da biodiversidade e das paisagens do país no grande esforço que tem de ser feito para o crescimento e desenvolvimento do país, baseado essencialmente no crescimento e desenvolvimento do setor do turismo. Para Jiménez *et al.*, (2008), a preservação da biodiversidade requer o conhecimento dos padrões de distribuição e a abundância das espécies, trabalho este que está em grande medida por realizar no território nacional angolano.

Para além do conhecimento da biodiversidade, no que respeita aos táxons presentes em Angola, e da sua corologia, são fundamentais estudos tendentes à compreensão da sua ecologia, principalmente no que respeita a variáveis ambientais determinantes para a sua distribuição espacial. Uma dessas variáveis ambientais é sem dúvida o clima, pois este está na base da distribuição potencial da flora e da vegetação de uma dada região. Desta forma, o estudo da relação entre a corologia e o clima é fundamental, não só para o entendimento dos atuais padrões de distribuição, mas também para a compreensão da forma como os seres vivos serão afetados no contexto das alterações climáticas projetadas para as próximas décadas, o que permitirá a implementação de medidas estritas de proteção, conservação e gestão dos recursos naturais, com base numa sólida compreensão dos fenómenos que afetam a biodiversidade e na identificação das principais ameaças.

A opção pela avaliação da suscetibilidade às mudanças climáticas para o desenvolvimento deste trabalho, prende-se com o facto de praticamente não existirem resultados sobre esta problemática em Angola, podendo estas alterações ter implicações importantes em termos de alteração dos padrões de distribuição das espécies. E vários estudos apresentam as alterações climáticas como estando na base das principais ameaças aos ecossistemas, uma fragilidade que está reforçada pela pressão direta e indireta, resultantes das atividades humanas (MEA, 2005). Esta realidade é bem evidente no território angolano, onde a pressão sobre os recursos naturais tem aumentado

nas últimas décadas. As florestas são especialmente vulneráveis a este tipo de pressão, a qual resulta em processos de degradação e de fragmentação, efeitos que diminuem a sua resiliência perante mudanças ambientais. Tendo em conta a ameaça que representam as mudanças climáticas para os ecossistemas, torna-se premente avaliar os seus impactos potenciais, uma tarefa que se revela de grande utilidade para a identificação de áreas prioritárias de intervenção e para a definição de medidas de adaptação e/ou mitigação.

Neste contexto, o trabalho aqui apresentado, irá abordar os impactos potenciais das mudanças climáticas sobre a distribuição de espécies indicadoras de comunidades vegetais no Sudoeste de Angola, tendo por referência dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5) projetados para o horizonte 2061-2080.

Para a realização deste trabalho consideram-se os seguintes objetivos:

### **1.2 Objetivo geral:**

Avaliar os Impactes potenciais das mudanças climáticas na distribuição de espécies florestais indicadoras das principais comunidades vegetais da região Sudoeste de Angola, tendo como referências cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

### **Objetivos específicos:**

- Contribuir para melhorar o conhecimento da distribuição atual de espécies arbóreas selecionadas para este estudo;
- Explorar a influência de diferentes fatores ambientais na distribuição destas espécies arbóreas;
- Avaliar a suscetibilidade das espécies arbóreas segundo dois cenários de alteração climática (RCP 4.5 e RCP 8.5);
- Identificar as áreas mais suscetíveis a mudanças climáticas no Sudoeste de Angola.

### **1.3 Mudanças climáticas: passado, presente e futuro**

O clima do planeta Terra sofreu muitas mudanças desde a sua formação. Contudo, as que têm caracterizado as últimas décadas, e que se preveem ampliadas nas próximas, têm um claro fundo antrópico (IPCC, 2013). No entanto, os modelos apontam para que as mudanças climáticas, apesar da escala global, tenham impactes diferenciados dependendo das condições geográficas dos territórios, necessitando de ações concertadas a diferentes escalas: local, nacional, continental, regional e global (Moreira & Ramos, 2016).

Constituem um dos maiores desafios do século XXI e um dos assuntos mais debatidos pela comunidade científica, por políticos e Organizações Não-governamentais, refletindo a preocupação com um processo com impactes à escala mundial (Figueiredo, 2013). Esta preocupação reside no facto de os seus impactes negativos serem globais que afetarão as próximas gerações, podendo ser um fator projetado através de cenários climáticos.

Apesar das incertezas existentes, o atual conhecimento científico sobre as mudanças climáticas já é suficiente para afirmar que as atividades humanas afetam no padrão e na velocidade das mudanças climáticas. Segundo o IPCC (2007), só entre 1970 e 2004 as emissões globais derivadas das atividades humanas aumentaram 70% (Figura 1), valores significativos dada a sua interferência na redução em cerca de 2% da quantidade de energia que o planeta liberta para o espaço (Alcoforado *et al.*, 2009).

Durante o século XX, o efeito da ação antrópica sobre o planeta Terra teve influências significativas no clima global, como a subida do nível médio das águas do mar, o aumento das chuvas nas latitudes médias e altas e diminuição considerável em muitas regiões de latitude média e regiões subtropicais dos hemisférios norte e sul, aumento da frequência de episódios de chuvas extremas e consequentes ocorrências de inundações, e o aumento da frequência das secas em várias regiões subtropicais, principalmente na África e na Ásia (Santos, 1990), tendência esta que se irá prolongar até finais do século XXI (IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2007), a ação antrópica foi responsável pelo incremento de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em cerca de 32% (emitido em maior

quantidade pela queima de combustíveis fósseis –  $\frac{2}{3}$  do total e pela desflorestação e outras alterações no uso do solo) (Figura 1), com uma variação significativa de 280 ppm (partes por milhão) para 370 ppm em 2005 e 383 ppm em 2007. Em 2019 ultrapassou-se pela primeira vez as 400 ppm.

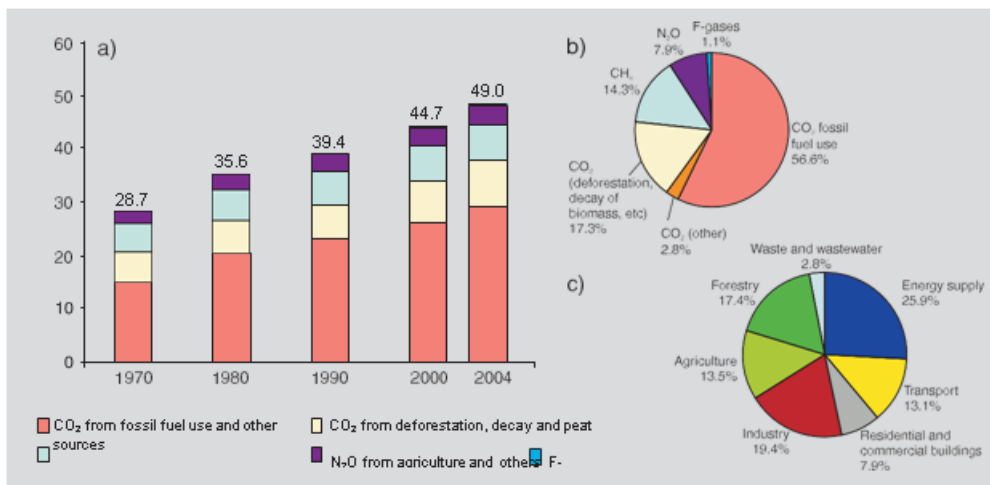


Figura 1. Emissões antropogénicas globais de GEE. (Fonte: IPCC, 2007).

Tendo em conta este aumento rápido da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, e segundo os impactes potenciais que daí advêm, vários instrumentos internacionais legais foram criados com vista à redução da emissão destes gases.

Foi assim que em 1979 foi dado o primeiro grande passo em matéria de mudança climática, através da primeira Conferência do Clima convocada pelo Organização Meteorológica Mundial, realizada em Genebra, onde foi criado o Programa Mundial sobre o Clima, onde se discutiu sobre a existência deste fenómeno, seus impactes e a severidade das emissões antrópicas de GEE (Santos, 1990). O relatório final desta cimeira solicitava aos governos a sensibilização das populações sobre os impactes da ação antrópica sobre o clima. Neste âmbito, passados dez anos (1988) a Organização Meteorológica Internacional cria o Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) e o Painel Internacional para as Alterações Climáticas (IPCC) (Borrego, Ribeiro, & Miranda, 2010).

A Cimeira Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável foi o Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio Janeiro, em 1992, onde foram adotados diferentes tratados e discutidas formas e estratégias de mitigação dos

efeitos das mudanças climáticas, nomeadamente a Convenção da Biodiversidade (CBD), a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) e a Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC) ((Santos, 2006; Santos, 2014).

Da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (CQNUAC), deriva a Terceira Conferência das Partes (COP3), que ocorreu no período de 1 a 10 de dezembro do ano de 1997 em Kyoto, Japão. Nesta conferência foi adotado o Protocolo de Kyoto (Santos, 2006). Um tratado que estabeleceu pela primeira vez, através de compromissos juridicamente vinculados a redução global das emissões de 6 GEE, principalmente para os países industrializados (Dióxido de Carbono - CO<sub>2</sub>, Metano - CH<sub>4</sub>, Óxido Nitroso - N<sub>2</sub>O, Hexafluoreto de Enxofre - SF<sub>6</sub>; Hidrofluorcarbonetos - HFC, Perfluorcarbonetos - PFC) de 5,2% no período 2008 a 2012, relativamente à 1990 (Pittock, 2009).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas (CQNUAC), Protocolo de Kyoto (PK), o Acordo de Copenhague, o Acordo de Cancun e a Plataforma Durban e o Acordo de Paris, constituem os principais instrumentos internacionais legais de índole jurídico para mitigação e combate às alterações climáticas (ENB, 2009; Borrego, Ribeiro, & Miranda, 2010; Ferreira, 2017).

A última Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP25), decorreu em Junho de 2019, na cidade de Madrid, projetada para dar os próximos passos cruciais no processo e concluir vários assuntos sobre a operacionalização completa do Acordo de Paris sobre mudanças climáticas. Além disso, serviu para mostrar a importância da ação climática empreendida por partes interessadas não partidárias e ajudou a galvanizar a ação de regiões, cidades, empresas, investidores e sociedade civil (<https://unfccc.int/>). Em relação à COP26 que tinha sido agendada para Novembro de 2020 em Glasgow, Reino Unido, teve de ser reagendada para 2021 face aos efeitos mundiais em curso da COVID-19.

## 1.4 Os cenários climáticos

Os modelos climáticos, constituem os principais instrumentos disponíveis para avaliação das respostas do sistema climático à diferentes escalas espaciais (da escala regional à global) e temporais, com vista a fazer simulações climáticas, compreender o comportamento do clima atual e a partir daí projetar cenários climáticos (Santos, 2006; Bernardino & Santo, 2015).

Os cenários climáticos são importantes ferramentas de análise da influência dos gases de efeito estufa e os resultados das emissões projetadas para o futuro, que auxiliam no estudo das mudanças climáticas, pois envolvem a modelação climática e avaliação dos respetivos impactes, mitigação e adaptação (IPCC, 2000; IPCC, 2007).

Obtêm-se por meio de métodos quantitativos que simulam o sistema climático global com os seus subsistemas - atmosfera, hidrosfera, criosfera, biosfera e litosfera e as interações entre eles (Santos, 1990). Sendo, que os mais recentes e mais usados, apresentam uma certa ambiguidade e complexidade por incluírem os subsistemas atmosfera e oceano, e as interações dos vários processos (físicos, químicos e biológicos), que condicionam o clima (IPCC, 2007; Santos, 2006).

Até ao Quarto Relatório IPCC (2007), os cenários de referência estavam associados a cenários de emissão, tendo o IPCC criado um relatório especial sobre os mesmos (*SRES-Special Report on Emission Scenarios* - 1992), num grupo que abrange quatro combinações de mudança demográfica, desenvolvimento social e económico e desenvolvimentos tecnológicos, correspondentes a quatro famílias distintas (A1, A2, B1, B2), cada uma delas com a sua cenarização característica (IPCC, 2000; IPCC, 2007).

- A família A1, traduz um crescimento económico, tecnológico, demográfico global acelerado, cuja população atinge o auge em meados do século e diminui rapidamente, e a rápida introdução das novas tecnologias. Está dividido em três subfamílias: i) A1FI- alto uso de combustíveis fósseis; ii) A1T- recursos energéticos não-fósseis; iii) A1B- equilíbrio em todas as fontes;

- A família A2, corresponde a um mundo mais heterogéneo do ponto de vista económico, com economias não autossuficientes, com um aumento contínuo da população, e mais orientado para o desenvolvimento económico regional;
- O cenário B1, caracterizado por um mundo convergente com crescimento populacional baixo, igual à família A1, mas com rápidas mudanças económicas em direção a uma economia de serviços e de informações; introdução de recursos limpos e tecnologias eficientes, com ênfase em soluções globais para a sustentabilidade económica, social e ambiental;
- A família B2, traduz um mundo que valoriza as soluções locais para a sustentabilidade económica, social e ambiental. É um mundo com crescimento populacional moderado, níveis médios de desenvolvimento económico e mudanças tecnológicas menos rápidas e mais diversificadas em relação a família B1 e A1.

De acordo com o Quinto Relatório de avaliação do IPCC, (2013) houve necessidade de se incluir uma nova família de cenários climáticos para facilitar a avaliação de futuras mudanças climáticas, devido às seguintes razões (Vuuren *et al.*, 2011):

- Necessidade de informações mais detalhadas para a geração atual de cenários climático do que as fornecidas pelos cenários anteriores (SRES);
- Interesse crescente em cenários que exploram claramente os impactos de diferentes políticas climáticas, permitindo a avaliação dos custos e benefícios das metas climáticas;
- Interesse crescente em explorar os conceitos de adaptação e mitigação.

Esta nova família baseia-se no forçamento radiativo e antrópico de gases de efeito estufa, até aproximadamente ao ano de 2100, em relação a 1750, num conjunto de quatro cenários denominados RCP (*Representative Concentration Pathways*): RCP 8.5, RCP 6.0, RCP 4.5 e RCP 2.6, que correspondem a forçamentos radiativos de 8.5, 6.0, 4.5 e 2.6 W/m<sup>2</sup>, respetivamente. O primeiro cenário (RCP 8.5) é o pessimista, caracterizado pelo

crescimento contínuo nas emissões de gases de efeito estufa, dois cenários de estabilização (RCP 4.5 e RCP 6.0), caracterizado por um crescimento socioeconómico em que o forçamento radiativo é estabilizado antes de 2100, devido a adoção de um conjunto de políticas mitigadoras com vista reduzir as emissões de GEE, e um cenário otimista (RCP 2.6), que traduz um forçamento global relativamente baixo, equivalente a um aumento global de 1,5°C (Vuuren *et al.*, 2011; IPCC, 2014).

Os cenários RCPs preveem de forma geral alteração nos padrões de distribuição da precipitação, onde as altas e as baixas latitudes poderão registar um aumento nos valores de precipitação média anual. Ao passo que as regiões secas e áridas das médias latitudes e subtropicais poderão assistir a uma redução significativa dos valores de precipitação, com destaque para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5. Os cenários projetam ainda um aumento da frequência de eventos extremos de precipitação em todas latitudes (Serdeczny *et al.*, 2016; IPCC, 2013).

Em relação à temperatura, os cenários projetam aumentos substanciais em diferentes cenários de emissão de GEE para o período de 2046 a 2065. A temperatura média global deverá aumentar em cerca de 1,5°C - RCP 2.6; 2,4°C - RCP 4.5; 3°C - RCP 6.0; e 4,9°C – RCP 8.5 (IPCC, 2013).

#### **1.4.1 Cenários climáticos para África**

Para o continente Africano os cenários climáticos projetam variações significativas de temperatura, precipitação, com especial significado nas regiões áridas, semiáridas e subtropicais, onde a taxa de aumento da temperatura mínima sobrepõe-se à das temperaturas máximas. Estima-se, portanto, que as temperaturas em África aumentarão mais rápido do que a média global (Niang *et al.*, 2014).

Enquanto que no cenário mais gravoso (RCP 8.5) o aumento de temperatura poderá atingir cerca de 3,5 a 6,5°C, no caso do cenário mais otimista (RCP 2.6) prevê-se um aumento que poderá variar de 1,5 a 3°C até finais do século XXI (IPCC, 2013; Niang *et al.*, 2014).

Em relação às precipitações projetadas para a África até finais do século XXI, existem ainda muitas incertezas associadas. Para esta variável, os modelos projetam reduções prováveis de precipitação média anual na região mediterrânea do norte de África e em todo o extremo sul de África sob cenário RCP 8.5 em meados do século XXI, que se irá prolongar até finais do século XXI. Esta redução prevê-se acentuada nas zonas áridas e semiáridas da região Austral nos meses de verão e um aumento significativo na zona equatorial e nas maiores altitudes (Dike *et al.*, 2015; Niang *et al.*, 2014).

No caso do SW de Angola, o registo cíclico de períodos de seca prolongados, a par de uma redução progressiva nos valores de precipitação e com significativos aumentos das temperaturas, identificam-no como um território suscetível às mudanças climáticas.

As projeções sobre as mudanças climáticas para o território angolano apontam para um aumento da temperatura média na ordem dos 4,9°C e diminuição da precipitação em cerca de 2%, com maior incidência na região sul de Angola, principalmente durante os meses mais seco, tendo em conta que esta zona já é afetada, atualmente, pela escassez de precipitação, e continuará previsivelmente a sê-lo até finais do século XXI (Carvalho, Santos, & Pulquério, 2017; Dike *et al.*, 2015).

### **1.5 Os impactes potenciais das mudanças climáticas em África**

O IPCC (2014), identifica o continente africano como uma das regiões do mundo mais vulneráveis aos impactes das mudanças climáticas. Durante o período de 2070-2099, mais de metade (60%) dos meses de verão da África Subsariana registarão temperaturas mais altas do que atualmente, com destaque para a África ocidental e tropical (Serdeczny *et al.*, 2016).

A situação geográfica (maioritariamente entre os trópicos e limitadas a norte e sul por dois grandes desertos) faz com que o continente seja particularmente vulnerável à variabilidade às mudanças climáticas (Zolho, 2007). Esta vulnerabilidade é agravada pela crescente pressão antrópica sobre os recursos naturais devido à grande dependência de uma agricultura pouco desenvolvida, caracterizada por ser itinerante e de subsistência, bem como a

fraca capacidade de resiliência resultante do desenvolvimento socioeconómico e tecnológico, o acelerado crescimento demográfico e o modo de vida da população nesta região (Santos & Miranda, 2006; Chisingui, 2017).

Serdeczny *et al.*, (2016), caracteriza a população africana como sendo uma das que mais cresce. Tendo em conta que a África Subsariana deverá atingir os 2 mil milhões de pessoas até 2050, número que pode vir a aumentar em 2100 (Angel *et al.*, 2011), aumentando igualmente a necessidade alimentar, água potável e outros recursos naturais, promovendo uma forte pressão sobre a biodiversidade, e às funções e serviços ecossistémicos (Chisingui, 2017), o que irá acelerar a fragmentação dos *habitats*, reduzindo a capacidade de dispersão e fixação de organismos, bem como o aparecimento ou a instalação de outras populações com diferentes variabilidades genéticas e capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (Costa, 2006; Fahrig *et al.*, 2019). Estes aspetos fazem de África um dos maiores “*hotspots*” no que respeita a mudanças climáticas e uso do solo (Alcamo *et al.*, 2011).

A região Austral de África é essencialmente dominada por formações do tipo miombo, cuja cobertura é estimada em cerca de 2.4 milhões de km<sup>2</sup> (Deweese, 1994; Dewees *et al.*, 2010). Fortemente modificada pelo uso intensivo dos seus recursos, uma tendência que varia muito de país para país. Estima-se uma perda anual da cobertura florestal extremamente alta nos países com este tipo de vegetação, variando entre 33.000 a 445.000 hectares associada à redução dos valores de precipitação em cerca de 5 a 15% (Moura, *et al.*, 2017) e à pressão humana associada à dependência das populações em relação a recursos florestais (Chirwa, Syampungani, & Geldenhuys 2009). Estes são aspetos, entre outros responsáveis pela elevada vulnerabilidade do continente africano às mudanças climáticas.

Para além dos aspetos associados à utilização dos recursos, há ainda a probabilidade de um acelerado processo de desertificação no Sul, Norte e Oeste de África, devido à diminuição da precipitação anual projetada nos cenários climáticos. A acontecer, é expectável que ocorra uma perda significativa da biodiversidade (Heubes *et al.*, 2013).

Em relação à temperatura, prevê-se um aumento de cerca de 1,6°C até 2050 no Saara e nas regiões semiáridas da África Austral. Nas regiões equatoriais (Camarões, Uganda, Uganda, Quênia), esse aumento poderá atingir cerca de 1,4°C. Quanto à precipitação, prevê-se uma diminuição nas áreas mais áridas e um aumento na faixa intertropical, com impactes significativos na biodiversidade, principalmente nas espécies endémicas no centro de endemismo da África do Sul (White, 1983; Burgess, *et al.*, 2004).

Os estudos sobre mudanças climáticas em Angola estão de alguma forma limitados pela escassez de séries climáticas consistentes e pela qualidade dos dados atuais, resultado da decadência registada nas estações meteorológicas instaladas no período colonial, pelo antigo Serviço Meteorológico Nacional, que terá sofrido uma queda de 225 para zero (0) em 2010. Atualmente a rede de estações meteorológicas conta com cerca de 22 estações, muitas delas instaladas no âmbito do projeto SASSCAL (Centro da África Austral para Ciências e Serviços para Adaptação às Alterações Climáticas e Gestão Sustentável dos Solos) (Huntley, 2019).

### **1.6 Impactes das mudanças climáticas nos ecossistemas**

As mudanças climáticas constituem uma das principais ameaças à biodiversidade, promovendo um conjunto de impactes que vão desde a fenologia e/ou modo de vida das espécies, até às alterações na corologia ou mesmo contribuindo para processos de extinção, os quais se irão manifestar a diferentes níveis: desde os territórios de baixa altitude até aos mais elevados, desde os lagos e lagoas, ribeiros e rios até aos oceanos e mares (Bhattarai, 2017). Desta forma, as mudanças climáticas irão traduzir-se em grandes alterações na estrutura e composição dos *habitats*, com graves implicações no fornecimento de bens e serviços oferecidos pelos ecossistemas (Moura *et al.*, 2017).

A avaliação dos impactes resultantes das mudanças climáticas nos ecossistemas começaram a merecer maior atenção nas últimas décadas, principalmente em estudos ecológicos (Figueiredo, 2013).

Os serviços ecossistémicos desempenham um papel crucial na adaptação e mitigação das consequências das mudanças climáticas.

Deveremos estar preparados para que estas mudanças possam ocorrer a uma velocidade superior à capacidade de regeneração dos ecossistemas, crescimento, reprodução e estabelecimento de novas espécies florestais (Zolho, 2007).

Os impactes provocados pelas mudanças climáticas variam de espécie para espécie, e os mais importantes registar-se-ão naquelas que estão inseridas nos ecossistemas localizados nos limiares de temperatura ou secura, com corologia limitada ou em populações fragmentadas, e portanto, podem apresentar variadas respostas em função das diferentes características biológicas de cada uma delas: movimento, adaptação e extirpação (Hickling *et al.*, 2006).

Santos & Miranda (2006) defendem que a perda da diversidade biológica reduz a capacidade de dispersão dos *taxa* devido à diminuição do número de potenciais colonizadores e, portanto, esse fato reduz a capacidade de ajuste dos ecossistemas às novas condições. Nestas circunstâncias há, necessidade de um maior número de espécies e de indivíduos por espécie, para manter as condições da estabilidade face às mudanças climáticas.

Ao nível de África, os cientistas advertem que os efeitos das mudanças climáticas terão efeitos dramáticos na vida selvagem, demonstrados através de estudos que apontam para a extinção de cerca de 40% de *habitats* das espécies vegetais e animais, enquanto que mais de 90% de *habitats* adequados às espécies irão restringir-se devido as mudanças climáticas em 2085 (ONU, 2008). Sendo África, o continente que apresenta uma biodiversidade com menores índices de impacto antrópico, quando comparada com outros continentes, esta situação pode inverter-se rapidamente pela imprevisibilidade do clima, pelo aumento rápido das populações humanas, pelos conflitos, pelas economias locais, nacionais e regionais e as políticas de governança altamente voláteis na sua evolução. Todos estes fatores, estão na base das maiores ameaças ao equilíbrio dos ecossistemas e sobrevivência de uma boa parte da biodiversidade desta parte do mundo (Burgess *et al.*, 2004).

O aumento da temperatura de cerca de 1 a 2°C acima dos níveis verificados em 1999 levou a uma perda da biodiversidade vegetal na ordem de

40 a 50%. Da mesma forma uma subida de cerca de 2.5 a 3°C poderá implicar uma diminuição da produtividade das savanas, sobretudo devido à seca, e à extinção de cerca de 10% de taxa endémicos (Lesolle, 2012).

A maior ameaça reside na combinação entre a elevada suscetibilidade às mudanças climáticas e a elevada pressão antrópica sobre os ecossistemas, associada a extrema pobreza de alguns países africanos, tendo em conta que cerca de 60 milhões de habitantes vivem nas florestas da África subsariana, onde a lenha e o carvão vegetal constituem as principais fontes de energia de 80% da população (Mayaux *et al.*, 2013). As mudanças no uso e ocupação do solo, a urbanização rápida e a exploração desenfreada da madeira são, entre outras, apontadas como os motores de elevada fragmentação dos *habitats* africanos (Burgess *et al.*, 2004). Devemos ter em conta as altas taxas de expansão urbana a que se assiste nesta região, apontadas por Angel *et al.*, (2011) como sendo das mais elevadas do mundo, (estima-se um aumento em cerca de 12 vezes (1.232.083) até 2050, valor este só superado pela Ásia). Estes números vão-se refletir, certamente, numa crescente urbanização, e na necessidade alimentar de um número crescente de pessoas com consequente diminuição das áreas dos ecossistemas e decréscimo da biodiversidade.

Tendo em conta os possíveis impactes das mudanças climáticas, assume-se como importante o desenvolvimento de estudos que visam não só determinar a magnitude desses mesmos impactes, como identificar os territórios mais suscetíveis e vulneráveis. Neste contexto, a modelação de nicho ecológico tem sido uma ferramenta importante para prever os efeitos das mudanças climáticas sobre a distribuição espacial das espécies, com o objetivo de definir medidas de mitigação de tais efeitos (Gomes *et al.*, 2018).

### **1.7 Modelos de nicho ecológico: vantagens e limitações**

Um dos principais impactes das mudanças climáticas é a alteração das condições ambientais de adequabilidade para ocorrência das espécies ou em potenciais áreas de ocorrência futura, tendo em conta que os indivíduos se estabelecem em *habitats* onde as condições edafoclimáticas são favoráveis à sua sobrevivência e reprodução, (Pearson & Dawson, 2003). Entretanto, esta adequabilidade pode ser influenciada pelos fatores e elementos climáticos,

modificando os padrões de distribuição das espécies, expressa pela ecologia e história evolutiva de cada uma delas, em diferentes intensidades e escalas por um longo período de tempo, (Soberón & Peterson, 2005).

Os modelos de nicho ecológico (*ecological niche modelling* - ENM), têm-se tornado numa importante ferramenta de investigação nos campos da biogeografia, ecologia, evolução e na biologia da conservação (Gomes *et al.*, 2018). Têm sido amplamente usados para definir estratégias e medidas de mitigação dos efeitos negativos das mudanças climáticas sobre os ecossistemas, que se baseia na correlação entre dados de presenças conhecidas e as camadas ambientais projetadas para diferentes cenários climáticos (Guisan & Thuiller, 2005; Gomes *et al.*, 2018). Estes modelos têm sido usados em vários estudos de análise da dinâmica de distribuição espacial de espécies, sob diferentes cenários climáticos, seleção de *habitats*, definição de novas áreas protegidas para espécies raras e endêmicas (Lopes, Rocha & Rocha, 2007). A sua importância e utilização tem sido impulsionada pela crescente procura de dados de ocorrências de espécies (principalmente georreferenciadas) disponíveis online, facilidade de acesso às várias plataformas que disponibilizam gratuitamente as camadas ambientais e a disponibilidade de vários métodos de modelação, desenvolvidos nos últimos anos com o progresso significativo da informática, estatística e principalmente pelo contributo teórico da ecologia preditiva (Guisan & Thuiller, 2005, Gomes *et al.*, 2018).

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para definir o conceito de nicho, criando alguma ambiguidade entre diferentes autores, devido às diferentes componentes ou elementos que cada um considera (Araújo & Guisan, 2006).

A primeira abordagem ao conceito de nicho ecológico, foi proposta por Joseph Grinnell (1917), que considerava o nicho ecológico como sendo uma subdivisão do *habitat* de uma espécie, incluindo todos fatores bióticos como a temperatura, humidade, precipitação, assim como fatores abióticos, como a presença de alimentos, concorrência, predação, abrigo, etc. Sem levar em consideração a presença de interações com outras espécies, considerando somente os locais que reúne as condições favoráveis para a ocorrência da

espécie (Pocheville, 2015). Mais tarde Charles Elton, enfatizou o papel funcional de uma espécie numa comunidade, as interações bióticas, as dinâmicas de consumo de alimento e a sua posição na cadeia alimentar (Wiens, *et al.*, 2009).

O conceito de nicho ecológico ganhou protagonismo com os trabalhos de Hutchinson (1944), tendo definido o nicho como o conjunto de fatores ambientais que condicionam a presença de espécies; “um hiper-espaço  $n$ -dimensional”. Mais tarde, o conceito “hiper-espaço” foi substituído por “hiper-volume”, em que os valores mínimos e máximos dos limites de tolerância para cada fator constituiria um hiper volume com  $n$ -dimensões.

O fundamento da abordagem de Hutchinson (1944), está na distinção entre o nicho fundamental e o nicho realizado. Em que o nicho fundamental representa um conjunto de variáveis ambientais que permitem a sobrevivência e reprodução da espécie num determinado local. E o nicho realizado corresponde ao subconjunto do nicho fundamental, no qual uma espécie ocorre realmente e onde está restringida por interações com outras espécies através da competição e/ou predação (Araújo & Guisan, 2006; Wiens *et al.*, 2009).

Geralmente a modelação de nicho ecológico assenta em duas abordagens: a mecanicista e correlativa, que correspondem respetivamente aos modelos de nicho ecológicos descritos por Hutchinson (1944): Nicho fundamental e Nicho realizado.

A abordagem mecanicista baseia-se nas propriedades intrínsecas das espécies que determinam a sua sensibilidade às características físicas do ambiente, fisiologia, história de vida, plasticidade comportamental ou genética para cartografar áreas atuais ou futuras, enquadradas nos limites de tolerância das espécies (Wiens *et al.*, 2009).

A abordagem correlativa baseia-se na correlação estatística entre as variáveis bioclimáticas e os dados de presença das espécies, para aferir implicitamente os processos que limitam a sua distribuição, sendo amplamente usadas para prever a distribuição futura das espécies face às mudanças climáticas (Kearney *et al.*, 2010). Mostram-se mais vantajosos em relação aos

modelos mecanicistas, devido à simplicidade e à disponibilidade dos dados. Este atributo explica o facto de ter sido amplamente usado na definição de políticas conservacionistas (Kearney *et al.*, 2010).

A área de distribuição das espécies é, segundo Pearson & Dawson (2003), determinada por diversos fatores que atuam com diferentes intensidades e a escalas diferentes. Para Soberón & Peterson (2005) estes fatores dividem-se em quatro grupos:

- i- Condições abióticas, que correspondem aos aspetos climáticos, ambiente físico e condições edáficas, que impõem limites fisiológicos à capacidade de persistência da espécie;
- ii- Condições bióticas, referem-se ao conjunto de interações interespecíficas, que interfere na capacidade de sobrevivência das espécies. Estas interações podem ser positivas (mutualismo e comensalismo) ou negativas (concorrência, competição e doenças);
- iii- As áreas que são acessíveis à dispersão pelas espécies de algumas regiões. Portanto, este fator é muito útil para distinguir a distribuição real da distribuição potencial;
- iv- Capacidade evolutiva das espécies para se adaptar às novas condições.

Estes fatores interagem de forma dinâmica e a diferentes escalas, definindo os padrões de distribuição de uma espécie. Soberón & Peterson (2005), sintetizaram estas interações através de um diagrama, denominado diagrama de Venn ou diagrama de bam, (Figura 2) onde se pode ter uma perceção da influência de cada grupo de fatores na definição dos diferentes tipos de nicho.

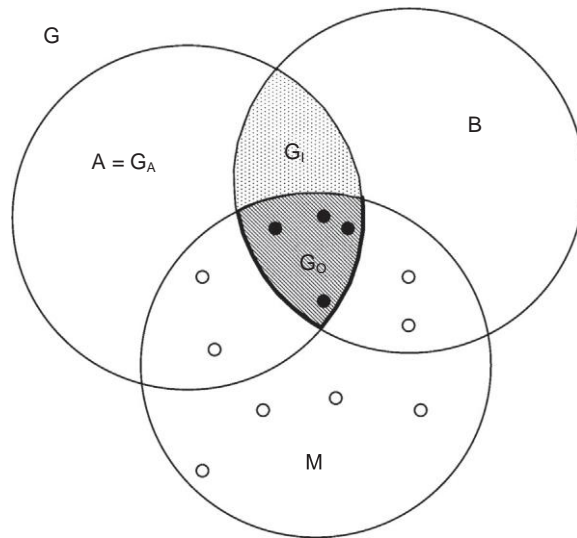


Figura 2. Diagrama representando a influência dos fatores na distribuição espacial das espécies e diferenciação dos tipos de nicho. Adaptado de Soberón, Osorio-olvera, & Peterson, 2017.

O diagrama de BAM é a representação abstrata de uma região geográfica (G), onde são ilustradas diferentes áreas com condições distintas e os fatores limitantes na distribuição das espécies. Onde **A** (fatores abióticos) representa a região geográfica com um conjunto de condições ambientais adequadas para a espécie, e pode ser considerada como sendo a expressão geográfica do Nicho Fundamental da espécie (NF); a área **B** (fatores bióticos) representa as regiões onde as condições biológicas (mutualismo, comensalismo, competição, predação, doenças) são favoráveis; a área **M** (Migração) representa as regiões do mundo acessíveis às espécies, sem impedimento à migração e colonização; a área  $G_0$ , corresponde às regiões de distribuição real, onde há condições bióticas e abióticas favoráveis e com uma grande capacidade de dispersão dos indivíduos constituindo o Nicho Realizado (NR); a área  $G_I$  representa as regiões geográficas com condições bióticas, ambientais favoráveis e que não são colonizáveis (área invisível). Os pontos negritos correspondem às presenças e pontos brancos às ausências (Peterson *et al.*, 2011; Soberón *et al.*, 2017).

Os modelos de nicho ecológico têm muitas aplicações, principalmente na definição de medidas conservacionistas, tendo em conta que têm sido usados com frequência no estudo das relações entre os fatores ambientais e a

presença de espécies, permitindo o entendimento dos padrões de distribuição dos ecossistemas, traduzindo-se numa ferramenta útil aos investigadores para a exploração de questões ecológicas, evolução e conservação (Thuiller *et al.*, 2006). No entanto, os modelos de nicho ecológico apresentam vantagens e limitações.

Thuiller *et al.*, (2006); Elith *et al.*, (2006); Illoldi & Tania, (2016), enumeram as seguintes vantagens dos modelos de nicho ecológico:

- Permitem obter cartogramas de distribuição com boa capacidade de discriminação das áreas preditas à ocorrência da espécie com base em duas medidas, o índice Kappa e o ROC (*Receiver Operating Characteristic*);
- Permitem a realização de análises rápidas, precisas e realistas sobre a resposta das espécies às mudanças climáticas individualmente em relação a outros modelos;
- Fornecem informações importantes sobre os possíveis impactes das mudanças climáticas na biodiversidade através dos modelos preditivos.

Paralelamente às vantagens acima descritas, os modelos de nicho ecológicos também estão sujeitos a certas limitações. Estas limitações estão principalmente relacionadas às incertezas associadas aos dados de entradas (Wiens *et al.*, 2009), como a seguir se apresentam:

- A resolução espacial e temporal das variáveis climáticas afeta o *downscaling* dos GCM (*General Circulation Model*) e as diferenças nas amplas variáveis climáticas usadas para conduzir os GCMs podem resultar em projeções indiferentes;
- A confiabilidade dos registos de ocorrência das espécies usadas para derivar os modelos depende da área de abrangência da área amostral, o que pode resultar em vieses nos registos de ocorrências;
- O tamanho das amostras ou a cobertura espacial inadequada diminui a confiança estatística das correlações subjacentes aos modelos de nicho, aumentando a incerteza, tendo em conta que os modelos gerados com poucos pontos geram modelos menos robustos (Thuiller *et al.*, 2006).

### 1.7.1 Algoritmos de modelação

O progresso registado na área informática, o desenvolvimento e o surgimento de vários algoritmos matemáticos permitiu modelar cada vez mais com maior precisão o nicho ecológico dos taxa (Illoldi & Tania, 2016). Este progresso impulsionou o surgimento de vários algoritmos de modelação com abordagens diferentes, cuja seleção do algoritmo a usar depende principalmente dos dados à disposição e do objetivo que se pretende. Sendo assim, podem ser divididos em dois grupos (Elith *et al.*, 2006).

O primeiro grupo inclui apenas abordagens correlacionais que usam dados de presença e variáveis ambientais para caracterizar paisagens ambientais, nomeadamente: o BIOCLIM, que usa o envelope bioclimático para encontrar uma regra que identifica as áreas com condições adequadas para a ocorrência da espécie (Busby, 1991; Illoldi & Tania, 2016), o DOMAIN que calcula distribuições potenciais baseadas numa métrica de similaridade ponto-a-ponto padronizada em faixas e fornece um método simples e robusto para modelar a distribuição de espécies animais e vegetais (Gillison, 1997) e o MAXENT, que é um algoritmo baseado no princípio da máxima entropia, fundamentada numa abordagem mecanicista para estimar a distribuição probabilística uniforme em toda área de estudo a partir de informações incompletas (Phillips, Anderson, & Schapire, 2006).

O segundo grupo inclui várias abordagens de regressão que englobam dados de presenças e ausências como por exemplo o GAM (*Generalized Additive Models*) e GLM (*Generalized Linear Models*), amplamente utilizados em modelação de distribuição de espécie devido a uma forte base estatística e uma grande capacidade de modelar realisticamente as relações ecológicas. GARP (*Genetic Algorithm for Rule-Set Production*), que usa um algoritmo genético para encontrar associações entre variáveis ambientais e as ocorrências conhecidas das espécies (Elith *et al.*, 2006).

## **2 Enquadramento geográfico**

### **2.1 Condições biofísicas da área em estudo**

A área de estudo compreende a região Austral de África, desde o paralelo de 5° 22' 50" N até à África do Sul, mas a análise e discussão dos resultados irá limitar-se ao sudoeste de Angola.

A área em referência é fortemente influenciada pelo gradiente latitudinal e altitudinal, constituindo assim um dos principais fatores modeladores do clima, tendo em conta que os valores de precipitação sofrem influências destes elementos. Os referidos gradientes (latitudinal e altitudinal) definem, em grande medida, os padrões de distribuição da vegetação os quais variam desde as florestas densas até à vegetação desértica (ex: o Deserto do Namibe) e como tal repartem-se por cinco das unidades vegetais descritas por White (1983), sendo que de norte a sul, o Centro de Endemismo da Zambézia, a Zona de transição regional do Kalahari, o Centro de endemismo do Karoo-Namibe, o Arquipélago afro montano e o centro de endemismo do Cabo.

O Sudoeste de Angola abrange administrativamente três províncias nomeadamente a Huíla, Namibe e Cunene, (Figura 3) sensivelmente entre os paralelos 17° 26' 14" e 17° 24' 22" de Latitude Sul e os meridianos 11° 40' 24" e 17° 24' 22" de Longitude Este. É caracterizada por planaltos extensos, que se prolongam para leste e nordeste e muito além dos limites dela, e por um majestoso degrau, formando a escarpa da Chela que, a pouco mais de 150 km do mar, na área do Lubango (ex-Sá da Bandeira) apresenta um degrau com mais de 1000 m de desnível (Feio, 1981). Junto ao mar, encontra-se uma estreita faixa de sedimentos, que se estende desde a Lucira à Foz do Cunene, atingindo uma largura superior a 20 km na parte central.

A região Austral de África é caracterizada por apresentar um relevo muito acidentado, o qual varia desde o nível médio das águas do mar e se eleva bruscamente até acima dos 5000 metros de altitude no Kilimanjaro onde se encontra o pico mais alto de África, originando assim as comunidades vegetais Afro-montanas, que constituem um grande centro de endemismo (White, 1983).

Em relação o Sudoeste angolano, o relevo é segundo Medeiros (1976)

caracterizado por uma sucessão de superfícies planas, extensas, escalonadas a diferentes altitudes e isoladas por escarpas menos vigorosas, formando escadarias de aplanções, cuja Serra da Chela constitui o ponto mais alto, atingindo cerca de 2000 metros de altitude.

Em termos hidrográficos, a região é drenada de norte a sul pelas bacias hidrográficas do Zaire ou Congo no extremo norte, do Alto Zambeze na faixa leste, as bacias hidrográficas do Cuanza e Cunene, que nascem ambos no planalto central de Angola, a bacia hidrográfica do Okavango, com as cabeceiras instaladas no planalto central de Angola, e a bacia hidrográfica do Limpopo na África do Sul (White, 1983).

Para Diniz, (1991), o sudoeste de Angola é de Norte a Sul drenada por três (3) principais bacias hidrográficas: Bacia hidrográfica do Cunene, Bacia hidrográfica do Sudoeste angolano e a Bacia hidrográfica do Cuanhama.

A bacia hidrográfica do Cunene, integra a maior parte da área de estudo, cujas cabeceiras se encontram no planalto central e que de norte a sul atravessa grande parte de região, sendo por isso a mais importante da região centro e sul, recebendo ao longo do seu curso a água de vários afluentes de regime permanente nas suas duas margens (Diniz, 1991; Diniz, 1973). As duas últimas caracterizam-se por serem de regime intermitente, devido principalmente às condições climáticas desta parte de Angola. E são drenadas por pequenas linhas de água não bem definidas, designadas localmente por “Mulolas”.

Entretanto, estes aspetos formam por si só fortes condicionantes ao comportamento das precipitações e são, portanto, responsáveis pelo mosaico da flora e vegetação da região.

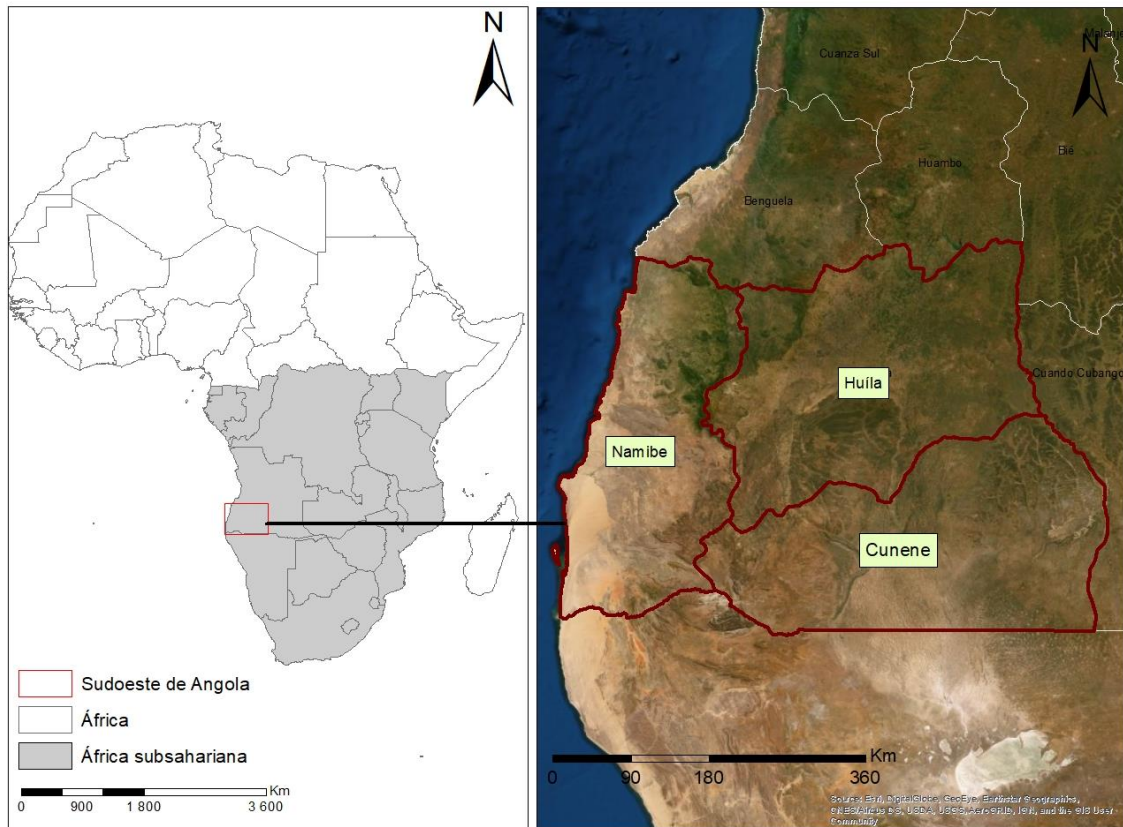


Figura 3. Situação geográfica da área de estudo.

### 2.1.1 Clima

O clima constitui um dos fatores mais importantes em estudos biogeográficos, dada a sua influência na fisionomia, cobertura e determinação dos padrões de distribuição espacial da diversidade biológica (Mucina, 2019).

A África Austral é segundo a classificação de Köppen-Geiger (<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>) caracterizada pelos climas do tipo **A**-Clima equatorial ou tropical (das regiões equatoriais e subtropicais), **B**-Clima árido e semiárido (climas das regiões áridas e dos desertos das regiões costeiras ocidentais dos continentes) e **C**-Clima temperado (clima das regiões oceânicas e marítimas e das regiões costeiras ocidentais dos continentes).

Quanto ao Sudoeste de Angola, o clima varia por duas causas principais, uma que está relacionada ao gradiente latitudinal, que provoca redução da precipitação a medida que nos afastamos da zona equatorial em direção ao anticiclone subtropical, outro relacionado com a proximidade ao mar e a corrente fria de Benguela, que provoca elevada humidade atmosférica e ausência de chuva junto a costa, característica que se enfraquece para o

interior. Também deve-se aqui destacar a influência da altitude no comportamento das chuvas (Feio, 1981).

Destacam-se quatro subtipos climáticos: o **BSh-** (clima semiárido ou de estepe) que ocupa a faixa que se estende desde a província do Namibe até a província do Cunene, (Diniz, 1991) e é caracterizado pela existência plantas xerófitas como acácias, que resistem ao *deficit* hídrico (Chisingui, 2017); o **BWh** (clima desértico ou árido), compreende toda faixa desértica do litoral Sul (Deserto do Namibe) desde a Lucira, estendendo-se até a fronteira sul com a Namíbia (Deserto do Kalahari); o **Cwa** (Clima subtropical húmido com Inverno seco e Verão quente), compreende uma pequena faixa à Norte da província de Moçâmedes; o **Cwb** (Clima subtropical de altitude com Inverno seco e Verão temperado), abrange maior parte da província da Huíla e uma pequena porção da província do Cunene (Diniz, 1973).

A temperatura nesta região varia desde -4 a 30 °C, sendo também influenciada principalmente pela altitude e latitude. Registrando-se por isso, temperaturas negativas nas maiores elevações (ex: Kilimanjaro e a cordilheira de Drakesmberg) e as temperaturas mais altas, nas baixas latitudes (Zona equatorial) e nas regiões costeiras (Figura 4).

Quanto ao SW de Angola, as temperaturas médias anuais apresentam uma variação significativa, aumentando com o afastamento em relação ao mar até a base da escarpa da Chela, que por sua vez passam a ser condicionadas pelo gradiente altitudinal e também pela quantidade de precipitação, variando de 14,5 a 24,8 °C. E apresenta uma amplitude térmica que varia de 5 a 19 °C.

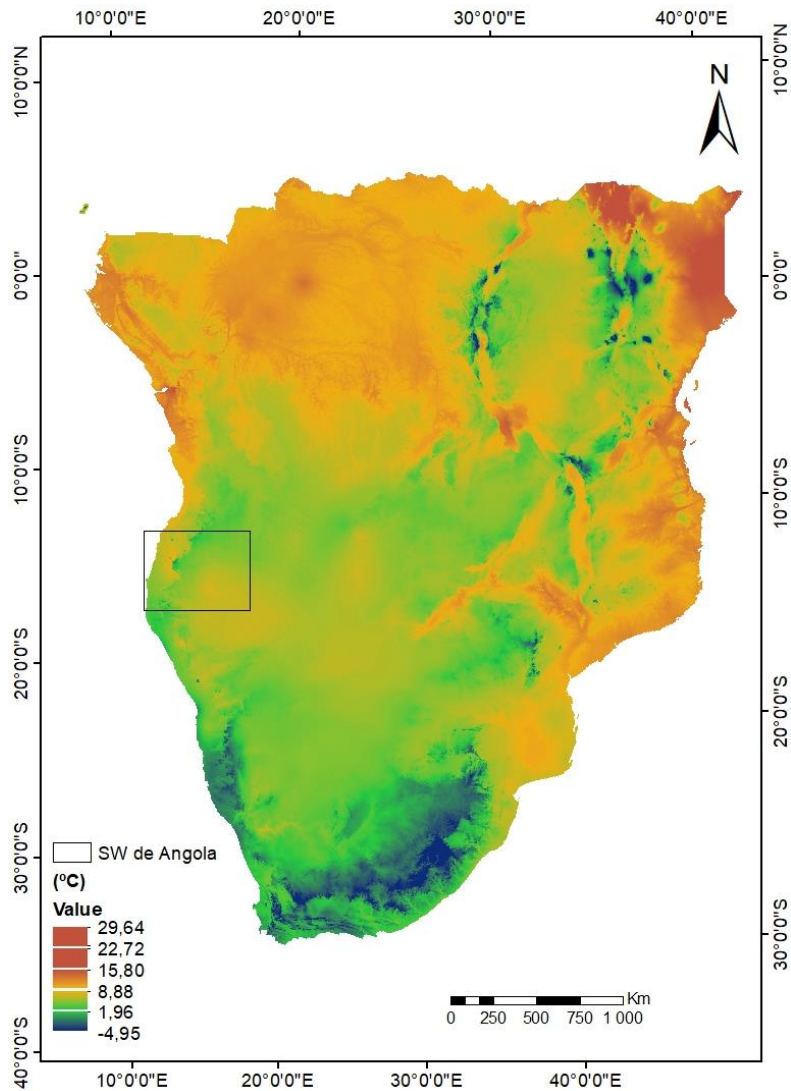


Figura 4. Variação da temperatura média anual.

Existe uma variação considerável na quantidade e na distribuição das chuvas, sendo estas influenciadas pelo gradiente latitudinal e principalmente pela altitude (White, 1983) apresentando uma variação média anual entre 50 à 3000 mm (Figura 5), com os maiores valores observados nas baixas latitudes (zona equatorial) e nas grandes altitudes onde chegam a atingir 5 000 mm por ano.

Em relação ao sudoeste de Angola, a distribuição da precipitação muda com a altitude, com o afastamento em relação ao mar e com a latitude, variando de 26 mm em toda faixa desértica a 1226 mm na cordilheira da Chela e no Planalto Principal. Onde os maiores valores registam-se nas terras altas da Chela e no planalto principal, que compreende toda faixa norte do SW

angolano, (< 1000 mm), (Medeiros, 1976).

É caracterizado por duas estações principais (chuvosa e seca - também designada por estação do cacimbo) e uma de transição. Sendo seis meses de chuvas (Novembro, Dezembro, Janeiro, fevereiro, Março e Abril), dois de transição (Maio e Outubro) e quatro meses secos (Junho, Julho, Agosto e Setembro) (Feio, 1981).

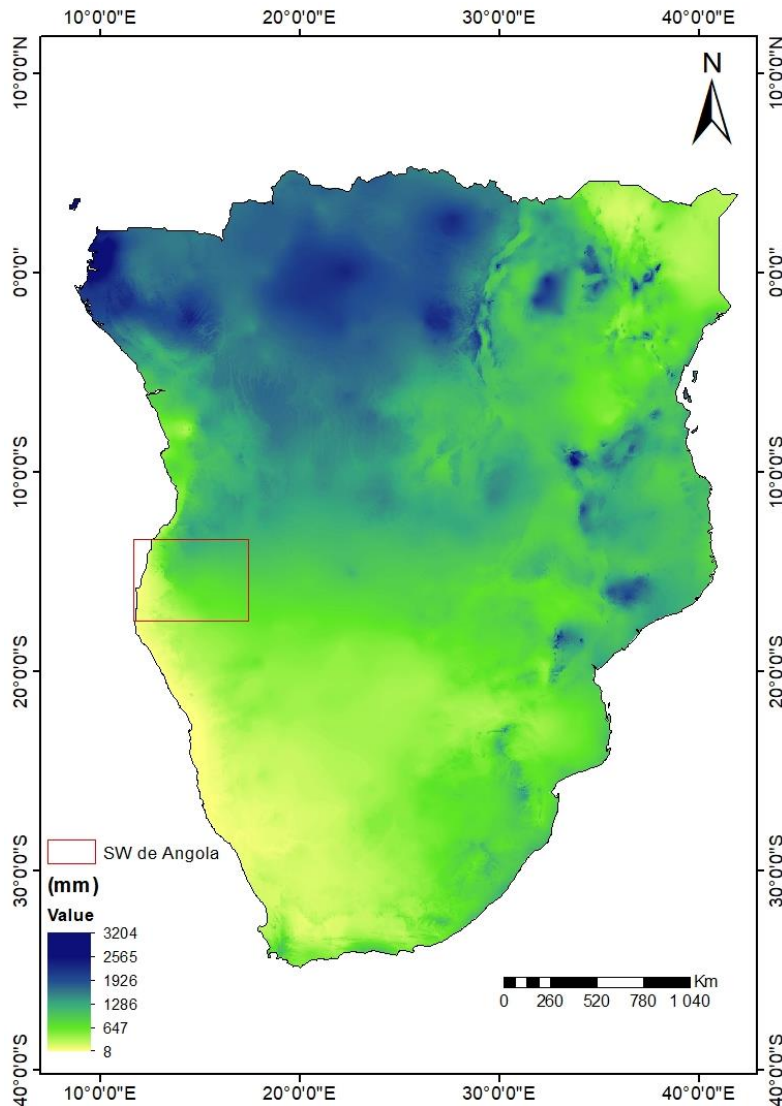


Figura 5. Distribuição da precipitação média anual.

### 2.1.2 Geologia

Segundo White, (1983) a área de estudo é dominada no extremo norte por formações Pré-câmbricas cobertas por sedimentos que vão desde a era Paleozoica até às mais recentes (depósitos fluviais modernos e areais de praia

e dunares litorais, entre outros). As rochas são constituídas maioritariamente por: quartzitos, xisto, anfibolito, gnaiss, migmatito, diorito e mechas. O centro da área de estudo, precisamente no vale do Zimbabwe é caracterizado por formações pré-câmbrias, extraordinárias, que se estendem até 480 km na direção NNE-SSW, com 5-6 km de largura que consistem em intrusões ultrabásicas e básicas de diorito, gabro, peridotite, serpentina, as quais constituem importante fonte de níquel e cromo. A região do Karoo-Namibe e Kalahari são dominados por basaltos triássicos, intrusões de soleira e tilita. A região do Cabo é dominada por arenito e quartzito, sendo que a faixa costeira é constituída por sedimentos terciários, conglomerados e calcários.

Diniz (1991), considera a região Sudoeste de Angola constituída pelas seguintes estruturas geológicas:

- 1- Formações marinhas Ceno-Mesozoicas (orla sedimentar do litoral) de Plataformas arenosas, argilas, calcários, arenitos e margas, depositados desde o Cretáceo inferior até ao Miocénico, que se evidenciam principalmente na bacia sedimentar do Namibe.
- 2- Formações continentais cenozoicas:
  - De dunas, que correspondem aos extensos depósitos de areias quartzosas de origem eólica, desde o Curoca até a foz do rio Cunene;
  - De depósitos quaternários de aluviões e areias os quais dizem respeito às formações sedimentares de maior continuidade, que corresponde com a aplanção da bacia sedimentar do Cuanhama e com o Planalto Antigo constituídas essencialmente por aluviões de areias, granitos, granodioritos e gabro-norito;
  - Do Kalahari (terciário) e areias quaternárias de coberturas. Caracterizadas por materiais arenosos mais ou menos soltos, conhecidos geralmente por areias do Kalahari. Corresponde, portanto, à parte leste da área de estudo, cujo desenvolvimento teve lugar desde o Terciário inferior até ao Holocénico.
- 3- Formações continentais Pré-Câmbrias:
  - De Calcário, Xistos, Arenitos, Quartzitos, Grauvaques, Arcoses, Argilitos, que incluem o grupo da formação da Chela e da Leba;

- Doleritos e noritos;
- Granitos e granitos porfíroides;
- Complexo gabro-arnotosítico;
- Complexo xisto-quartzítico.

### 2.1.3 Solos

O solo constitui um dos elementos responsável pela heterogeneidade dos *habitats*, influenciando os padrões de distribuição da flora e vegetação.

Segundo a carta global de solos da FAO (1977) na escala 1:5 000 000, o continente africano abrange 53 grandes regiões edáficas, sendo que, a área de estudo compreende cerca de 22 grandes regiões de solo, repartidas em três grandes unidades: Acrisóis, Cambissolos e Chernossolos. Estas 22 regiões edáficas apresentam uma grande diversidade de solos que se reflete na riqueza e diversidade da flora que caracteriza esta região.

O Sudoeste de Angola é de acordo a Carta de solos apresentada por Diniz (1991) constituída de norte a sul por 6 principais unidades pedológicas relacionadas às características climáticas, referindo-se principalmente aos valores de precipitação e ao grau de secura do solo como afirma Cardoso, (2015):

- **Dunas do Deserto**, correspondem aos materiais arenosos de origem eólica, formadas por acumulações de materiais quartzosos. Ocupa uma extensa faixa litoral, desde o Curoca até à foz do rio do Cunene;
- **Solos aluviais**, solos pouco evoluídos, de origem fluvial. Característicos das planícies marginais dos principais rios. Não possuem horizontes bem definidos, produzindo depósitos estratificado de sedimentos aluvionais;
- **Litossolos e Terrenos rochosos**, corresponde aos solos pouco evoluídos e com rocha consolidada, pouco meteorizada e pouco profundos (15/20 cm);
- **Solos psamíticos**, agrupa todos os solos de textura grosseira, arenosos-francos relacionando-os com materiais quartzosos mais ou menos espessos, pouco evoluídos, compostos pelos perfis ABC;
- **Solos arídicos tropicais**, distribuem-se com maior incidência a sul e

sudoeste (Baixo Cunene e Namibe) e está, portanto, relacionado com substratos rochosos gnaissíco e granito-gnaissico e com sedimentos gresíferos e argiláceos do Cretácico;

- **Solos felsialíticos**, compreende a faixa subplanáltica de clima subhúmido e na sua transição para o semiárido, com ocorrência descontínua desde o rio Zaire até ao sopé da Serra da Chela.

#### **2.1.4 Vegetação e flora**

A área de estudo é abrangida pelos principais biomas que caracterizam o continente africano de norte a sul, desde florestas tropicais húmidas a desertos secos (Burgess *et al.*, 2004). A área de estudo se estende pelas seguintes principais regiões florísticas (White 1983): Guineo-Congoleana, Zambesiáca, Karoo-Namibe, Kalahari, Cabo e Afro montano. Sendo que a região Zambesiáca é de maior extensão, abrangendo quase todos os países que compreendem a área de estudo, com cerca de 3.770 000 km<sup>2</sup>, seguido pela região Guineo-Congoleana que compreende a faixa norte com de cerca de 2.800 000 km<sup>2</sup>.

Em relação ao Sudoeste de Angola, Barbosa (1970) considera que as várias formações vegetais aí existentes compreendem sobretudo associações de miombo com savanas, que varia através das características climáticas e edáficas, tendo descrito 8 formações vegetais para esta região:

- **i - Bosque e balcedo alto, caducifólios, das altitudes médias (areias da Chibemba, Bicuar, Mulondo, etc.) (tipo de vegetação nº 15).**

Estas unidades compreendem o extremo sul da Matala, seguindo a margem direita do rio Cunene, Parque Nacional do Bicuar, Chimbolelo, Mulondo até ao norte de Mucope (Barbosa, 1970). As espécies mais comuns são: *Baikiaea plurijuga*, *Brachystegia spiciformis*, *Julbernardia paniculata* e *Ricinodendron (Schinziophyton rautanenii)* (Diniz, 1991).

- **ii - Miombo, savanas e ongote submontanos (tipo de vegetação nº 16)**

Estas formações correspondem às zonas do planalto central, caracterizadas fundamentalmente por uma drenagem interna deficiente e com algumas lagoas

intermitentes. As espécies características são: *Julbernardia paniculata*, *Brachystegia spiciformis*, *Brachystegia* spp., *Cryptosepalum* spp., etc (Barbosa, 1970).

- **iii - Miombo ralo e savanas dos declives mesoplanálticos de transição (das áreas de baixa altitude para o planalto central) (tipo de vegetação nº 18).**

Estas formações ocorrem nas regiões mesoplanáltica, constituindo a zona de transição do planalto central para os mais distintos tipos de vegetação influenciadas pela altitude. Ocupa uma vasta área de transição entre as formações de miombo e tipos de vegetação mais xerófitas de *Colophospermum mopane* ou *Baikiaea plurijuga*, nas regiões de Quipungo, Capelongo e Cassinga.

- **iv - Bosque seco, decíduo e mosaico de savana e estepe em solos das baixas, normalmente Barros pardos a vermelhos (tipo de vegetação nº 20).**

Compreende os bosques de *Colophospermum mopane*, com uma distribuição ampla, desde a base da cadeia marginal de montanha (Serra da Chela) até às formações mais abertas, baixas e estepoides sub desérticas do sudoeste de Angola. De norte para sul desde o rio Coporolo pelas regiões de Impulo, Bibala, Caraculo, Virei e Chitado até a margem esquerda do rio Cunene, seguindo pelas regiões de Cuamato, Xangongo, Môngua, Mupa, Evale e Ondjiva (Barbosa, 1970).

- **v - Bosques secos, baixos e anões e vegetação rupícola (tipo de vegetação nº 21).**

Corresponde às formações do *Colophospermum mopane*, que algumas vezes se associa ao *Spirostachys africana*, *Acacia kirkii* e *Sterculia* spp. Apresenta uma ampla distribuição no sudoeste de Angola, desde sudoeste do município de Quipungo, passando pelo município da Chibia, alargando-se para sul entre Ompupa e Cahama, culminando a sul de Otchinjau, prolongando-se até aos limites do Deserto do Namibe, onde chegam a atingir 1 a 2 metros de altura.

➤ **vi - Formações estepoides, sublitorais, arbustivas e herbosas (tipo de vegetação nº 27)**

Esta mancha distribui-se desde o Caraculo (bosques de *C. mopane*) até a região mais áridas de Moçâmedes (12° 5' e 13° E). É, portanto, dominado pelas espécies *Acacia mellifera* subsp. *detinens*, *Faidherbia albida*, *Colophospermum mopane*, *Combretum imberbe*, etc.

➤ **vii - Estepes litorais, ralas, descontínuas, de ciclo vegetativo descontínuo de ciclo vegetativo efêmero (tipo de vegetação nº 28)**

Ocorre desde a área sublitoral do deserto do Namibe até cerca de 200 m de altitude, estendendo-se além do rio Cunene. É caracterizada por espécies ralas, descontínuas e de ciclo vegetativo efêmero e cobrindo-se por um manto de vegetação herbácea (Diniz, 1991). As espécies que ali ocorrem, são principalmente do género *Aristida*, com destaque a *Aristida prodigiosa*, *Petalidium tomentosum* de caules prostrados, *Salvadora persica*, *Euphorbia* sp. e *Cyphostemma uter*. E em certas zonas, a rara *Welwitschia mirabilis* (Feio, 1981; White, 1983; Cardoso et al., 2019).

➤ **viii - Vegetação desértica, esporádica, acantonada (tipo de vegetação nº 29)**

Corresponde à formação típica do deserto do Namibe, caracterizada por dunas móveis, entre os rios Curoca e Cunene, onde a vegetação ocorre essencialmente nos leitos dos escassos cursos de água e nalgumas depressões entre as dunas, próximos do litoral (Feio, 1981). As espécies predominantes são: *Acanthosicyos horridus*, com capacidade de se fixarem nas dunas reduzindo-lhes assim a mobilidade (Barbosa, 1970).

## **2.2 Atividades económicas e uso do solo**

Os padrões de distribuição da população de África Subsariana estão de acordo com a disponibilidade de recursos e principais serviços.

De acordo com o relatório do GBAD (2016), metade da população africana residente nas zonas rurais, isto é, nas savanas de africana ou próximo delas, vive abaixo do limiar da pobreza. O que as torna dependentes do uso da terra, dos recursos naturais, dos serviços ecossistémicos e do turismo rural

para a sua subsistência e ganho comercial (Nyirenda, Assédé, Chirwa, Geldenhuys, & Nsubuga, 2019). Entretanto, é importante considerar que a densidade populacional bem como o uso da terra e dos seus recursos têm fortes implicações na intensidade de uso e exploração, potenciado pela desigual distribuição da população (Geldenhuys & Golding, 1994).

A agricultura, a criação de animais, a caça, a recolção, a exploração florestal e mineral insustentável e a pesca constituem, portanto, as suas principais atividades económicas.

Entre as principais tradições ocupacionais do povo do Sudoeste de Angola, estão a agricultura que é caracterizada por ser principalmente itinerante e de subsistência e a criação de gado. Existe uma certa diferença entre as áreas urbanas e rurais quanto aos modelos de distribuição das principais atividades económicas (Chisingui, 2017). A área urbana é caracterizada principalmente pelo comércio grossista, administração pública, construção e pelos serviços. E a área rural predomina a agropecuária, o comércio retalhista em pequena escala e outras atividades ligadas a extração direta de bens produzido pela natureza (INE, 2014).

O setor industrial está pouco evidenciado, destacando-se apenas algumas unidades fabris de pequenas dimensões, cuja produção alimentar (moageiras e panificadoras), de bebidas (refrigerantes, água mineral e bebidas alcoólicas), extração de recursos do subsolo de grande valor económico (granito, calcário e areia), bem como a indústria de construção civil (Chisingui, 2017).

### 3 Metodologia

A avaliação dos impactos potenciais das mudanças climáticas na distribuição de espécies indicadoras dos principais tipos de formações vegetais do sudoeste de Angola está baseada no uso de modelos correlativos apoiados no conceito de nicho ecológico, tendo por referência o conceito de nicho fundamental ou Grinneliano (Costa, 2010), sendo que os resultados obtidos representam a distribuição potencial para uma determinada entidade (planta, animal, comunidade vegetal, etc.).

Para esta avaliação, foram selecionadas as espécies características dos principais tipos de vegetação que ocorrem no sudoeste de Angola, considerando a proposta de Barbosa (1970):

- Vegetação nº15 - Bosque e balcedo do alto (*Baikiaea plurijuga*);
- Vegetação nº18 – Miombo ralo (*Brachystegia boehmii*);
- Vegetação nº20 – Bosque seco (*Colophospermum mopane*);
- Vegetação nº27 – Formações estepoides (*Terminalia prunioides*).

#### 3.1 Caracterização das espécies

A *Baikiaea plurijuga* é uma espécie típica das florestas do miombo (Jinga & Ashley, 2019), que se distribui em solos arenosos (areias do kalahari), profundos e pobres.

A *Baikiaea plurijuga* (Figura 6) é uma espécie arbórea da família *Leguminosae*, de tamanho médio (8-15 m), podendo atingir 20 m de altura na fase adulta, e com uma copa grande e frondosa. Distribui-se nas florestas de teca do Zambeze, encontradas nas areias do Kalahari da África Subsariana (Angola, Botswana, Namíbia, Zâmbia e Zimbabwe) entre os paralelos de 13° a 20° S, em áreas com precipitação média anual entre 600-1000 mm, podendo resistir a temperaturas extremas acima de 40°C e a geadas severas até -15°C (Joker & Jepsen, 2003). Localmente é conhecida por Omupapa, muiumba, mucosso (Angola), Teca rodesiana, Teca zambiana (Botswana e Zâmbia), Rodhesiese klaat (África do Sul), Castanha do Zimbabwe, Teca do zimbabwe, Umgusi, Mukusi (Zimbabwe) (Figueiredo & Smith, 2001; Joker & Jepsen, 2003). Ocorre em solos profundos, inférteis e arenosos onde consegue resistir a seca

extrema por possuir um sistema radicular com uma raiz principal capaz de atingir cerca de 10 m de profundidade, garantindo assim humidade suficiente para a planta em época de escassez de precipitação. Geralmente associada a *Guibourtia coleosperma* e *Schinziophytum rautanenii* (Wyk & Wyk, 1997).

Está sujeita a exploração intensiva devido à qualidade e resistência da sua madeira, da lenha e do carvão que dela advém, constituindo fonte de receitas para as populações nativas. Localmente é ainda usada como medicamento no tratamento de várias enfermidades e como forragem para o gado (Joker & Jepsen, 2003). Está classificada como *Near threatened* (quase ameaçada) pelo *World Conservation Monitoring Centre* (W.C.M.C, 1998).

No Sudoeste de Angola, a espécie está confinada na parte sudeste, desde o Parque Nacional do Bicular, apanha uma pequena faixa do Parque Nacional de Mupa e se estende para os extremos sul e sudeste da área de estudo.



Figura 6- Pormenor das estruturas reprodutivas de *Baikiaea plurijuga*.

### ***Brachystegia boehmii***

É uma das espécies características das formações do miombo, confinadas à África Central. O género *Brachystegia*, é um dos maiores deste tipo de vegetação e taxonomicamente de difícil classificação devido a facilidade

de hibridação de algumas espécies. As espécies mais comuns deste género são a *Brachystegia boehmii* e *Brachystegia spiciformis* (Moura *et al.*, 2017).

A *Brachystegia boehmii* (Figura 7) é um arbusto ou árvore, pertencente à família *Fabaceae*, com uma copa aberta, podendo atingir entre 15-25 metros de altura. Com uma distribuição ampla a nível de África Central e Austral (Angola, Zâmbia, Malawi, Zimbabwe, Moçambique), está associada às savanas caducifólias das encostas montanhosas, em terrenos rochosos, solos avermelhados, pouco drenados e em altitudes compreendidas entre 900-1600 metros. É uma das espécies indicadoras das florestas de miombo (Moura *et al.*, 2017). Em Angola é também conhecida por Usamba (Figueiredo & Smith, 2012).

Desempenha um papel importante na economia da região, devido à sua multiplicidade de uso como:

- a madeira é usada na construção de casas e canoas;
- as cascas são particularmente fibrosas, comumente usadas na tecelagem, redes de peca, cama e fabrico de cordas;
- a cinza é usada como fertilizante na agricultura.



Figura 7. Detalhe das folhas e favas da *Brachystegia boehmii*.

### ***Colophospermum mopane***

O *Colophospermum mopane* é a única espécie do género *Colophospermum* (mono específica), que ocorre somente, nos vales secos e quentes da África subsariana onde normalmente é dominante, podendo estar associada à *Spirostachys africana* ou à *Terminalia prunioides* (Moura *et al.*, 2017).

É conhecido localmente por Omunthiati (Angola), mopanie (África do Sul), chanate (Moçambique), árvore do bálsamo e *masharu* (Zimbabwe). É uma espécie arbórea ou arbustiva, pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Caesalpiniaideae*, que pode atingir cerca de 25 metros de altura. Possui folhas compostas por dois folíolos assimétricos, semelhantes a uma borboleta ou pegadas de camelo (Figura 8). Apresenta uma distribuição ampla no sul de África, ocorrendo em áreas com altitudes entre 300 e 1000 m e uma precipitação média anual que varia entre 100 e 800 mm, (Melusi, R. & Mojeremane, 2012; Mapaure, 1994).

Produz uma madeira pesada e resistente ao ataque de pragas da madeira. É tradicionalmente usada para a produção de postes, estacas, construção de cabanas e outras estruturas, cercas de paliçada e construção naval, sendo também importante no fornecimento de lenha e carvão de boa qualidade (Makhado, Potgieter, & Luus-Powell, 2016). O *Colophospermum mopane* é hospedeiro de lagartas de mariposa *mopane* ou mariposa imperador (*Gonimbrasia belina*), amplamente consumida em toda região. Esta formação assume também uma importância significativa do ponto de vista da dieta alimentar das comunidades locais. O ritidoma é usada como remédio no tratamento de diversas doenças e as folhas são usadas como forragem para o gado (Makhado *et al.*, 2016).



Figura 8. Detalhes das folhas e frutos do *Colophospermum mopane*.

### ***Terminalia prunioides***

A *Terminalia prunioides* (Figura 9) é um arbusto ou árvore caducifólias, multicaule de tamanho médio (10 m), pertencente à família *Combretaceae*. Ocorre naturalmente em condições áridas e semiáridas, declives acentuados e solos pedregosos, em áreas costeiras e ribeirinhas, por vezes em associação com *Colophospermum mopane*. Consegue estabelecer-se entre 30 a 1400 metros de altitude, em áreas onde a temperatura média anual varia de 15 a 40 °C e valores de precipitação média anual entre 450-1000 mm. Comum em toda a África Austral e Oriental (Quênia, Tanzânia, Angola, Zâmbia, Zimbábue, Moçambique, Namíbia, Botsuana, África do Sul) (Wyk & Wyk, 1997), é frequentemente explorado devido à qualidade da sua madeira, usada na construção de casas. E também é usada no tratamento de várias doenças humanas como tosse, diarreia, dor de garganta e desconfortos gastrointestinais (Lawal & Tshikalange, 2019).



Figura 9. Detalhes das folhas e frutos da *Terminalia prunioides*.

## 3.2 Fontes e tratamento de dados

### 3.2.1 Registos de ocorrência

Neste estudo foram apenas utilizados dados de presença para as espécies selecionadas. Os dados relativos à presença das espécies utilizadas são de fontes diversas, nomeadamente:

- bases de dados do GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*-<https://www.gbif.org/>);
- Flora da Zambeziaca (<https://www.zambiaflora.com/index.php>);
- *BiotaBase* do grupo Biota Africa, do projeto SASSCAL (*Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Management*), sub-projeto 154 (*plant and vegetation assessments in the Huíla region and elaboration of regional vegetation database and vegetation maps*);
- Registos de coleções científicas do Herbário do Lubango (LUBA) do Instituto Superior de Ciências de Educação da Huíla (ISCED-Huíla);
- Registos de coleções científicas do ex-Herbário Tropical do Centro de Botânica da Universidade de Lisboa.
- Registos de coleções científicas digitais do ex-Herbário Tropical do Centro de Botânica da Universidade de Lisboa disponíveis online

[http://maerua.iict.pt/colecoes/herb\\_asresult.php?catalogNumber=&Collector=&family=&CollectorNumber=&genus=geigeria&EarliestDateCollectedFrom=&species=&EarliestDateCollectedTo=&Country=&fieldOrder=catalogNumber&locality=&operator=AND](http://maerua.iict.pt/colecoes/herb_asresult.php?catalogNumber=&Collector=&family=&CollectorNumber=&genus=geigeria&EarliestDateCollectedFrom=&species=&EarliestDateCollectedTo=&Country=&fieldOrder=catalogNumber&locality=&operator=AND));

- Registos de coleções científicas digitais do Herbário da Universidade de Coimbra disponíveis online ([https://www.uc.pt/herbario\\_digital/catalogues](https://www.uc.pt/herbario_digital/catalogues));
- Recolha de campo no Sudoeste de Angola.

### 3.2.2 Variáveis ambientais

No processo de calibração dos modelos foi utilizado conjunto de variáveis bioclimáticas obtidas do projeto *worldclim*, (<http://www.worldclim.org/>), versão 1.4, com uma resolução espacial de 1 km (30 segundos de arco) projetadas no sistema WGS84. Assumiu-se que esta resolução seria suficiente tendo em conta a dimensão da área em estudo, e que as variáveis disponíveis seriam adequadas, tanto pela diversidade como pelo facto de serem consideradas as mais determinantes na distribuição de plantas (Chalghaf *et al.*, 2018), nomeadamente as que respondem às condições climáticas zonais, como as que foram seleccionadas neste estudo. Nesta base de dados estão considerados valores médios mensais, anuais, estacionais, extremos (máximas e mínimas) e variações ou amplitudes.

Além dos dados para as condições climáticas atuais, que têm por referência a série climática 1961-1990, foram ainda utilizadas as projeções climáticas futuras para os diferentes cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5).

Em termos de cenários climáticos futuros, neste trabalho utilizaram-se como referência os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para o período de 2061 a 2080, tendo-se optado por utilizar os resultados do modelo climático CNRM-CM5.

Tabela 1. Lista das variáveis bioclimáticas utilizadas.

Variáveis	Definição
Bio1	Temperatura média anual
Bio2	Varição diurna da temperatura (Média mensal (temp. máxima - temp. Mínima)
Bio3	Isotermicidade (BIO2/BIO7) * 100
Bio4	Sazonalidade da temperatura (Desvio padrão*100)
Bio5	Temperatura máxima do mês mais quente
Bio 6	Temperatura mínima do mês mais frio
Bio 7	Amplitude térmica anual (BIO5-BIO6)
Bio 8	Temperatura média do trimestre mais húmido
Bio 9	Temperatura média do trimestre mais seco
Bio 10	Temperatura média do trimestre mais quente
Bio 11	Temperatura média do trimestre mais frio
Bio 12	Precipitação total média anual
Bio 13	Precipitação do mês mais húmido
Bio 14	Precipitação do mês mais seco
Bio 15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
Bio 16	Precipitação do trimestre mais húmido
Bio 17	Precipitação do trimestre mais seco
Bio 18	Precipitação do trimestre mais quente
Bio 19	Precipitação do trimestre mais frio

O tratamento das variáveis ambientais foi feito em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica) *software ArcGis* 10.6.1 e compreendeu as seguintes etapas:

- Criação da máscara da área de estudo (polígono);
- Corte das variáveis ambientais, tendo como máscara de corte o polígono da área de estudo;
- Conversão das camadas ambientais para o formato *ASCII*, tendo em conta que o *software Maxent* lê apenas variáveis ambientais neste formato.

### 3.3 Processo de modelação

O processo de modelação usado neste trabalho está baseado no princípio da máxima entropia, implementado no *software Maxent* 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006). Trata-se de um método de base estatística do tipo determinístico

que correlaciona a distribuição conhecida das espécies com os fatores ambientais, recorrendo apenas a dados de presenças (Figueiredo, 2013), e compreendeu as seguintes etapas:

#### **a- Algoritmo de modelação**

Usou-se o *software Maxent*, versão 3.4.1 (Phillips *et al.*, 2006), tendo em conta a natureza dos dados das espécies (apenas presenças) e por se mostrar robusto (Elith *et al.*, 2006), com boa capacidade para discriminar áreas ecologicamente adequadas à ocorrência de determinado organismo (Phillips *et al.*, 2006).

#### **b- Seleção das variáveis**

A seleção das variáveis ambientais foi feita com base na correlação entre elas e no teste do *Jackknife*. Numa primeira fase foram selecionadas as variáveis que apresentavam entre si valores de correlação inferior a +/- 0,7. Posteriormente, e com base na técnica de *Jackknifing*, para cada espécie foi avaliado o contributo de cada variável, tendo-se mantido no modelo as que apresentavam elevada contribuição para explicar a distribuição atual de cada uma das espécies.

#### **c- Avaliação dos modelos**

A avaliação dos modelos foi feita tendo por referência o valor de *AUC* de *ROC* (Area under the Curve of the Receiver Operating Characteristics), uma medida de precisão que não está dependente da definição de limiares de binarização. A análise da qualidade dos modelos teve ainda por referência a representação gráfica dos valores de omissão e comissão (Guisan & Zimmermann, 2000).

Para a avaliação dos modelos considerou-se inicialmente a possibilidade de se utilizar uma amostra independente, utilizando para tal os pontos recolhidos em campo no SW de Angola, enquanto todos os outros pontos (outras fontes) seriam utilizados no processo de calibração.

No entanto, numa análise exploratória da variação das condições ecológicas em cada sub-amostra (calibração e validação) para cada espécie (*Terminalia prunioides*, *Colophospermum mopane*, *Baikiaea plurijuga*)

verificamos que há diferenças estatisticamente significativas (teste t para amostras independentes  $p < 0.05$ ), indicando que os pontos de calibração (outras fontes) apresentam diferenças de nicho em relação aos de validação (recolha no SW de Angola). Considerando esta situação, optou-se por se juntar todas as ocorrências recolhidas e aplicar uma estratégia de divisão aleatória da amostra (todos os pontos conhecidos por espécie), baseada na seleção de 70% para calibrar e 30% para validar (Phillips *et al.*, 2006).

### **3.4 Binarização dos modelos**

Os modelos produzidos pelo software apresentam uma escala probabilística (0 a 1), tendo sido necessário recorrer ao processo de binarização dos resultados (0- condições não adequadas e 6-condições adequadas) para a distribuição potencial (0- condições não adequadas e 3-condições adequadas) para a distribuição futura, de modos a facilitar a interpretação dos resultados e a avaliação de mudanças. O processo de binarização utilizou o limiar identificado pelo *software* como *Maximum training sensitivity plus specificity*, o qual valoriza a capacidade do modelo para prever corretamente as ocorrências conhecidas, permitindo discriminar e estimar as áreas ecologicamente adequadas para ocorrência da espécie (Gomes *et al.*, 2018).

## **4 Resultados e discussão**

### **4.1 Resultados**

#### **4.1.1 Distribuição potencial atual e fatores ambientais determinantes**

De uma forma geral, os modelos produzidos para a previsão da distribuição potencial das espécies selecionadas nas condições climáticas atuais apresentaram bom desempenho. Este é um aspeto fundamental para garantir que as projeções futuras mostrem maior robustez. Esta convicção está baseada essencialmente no facto de a medida de precisão utilizada, apresentar resultados que indicam que os modelos têm boa capacidade de discriminação em termos de condições ecológicas adequadas à presença das espécies (AUC > 0,9).

#### ***Brachystegia boehmii***

A avaliação dos resultados dos modelos produzidos permite confirmar o seu bom desempenho na previsão da área adequada para a ocorrência da espécie, tendo em referência o gráfico de AUC que apresenta um valor médio de 0,954.

Considerando a taxa de omissão, que representa a capacidade do modelo para prever corretamente presenças da espécie, é possível confirmar que os dois subconjuntos selecionados aleatoriamente pelo *software* para calibração (70%) e validação (30%) apresentam semelhanças em termos de condições ecológicas, uma vez que o padrão da taxa de omissão é semelhante para as duas amostras (Figura 10).

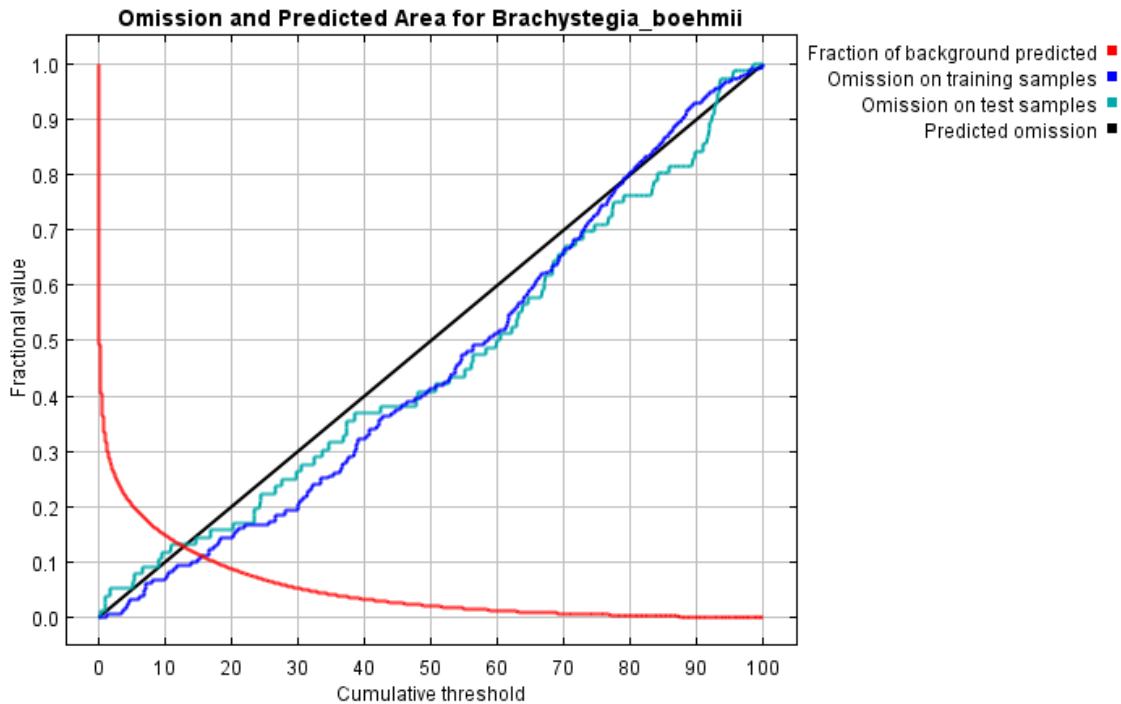


Figura 10. Taxa de omissão para o modelo produzido para a *Brachystegia boehmii*.

Em termos de variáveis ambientais, a distribuição potencial associada a áreas com menor variação da temperatura entre as diferentes estações do ano (Bio4), e áreas com valores médios de precipitação superiores a 500 mm no trimestre mais húmido (Bio16). Na calibração dos modelos foram ainda utilizadas as variáveis, precipitação no trimestre mais seco (Bio17) e precipitação no trimestre mais frio (Bio19), ainda que apresentem contribuições mais baixas (Figura 11). No trimestre mais seco, os valores de precipitação situaram-se entre 40-80 mm (Bio17) ao nível da África Austral (Figura 12).

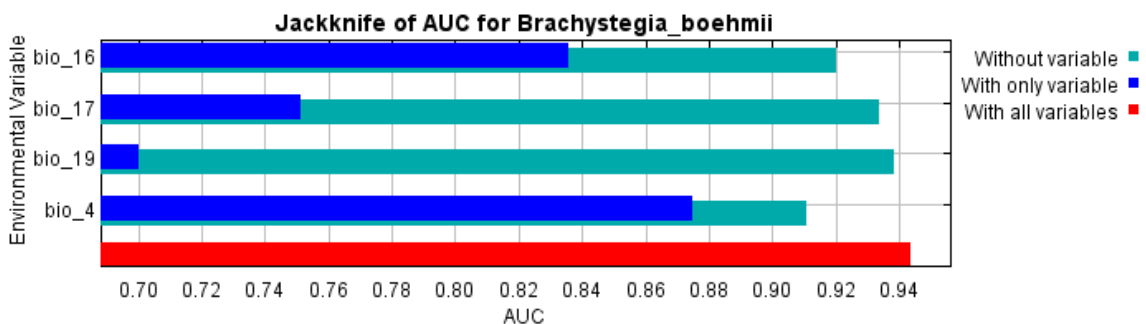


Figura 11. Teste do *Jackknife* para variáveis ambientais para a espécie *Brachystegia boehmii*.

Em relação ao Sudoeste de Angola, a espécie ocorre nas áreas com valores médios de precipitação mais elevada, precisamente no extremo

setentrional. Esta relação com os totais de precipitação explica a sua restrição espacial às áreas mais húmidas.

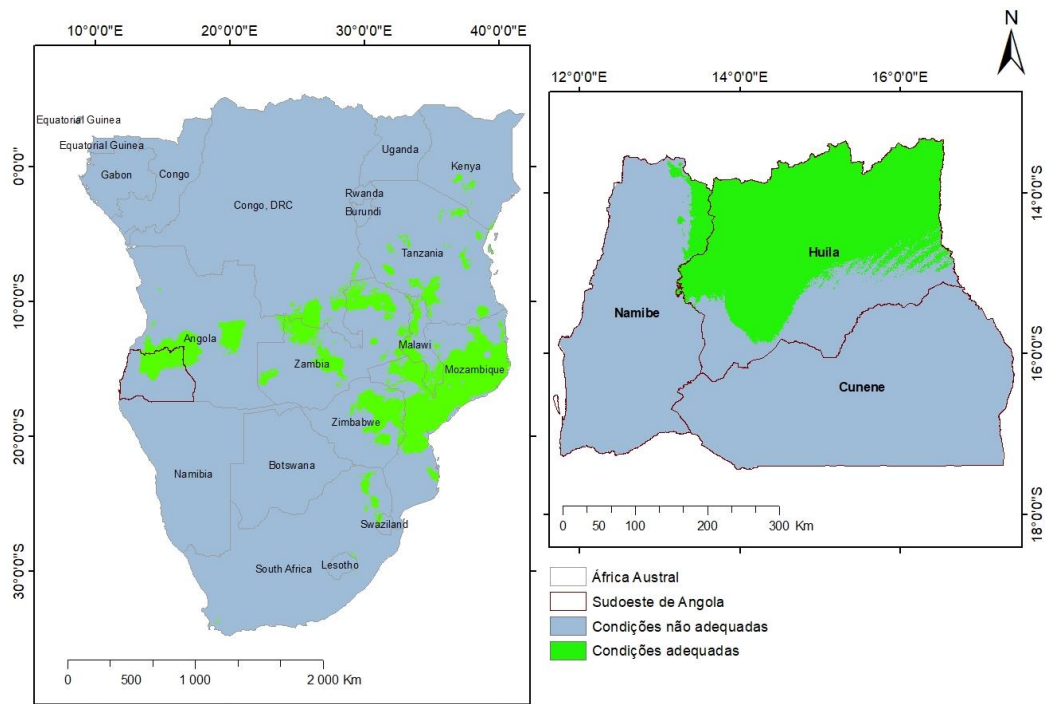


Figura 12. Distribuição potencial da *Brachystegia boehmii* na África Austral e no Sudoeste de Angola.

### ***Baikiaea plurijuga***

Também para a espécie *B. plurijuga* é possível confirmar a proximidade das condições ambientais associadas às duas sub-amostras utilizadas para calibração e validação do modelo produzido para a espécie (Figura 13). E o valor médio de AUC é de 0,982, o que em linhas gerais traduz um bom desempenho do modelo.

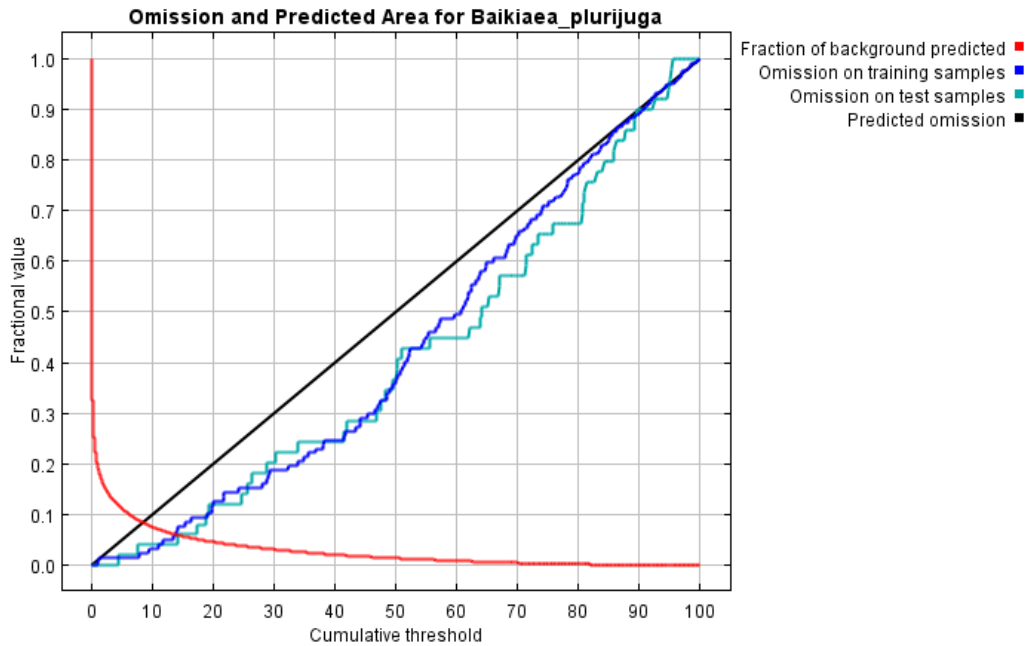


Figura 13. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie *Baikiaea plurijuga*.

No que diz respeito às variáveis ambientais, as que apresentam maior poder explicativo em termos de distribuição espacial da espécie são as relacionadas com a precipitação, nomeadamente a precipitação do mês mais seco (Bio14), precipitação do trimestre mais húmido (Bio16), precipitação do trimestre mais seco (Bio17) e precipitação do trimestre mais frio (Bio19), tendo ainda sido utilizada no modelo a amplitude térmica anual (Bio7), apesar da sua contribuição mais baixa (Figura 14).

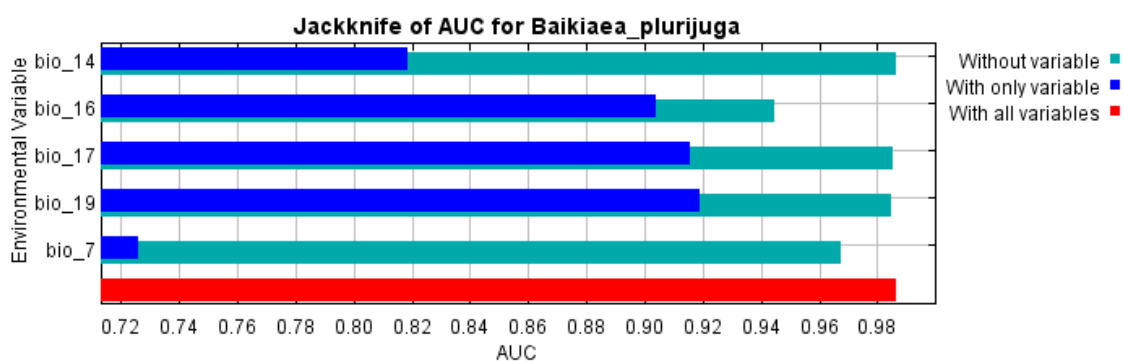


Figura 14. Teste do *Jackknife* para variáveis ambientais para a espécie *Baikiaea plurijuga*.

O modelo (Figura 15) indica que a *Baikiaea plurijuga* na África Austral ocorre em áreas mais secas, as quais apresentam escassez de precipitação no mês mais seco (Bio14) e no trimestre mais seco (Bio17). Distribuindo-se, portanto, em áreas com precipitação média anual inferior a 500 mm, o que

corresponde a áreas com valores médios mais baixos na África meridional, mas que apresentam amplitude térmica anual significativa (Bio7). No Sudoeste de Angola a espécie está presente principalmente no sector sudeste, correspondendo a áreas cujos valores médios de precipitação são ligeiramente inferiores aos que caracterizam a área onde é mais frequente a espécie *Brachystegia boehmii*.

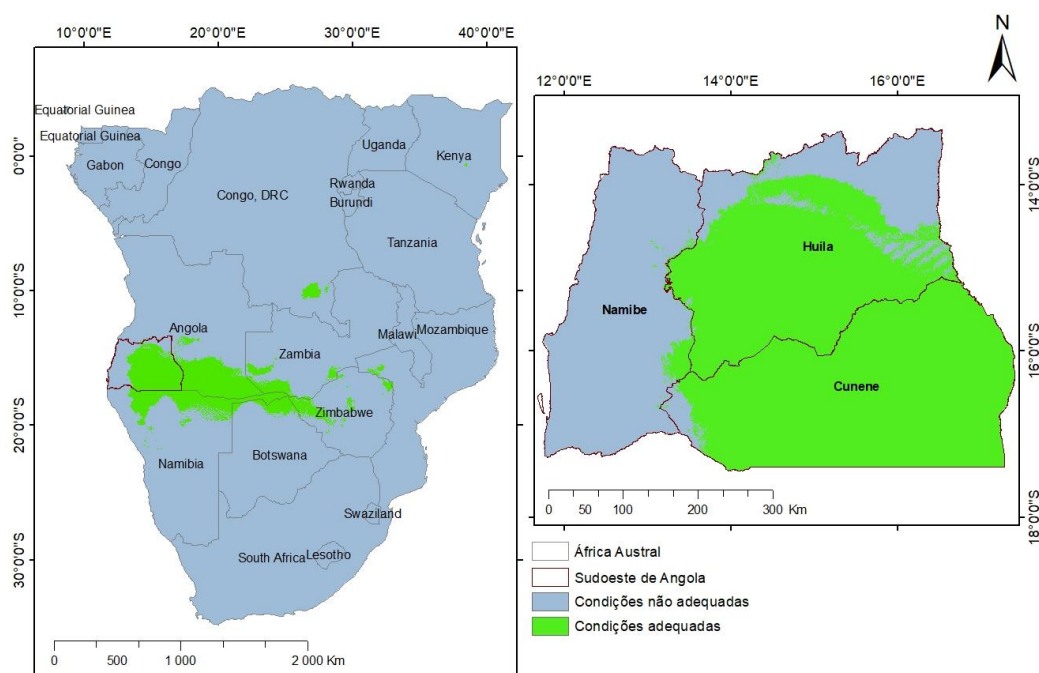


Figura 15. Distribuição potencial atual da *Baikiaea plurijuga* na África Austral e no Sudoeste de Angola.

### ***Colophospermum mopane***

Apesar de se detetar alguma diferença em termos de condições ambientais entre as sub-amostras utilizadas para calibração e validação do modelo, no geral há semelhanças evidentes entre as mesmas (Figura 16), o que reduz a probabilidade de se produzirem erros por haver diferenças significativas entre as duas sub-amostras. A média dos valores do AUC dos dados de treino e de teste gerada pelo modelo é de 0,947.

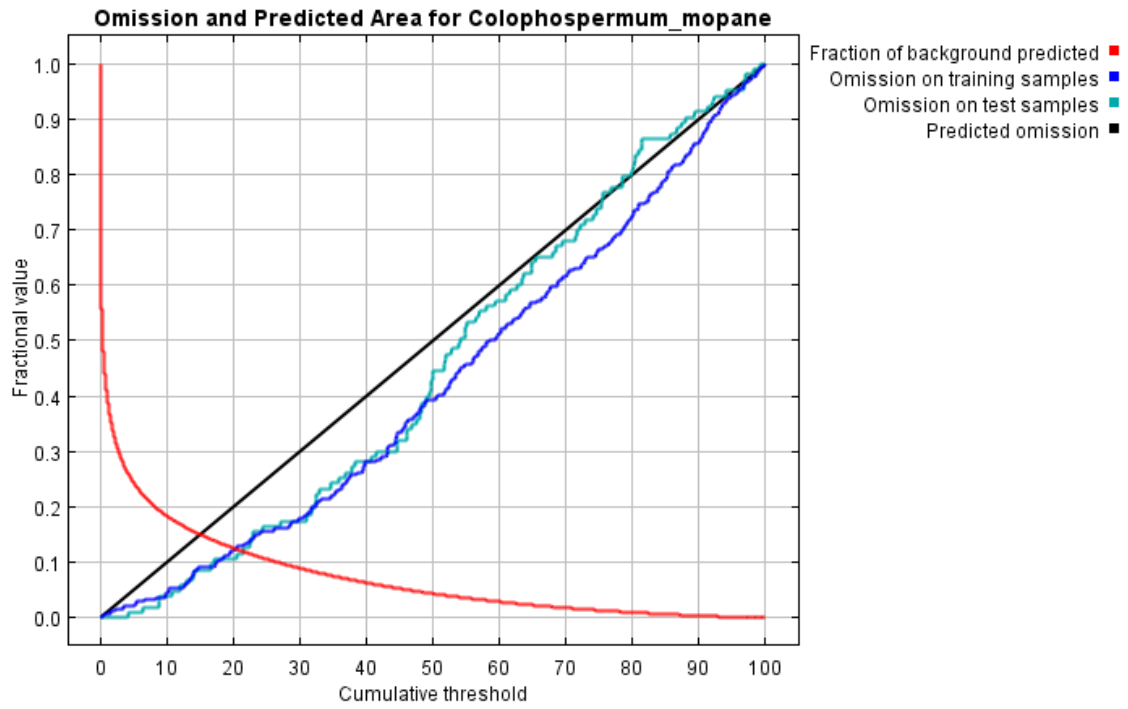


Figura 16. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie *Colophospermum mopane*.

Tal como se pode observar na Figura 17, as variáveis associadas à temperatura (Sazonalidade da temperatura-Bio4, Temperatura mínima do mês mais frio-Bio6 e temperatura média do trimestre mais húmido- Bio8) (Figura 17) apresentam maior potencial preditivo ao nível da distribuição potencial atual comparativamente à espécie *Baikiaea plurijuga* e *Brachystegia boehmii*. No entanto, o comportamento espacial dos valores de precipitação média anual (Bio12), são determinantes para se compreender o padrão de distribuição desta espécie.

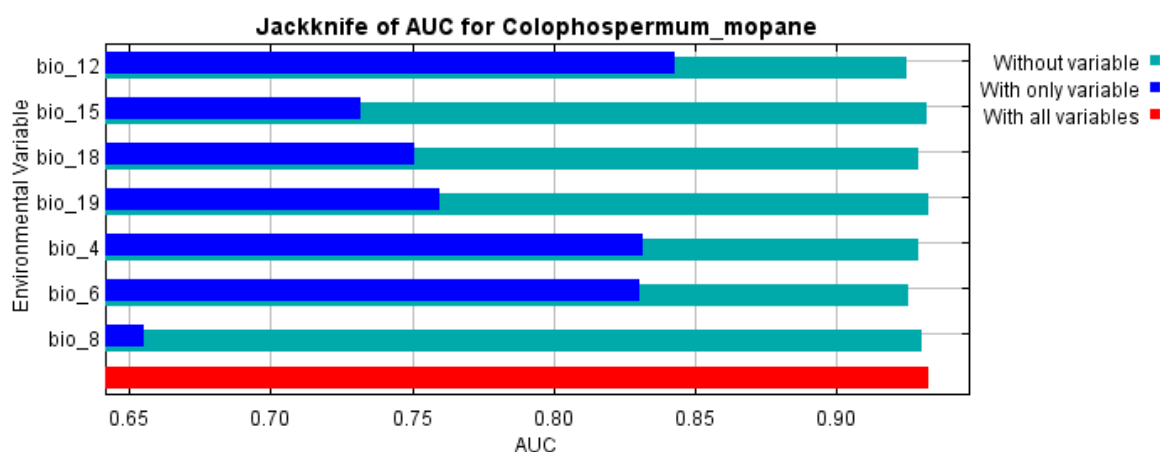


Figura 17. Teste do *Jackknife* para variáveis ambientais no caso do modelo da espécie *Colophospermum mopane*.

Com presença na África Austral, o *Colophospermum mopane* está associado a áreas mais secas e quentes (Figura 18), onde a média do trimestre mais húmido varia de 23-38°C (Bio8), com a temperatura mínima do mês mais frio a poder atingir aproximadamente 10°C (Bio6), mas com amplitude térmica média anual baixa (Bio7). Em relação à precipitação, ocorre em áreas cujos valores de precipitação média anual variam de 600-700 mm (Bio12), e o valor de precipitação do trimestre mais seco é inferior 300 mm (Bio18) o que se traduz numa escassez significativa de precipitação essencialmente no trimestre mais frio (Bio19).

Ao nível do Sudoeste de Angola, a espécie está distribuída no sentido noroeste-sul, nas regiões mais quentes e com escassez de precipitação, com uma média anual inferior a 700 mm, podendo ocupar áreas com condições semiáridas.

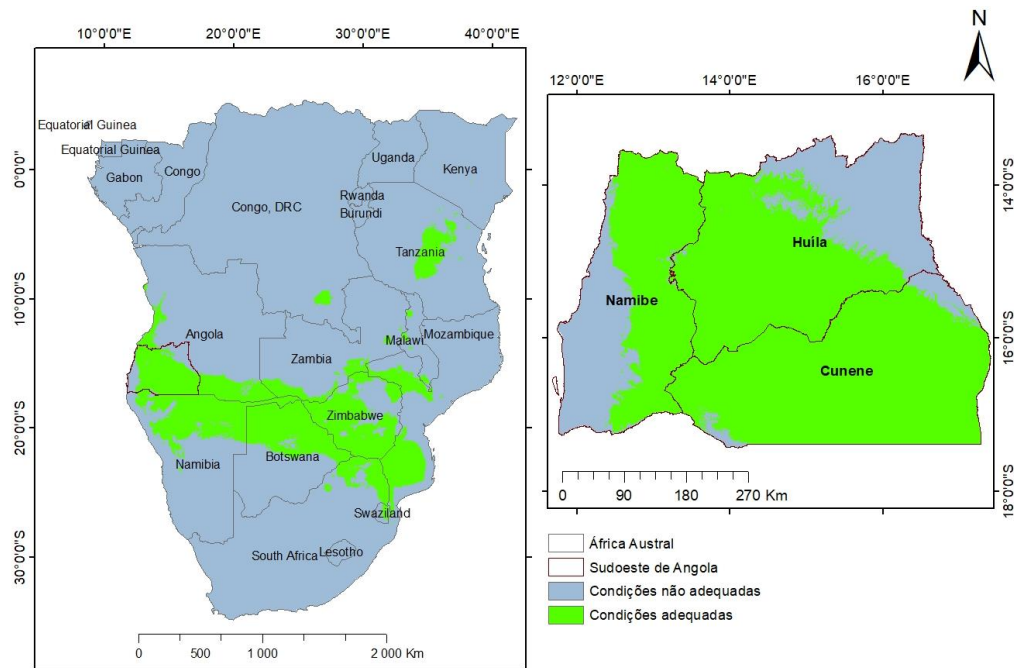


Figura 18. Distribuição potencial atual do *Colophospermum mopane* na África Austral e no Sudoeste de Angola.

### ***Terminalia prunioides***

Tal como nas restantes espécies, também no caso da *T. prunioides* se verifica a existência de condições semelhantes em termos ecológicos entre os dados de calibração e validação dos modelos (Figura 19). E em relação a medida estatística AUC, o modelo apresenta valores médios dos dados de teste e de validação de 0,950.

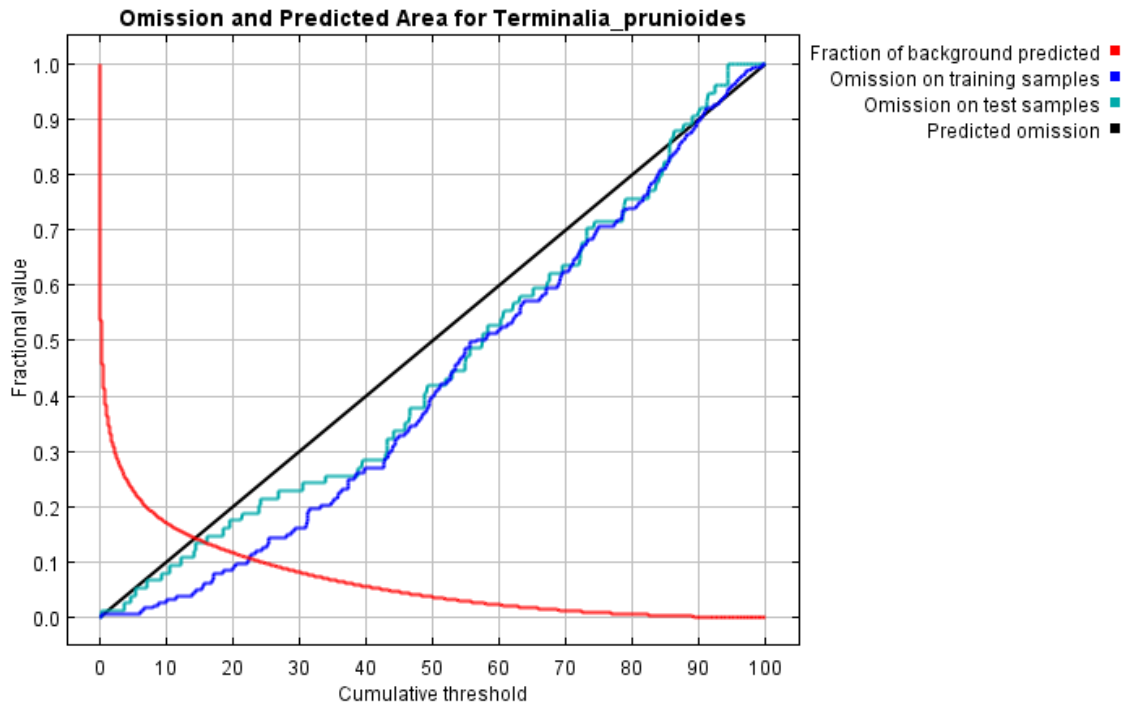


Figura 19. Taxa de omissão para o modelo produzido para a espécie *Terminalia prunioides*.

Em termos de calibração dos modelos, as variáveis que apresentam maior contribuição ao nível da distribuição potencial atual da *Terminalia prunioides* são: Sazonalidade da temperatura (Bio4), Temperatura média do trimestre mais húmido (Bio8), Precipitação do trimestre mais húmido (Bio16), Precipitação do trimestre mais seco (Bio18) e a precipitação do trimestre mais frio (Bio19) (Figura 20).

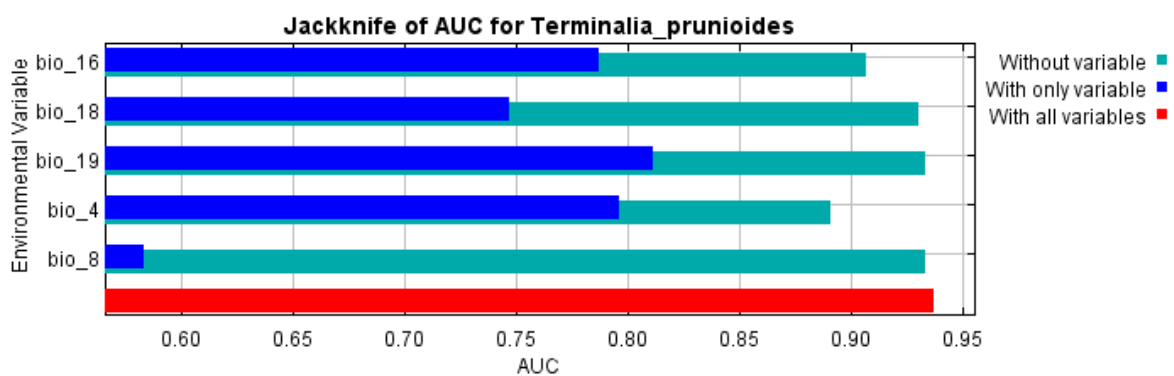


Figura 20. Teste de *Jackknife* da distribuição potencial atual da *Terminalia prunioides*.

A distribuição potencial atual da *Terminalia prunioides* (Figura 21), na África Austral está confinada às áreas onde a variação de temperatura não é significativa (Bio4), e com temperatura média do mês mais húmido com cerca

de 27°C (Bio8). Em relação à precipitação, esta espécie ocorre em áreas onde a precipitação no trimestre mais húmido é de cerca de 200 mm (Bio16), com uma variação significativa nos valores de precipitação no trimestre mais seco, variando de 200 a 1100 mm (Bio18) com valores de precipitação extremamente baixo no trimestre mais frio (Bio19).

No Sudoeste de Angola, ocorre precisamente em áreas onde se registam significativas variações de precipitação, com uma precipitação média anual que varia de 20 - 900 mm, com distribuição potencial no sentido nordeste-Sudoeste, com destaque para a faixa central.

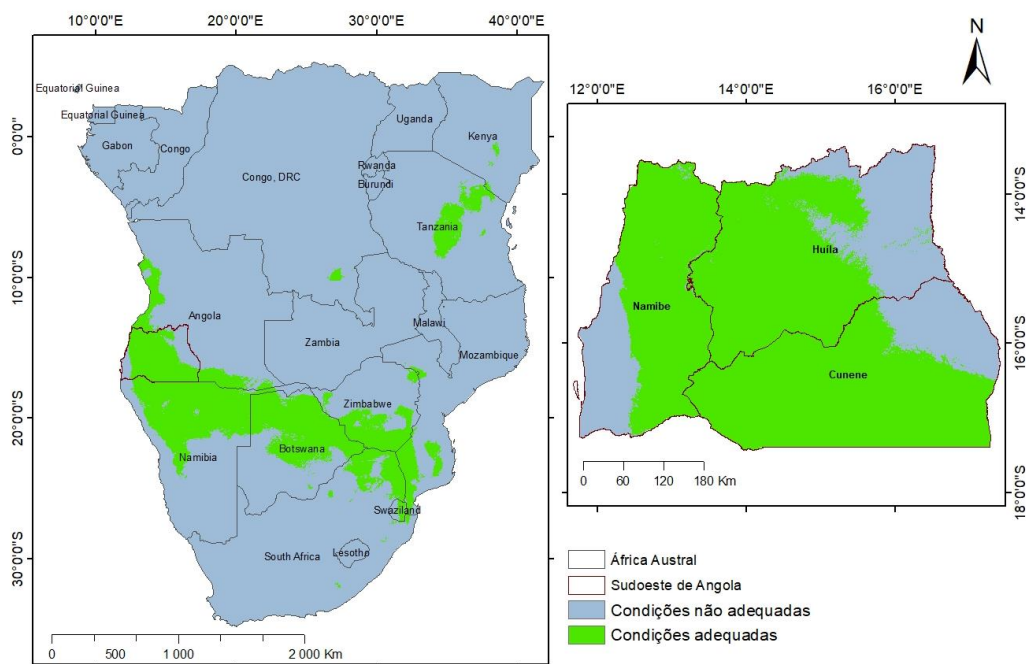


Figura 21. Distribuição potencial atual da *Terminalia prunioides* na África Austral e no Sudoeste de Angola.

#### 4.1.1 Alterações na distribuição em função dos cenários futuros

Os modelos de distribuição que se seguem traduzem os impactos das mudanças climáticas na distribuição das áreas com condições potenciais adequadas para ocorrência das espécies, considerando dois cenários climáticos futuros: RCP 4.5 e RCP 8.5.

## ***Brachystegia boehmii***

Em relação ao cenário 4.5, é evidente a existência de alterações espaciais, associadas a um ganho potencial de 47% (Figura 22) e uma perda de 30% de áreas com condições ecológicas adequadas para ocorrência da espécie ao nível da África Austral. Este resultado, que parece apontar para uma situação teórica de equilíbrio geral, tem, no entanto, reflexos importantes no caso do Sudoeste de Angola, onde os modelos preveem uma perda significativa de condições adequadas (Figura 23A). No Sudoeste de Angola, o modelo aponta para um ganho mínimo de 0,27% e uma perda significativa (18,87%), ainda que se mantenha cerca de 81,12% da área com condições adequadas atualmente (Figura 23B).

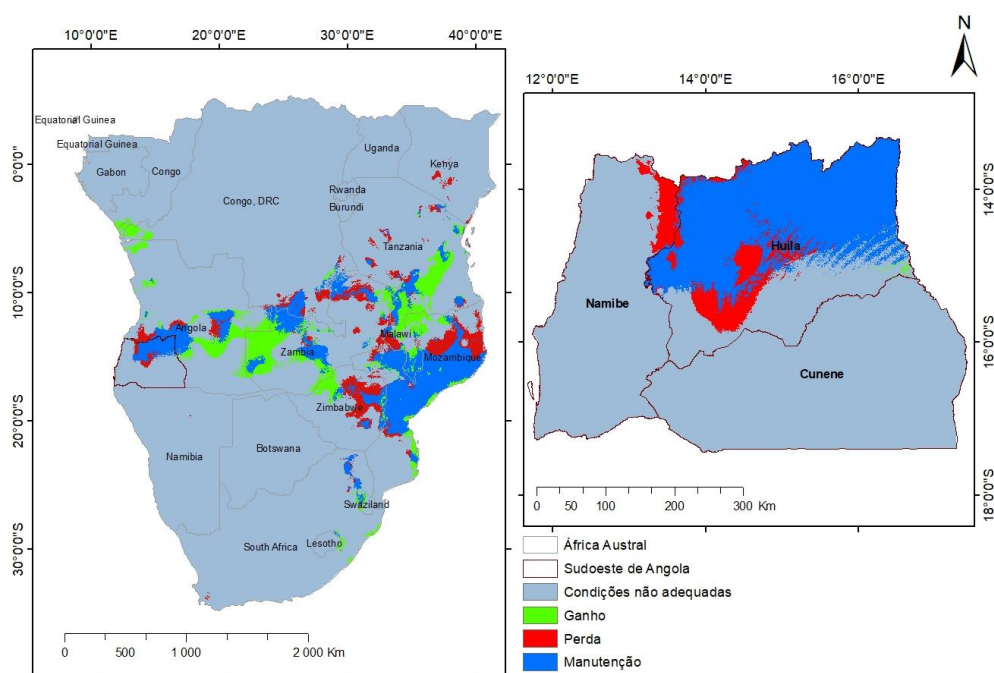


Figura 22. Variação da área de ocorrência potencial da *Brachystegia boehmii* na África Austral e no Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 4.5.

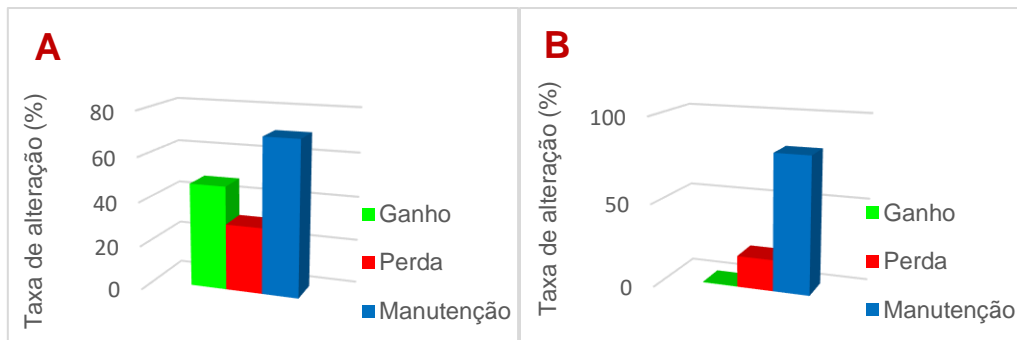


Figura 23. Alterações na área de distribuição potencial da *Brachystegia boehmii* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5.

Em relação ao cenário RCP 8.5, o modelo aponta para uma expansão de cerca de 121%, e apenas uma perda de 8,7% ao nível das condições ecológicas adequadas para a ocorrência da espécie, o que pressupõe uma manutenção de cerca de 91% tendo como referência a distribuição potencial atual (Figura 24 e 25A). O que se traduz, em termos gerais, num ganho significativo em relação à distribuição potencial atual na África Austral. Já no caso do Sudoeste de Angola, esse aumento não é tão expressivo (0,3%), sendo mesmo inferior à perda (11,3%), apresentando-se o Sudoeste de Angola como uma das regiões onde a perda de área potencial no âmbito do RCP 8.5 seja mais significativa (Figura 24 e 25B).

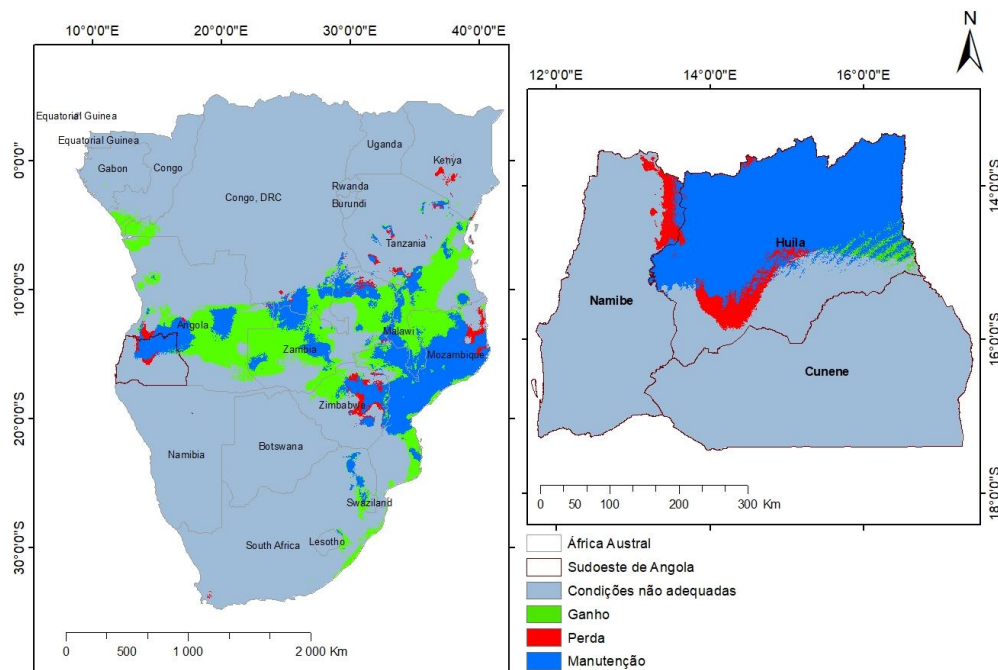


Figura 24. Alterações na área de ocorrência potencial da *Brachystegia boehmii* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 8.5.

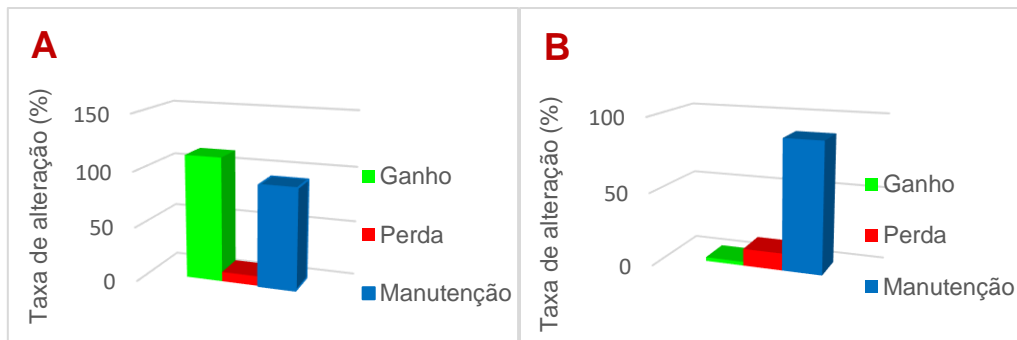


Figura 25. Alterações na área de distribuição potencial da *Brachystegia boehmii* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 8.5.

### ***Baikiaea plurijuga***

No caso da *B. plurijuga*, os modelos projetados para os dois cenários climáticos futuros apontam para algum equilíbrio entre a perda e o ganho em área potencial, o que também aponta para alguma transferência espacial das áreas adequadas, um padrão determinado pelas projeções climáticas (Figura 26). No caso do cenário RCP 4.5, os resultados apontam para um ganho de 12,66% e uma perda de 18,46% das áreas com condições ecológicas adequadas, pressupondo uma manutenção de cerca de 81,54% da área potencial atual na África Austral (Figura 27A). Já no caso do Sudoeste de Angola, é evidente uma perda significativa (12,33%), tendo em conta que o ganho previsto é mínimo (0,27%). No entanto, cerca de 87,67% da área potencial atual manter-se-á adequada (Figura 27 B).

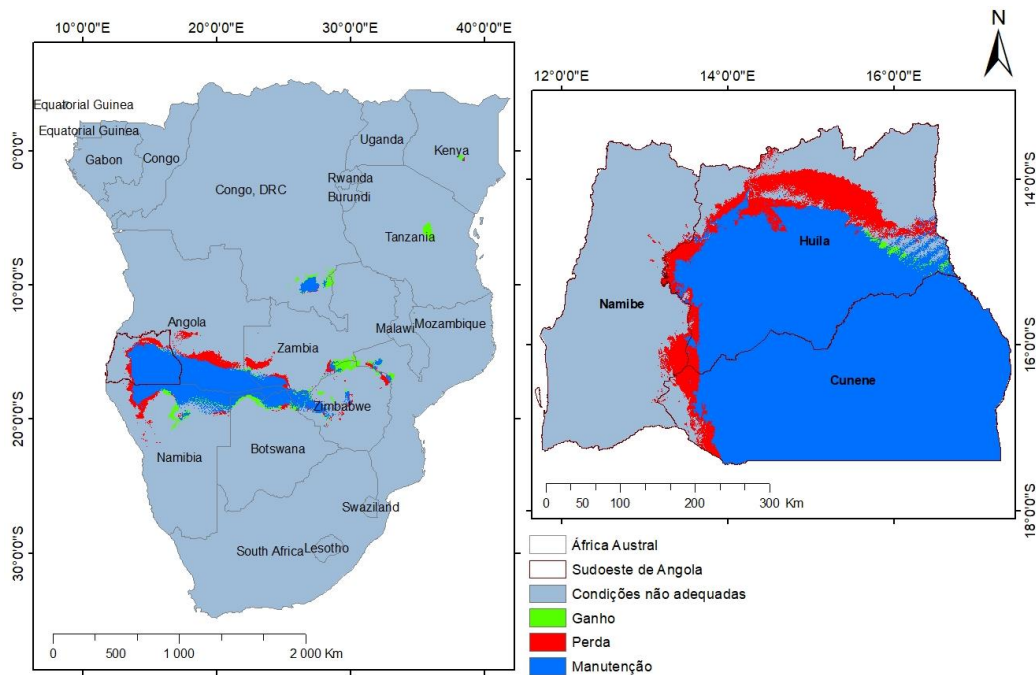


Figura 26. Alterações na área de ocorrência potencial da *Baikiaea plurijuga* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 4.5.



Figura 27. Alterações na área de distribuição potencial da *Baikiaea plurijuga* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5.

Considerando o cenário RCP 8.5, os resultados do modelo indicam aumento esperado de 9,40% na área de ocorrência potencial e uma diminuição de cerca de 27,94% da área com condições ecológicas adequadas ao nível da África Austral, o que representa uma perda significativa, a par da manutenção de área adequada de 72,06%, tendo como referência a distribuição potencial atual (Figura 28 e 29A). Esta previsão de perda de área potencial adequada identifica-se também no caso do Sudoeste de Angola, onde ao reduzido ganho previsto (0,36%) se impõe uma diminuição de 12,33%, sendo que cerca de 87,66% da área potencial atual se manterá como adequada (Figura 28 e 29B).

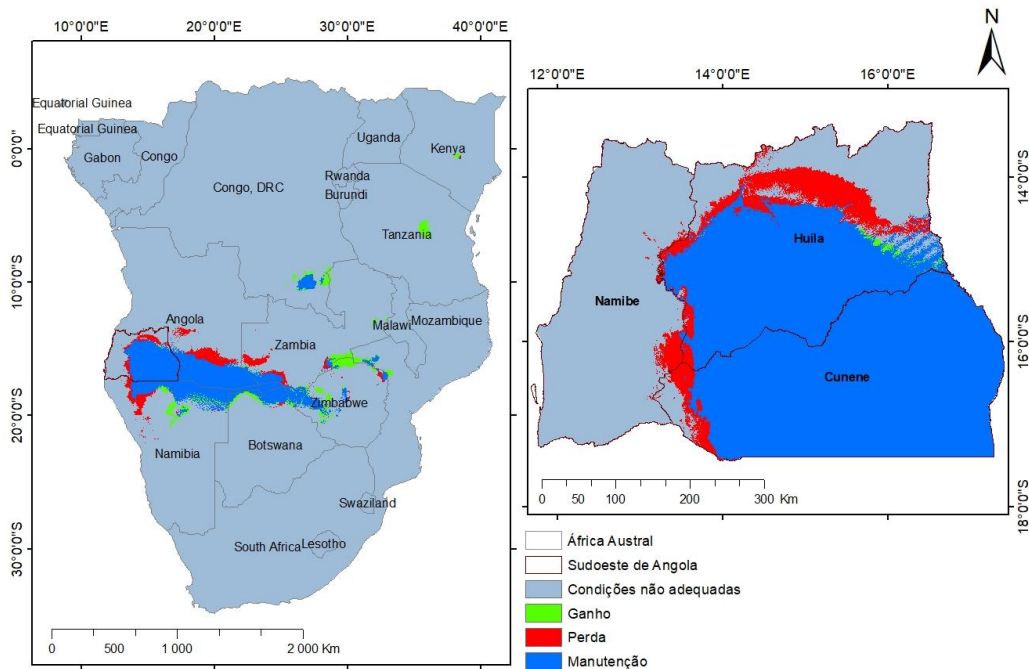


Figura 28. Variação da área de ocorrência potencial da *Baikiaea plurijuga* na África Austral e no Sudoeste de Angola segundo cenário RCP 8.5.



Figura 29. Alterações na área de distribuição potencial da *Baikiaea plurijuga* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 8.5.

### ***Terminalia prunioides***

Considerando o cenário RCP 4.5, os resultados apontam para aumento da área com condições ecológicas adequadas na ordem dos 32,99%, e uma perda mínima de cerca de 5,16%, o que indica que cerca de 95 % da área potencial atual se mantém na África Austral (Figura 30 e 31A). Já no caso do Sudoeste de Angola o modelo aponta para uma situação de transferência, pois a um ganho de 11,65% e opõe-se uma perda de 14,72%, o que pressupõe uma manutenção de 85,27% de áreas adequadas no Sudoeste de Angola (Figura

30 e 31B). Neste caso é evidente que a perda de área potencial está muito claramente associada ao Sudoeste de Angola.

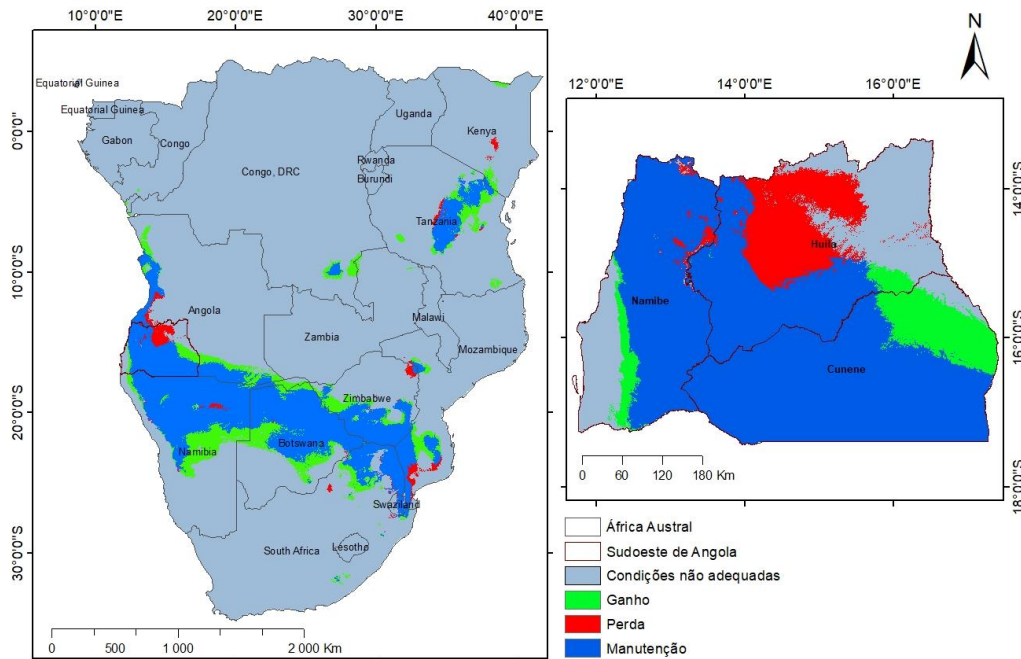


Figura 30. Variação da área de ocorrência potencial da *Terminalia prunioides* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário RCP 4.5.

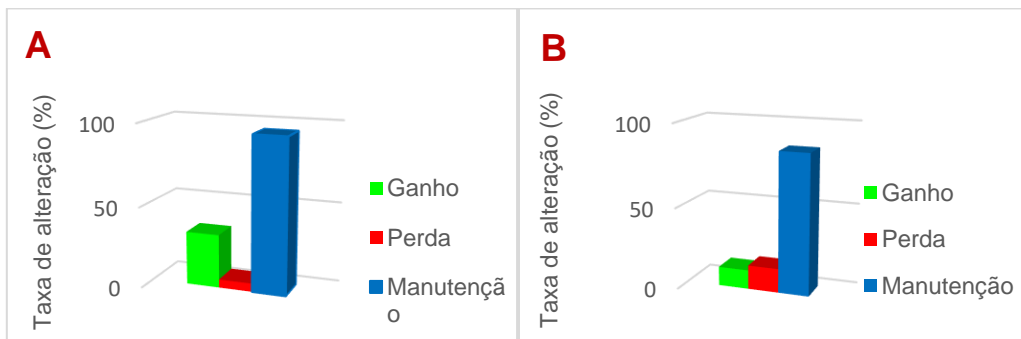


Figura 31. Alterações na área de distribuição potencial da *Terminalia prunioides* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário RCP 4.5.

No caso do Sudoeste de Angola os resultados para o cenário RCP 8.5 são muito idênticos aos do cenário RCP 4.5, apresentando também para um padrão semelhante em termos espaciais. Os resultados apontam para um aumento de 15,76% e uma diminuição de 13,84% da área com condições de ocorrência adequadas, sendo que cerca de 86,15% da área manter-se-á com condições adequadas à ocorrência (Figura 32 e 33B). Tal como tem sido verificado nos resultados obtidos para as espécies já analisadas os resultados

apontam para um balanço distinto no caso da distribuição na África Austral. Aqui, os resultados apontam para uma expansão de 30,92% e uma perda mínima de 6,46%, o que se traduz na manutenção de condições adequadas em 93,53% da área com condições adequadas na atualidade na África Austral (Figura 32 e 33A).

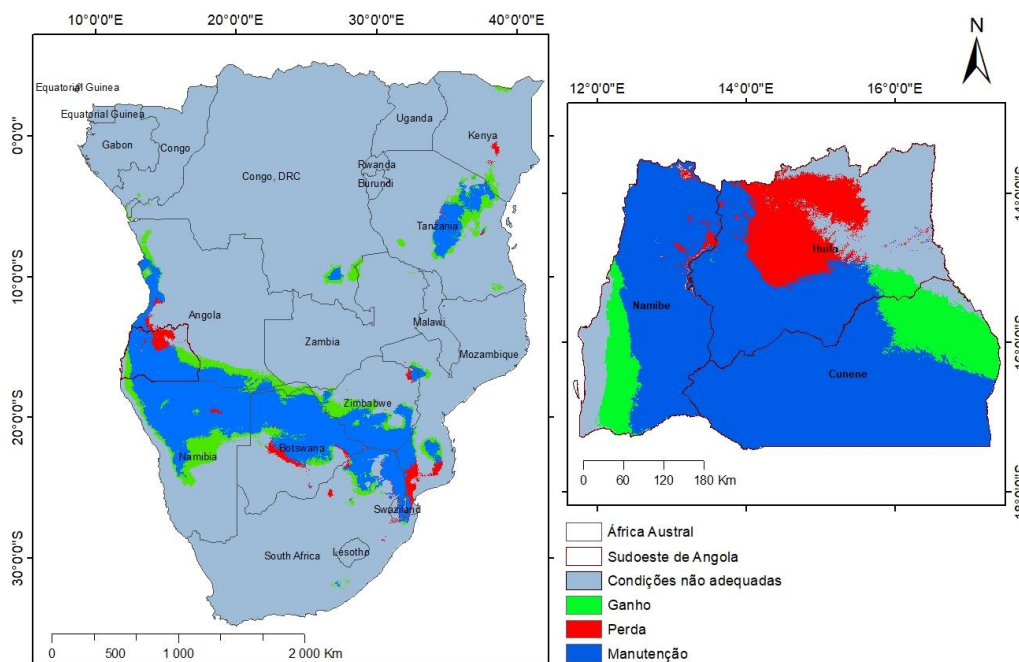


Figura 32. Variação da área de ocorrência potencial da *Terminalia prunioides* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 8.5.

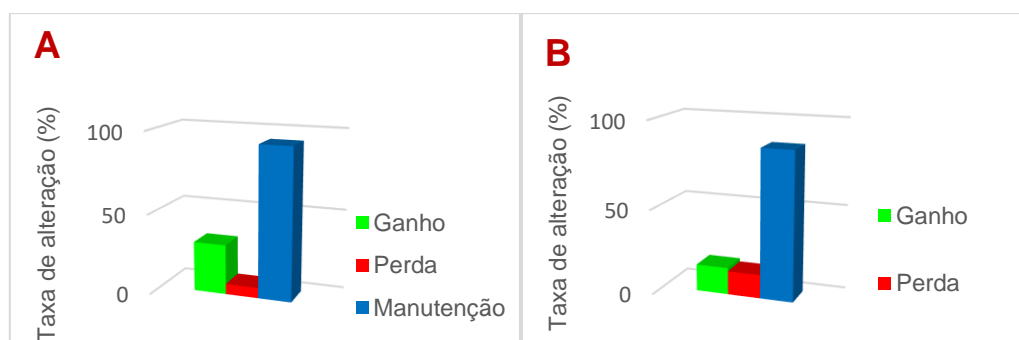


Figura 33. Alterações na área de distribuição potencial da *Terminalia prunioides* na África Austral (A) e Sudoeste de Angola (B) segundo Cenário 8.5.

### ***Colophospermum mopane***

A diferença em termos de balanço de impactes considerando as duas escalas de distribuição é ainda mais evidente no caso do *C. mopane*. No caso desta espécie, e considerando o cenário RCP 4.5, os resultados apontam para

uma expansão da área com condições ecológicas adequadas em cerca de 33,40% e uma redução mínima de 2,09%, a par de uma manutenção de cerca de 97,90% em relação à distribuição potencial atual (Figura 34 e 35A) na África Austral. No caso do Sudoeste de Angola, um aumento de 4,98% é confrontado com uma perda de cerca de 9,49%. Neste caso, a perda de área adequada concentra-se quase totalmente no Sudoeste de Angola (Figura 34 e 35B).

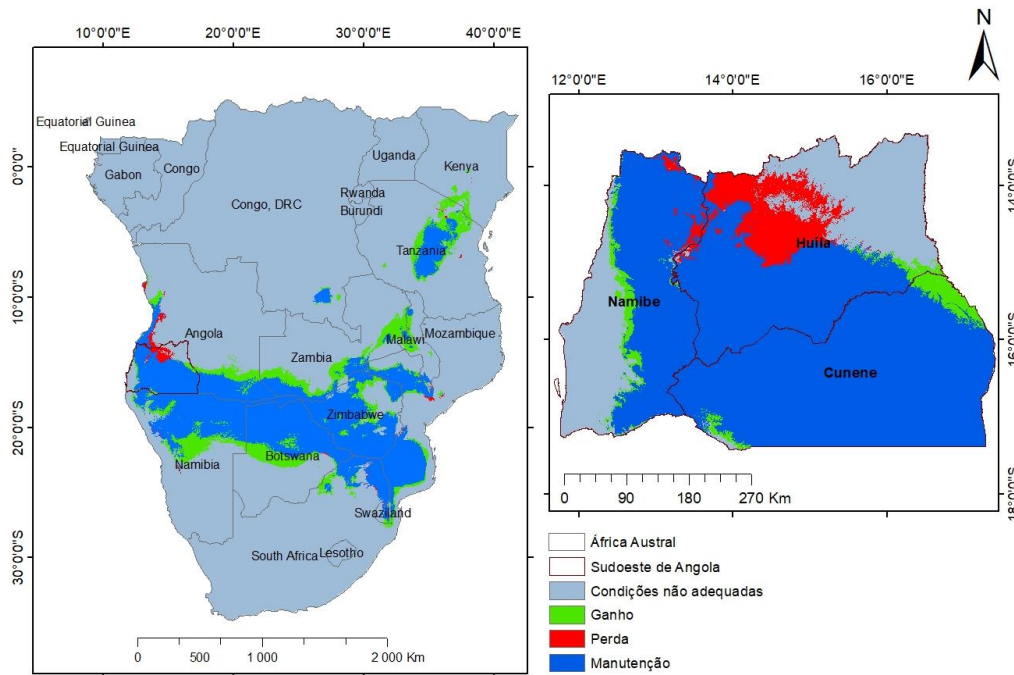


Figura 34. Variação da área de ocorrência potencial do *Colophospermum mopane* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 4.5.

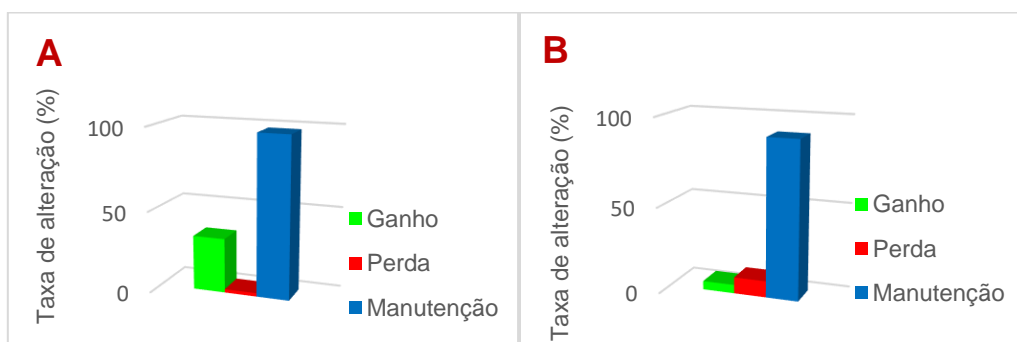


Figura 35. Alterações na área de distribuição potencial do *Colophospermum mopane* na África Austral (A) e Sudoeste de Angola (B) segundo Cenário 4.5.

No âmbito do cenário RCP 8.5 prevê-se um reforço da perda de área adequada no Sudoeste de Angola, uma vez que o aumento em área adequada para a espécie de 3,41% é suplantado por uma perda prevista de 13,01%

(Figura 37 e 38B). Já no caso da África Austral, o ganho previsto de 23,09% é significativamente superior a uma perda prevista de 3,72% de áreas com condições adequadas para ocorrência da espécie, o que traduz num aumento efetivo da área potencial na África Austral (Figura 36 e 37A).

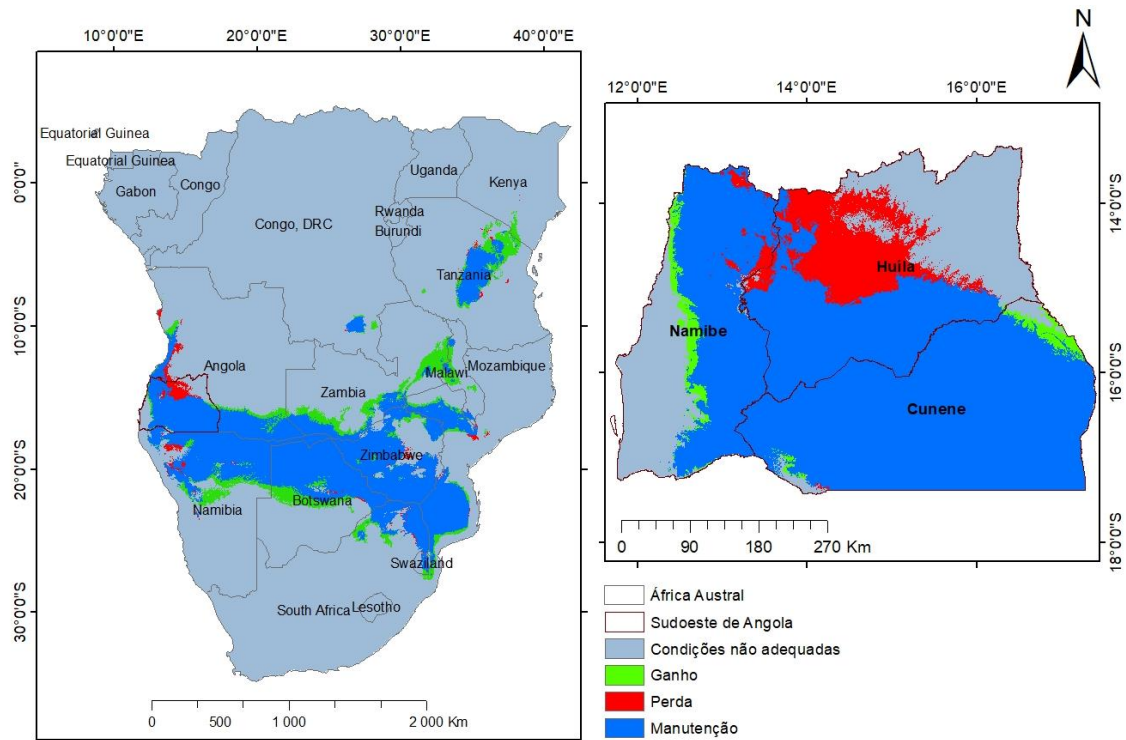


Figura 36. Variação da área de ocorrência potencial do *Colophospermum mopane* na África Austral e Sudoeste de Angola segundo Cenário 8.5.

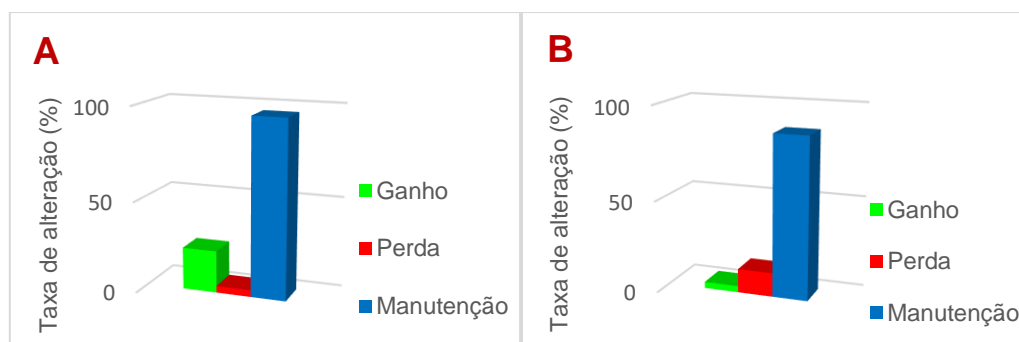


Figura 37. Alterações na área de distribuição potencial de *Colophospermum mopane* na África Austral (A) e no Sudoeste de Angola (B) segundo cenário 8.5.

## 4.2 Discussão dos resultados

Os modelos de distribuição futura das espécies estudadas, sob cenários de mudanças climáticas demonstram alterações significativas na distribuição de áreas com condições ecológicas adequadas para ocorrência destas espécies na África Austral. Previsões de alteração que assumem especial significado no Sudoeste de Angola, ainda que os resultados sejam diferentes segundo os cenários considerados (RCP 4.5 e RCP 8.5), e em função das condições ecológicas associadas à cada espécie. Tendo em conta que se trata de espécies de distintos ambientes ecológicos (*dos mais húmidos aos mais secos*).

De acordo com os resultados obtidos para África Austral, os modelos climáticos para as espécies *Brachystegia boehmii*, *Terminalia prunioides* e *Colophospermum mopane*, apontam para uma expansão considerável da sua área de ocorrência, com as condições ecológicas adequadas nos dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5), onde a maior expansão regista-se no cenário climático pessimista (RCP 8.5). Esta expansão é expressiva na região leste de Angola prolongando-se até Zâmbia e Tanzânia, onde o ganho sobrepõe-se às perdas de áreas com condições adequadas. Este ganho é particularmente significativo para a *Brachystegia boehmii* sob o cenário RCP 8.5, onde a área predita pelo modelo é maior (112%) em relação à distribuição potencial atual da espécie. O que traduz um impacto positivo em termos de áreas preditas com condições ecológicas adequadas. Esta tendência contrapõe os resultados obtidos por Jinga & Ashley, (2019) em que aponta para uma perda considerável da área de distribuição da *Brachystegia boehmii* no cenário RCP 8.5 na África Subsariana.

Uma das causas que se pode associar esta divergência, possivelmente esteja relacionado às diversas variáveis usadas para produção dos modelos. Jinga & Ashley, (2019) além das variáveis ambientais, também fez recurso para a outras variáveis como, as edáficas e topográficas, que seguramente tiveram alguma influência nos resultados obtidos.

Em relação à *Baikiaea plurijuga*, os modelos indicam que a perda é superior em relação ao ganho de área ecologicamente adequada nos dois cenários, 14% para o RCP 4.5 e 9% para o RCP 8.5. Esta contração é significativa principalmente em território angolano.

Os modelos preditivos referentes ao Sudoeste de Angola apontam de forma geral para uma perda acentuada da área adequada para ocorrência das espécies nos dois cenários.

Para a *Brachystegia boehmii*, os modelos preveem uma perda significativa na faixa meridional e ocidental, com um ganho insignificante de apenas 2%, traduzindo assim fortes impactos negativos em relação às mudanças climáticas futuras.

Esta perda está associada à diminuição dos valores de precipitação e aumento das temperaturas preditas para a região Austral de África (Ngoma *et al.*, 2017), uma vez que a taxa de manutenção se regista apenas na faixa com elevados valores de precipitação. Esta tendência indica claramente, ser uma espécie de ambientes húmidos (miombo húmido) (Jinga & Ashley, 2019). Em relação a *Baikiaea plurijuga*, prevê-se perda significativa no extremo ocidental e setentrional, precisamente no norte da província da Huíla e no limite oriental entre as três províncias que englobam a área de estudo. Sendo uma espécie de savanas secas das areias do Kalahari, onde os valores de precipitação são <1000 mm, esta contração está provavelmente ligada à diminuição de precipitação e o aumento das temperaturas segundo projeções do IPCC para esta região (Ngoma *et al.*, 2017; Cauwer *et al.*, 2016). Quanto ao *Colophospermum mopane* e *T. prunioides* os resultados indicam uma certa semelhança em termos de alterações preditas por apresentarem características ecológicas semelhantes. Onde os modelos apontam para uma perda acentuada nos dois cenários (RCP 4.5 e RCP 8.5) na faixa setentrional e uma expansão mínima nos extremos orientais e ocidentais.

Esta perda de áreas preditas pelos modelos ocorre nas zonas onde as precipitações são >1000 mm, pressupondo que esta contração se relaciona com os altos valores de precipitação preditas para esta região do SW de Angola. Tendo em conta que a probabilidade de ocorrência diminui em áreas onde a precipitação do trimestre mais chuvoso é > 400 mm e a temperatura inferior a 5°C no mês mais frio (Stevens *et al.*, 2014). O *C. mopane* tem como fator limitante à sua ocorrência as baixas temperaturas e os altos valores de precipitação, visto que o alto grau de humidade no solo reduz a probabilidade de persistência da espécie através do aumento de gramíneas e herbáceas, que ampliam a probabilidade de ocorrência e propagação de

incêndios, sendo que estas espécies não resistem às queimadas constantes, principalmente o *C. mopane* (Stevens *et al.*, 2014).

A contração das áreas adequadas previstas para o SW de Angola, podem estar associada à sua situação geográfica, (árida e semiárida), onde as projeções climáticas preveem significativas mudanças nos valores de temperatura e precipitação e intensidade do uso e ocupação da terra, que vai alterando significativamente os padrões de distribuição e o comportamento da precipitação (Carvalho, Santos, & Pulquério, 2017) nesta região de Angola. Entretanto, esta tendência é reforçada por uma combinação de perturbações de natureza antrópica (exploração de madeira, carvão vegetal, fogo, sobrepastoreio e herbivoria), que altera a estrutura e o tipo de vegetação vegetal impulsionados pelo elevado crescimento demográfico dos países africanos (Deweese *et al.*, 2010; Moura *et al.*, 2017; Nsubuga, 2019). Este fator constitui assim, as maiores causas de perda dos ecossistemas em África em geral e no Sudoeste angolano em particular, acelerando desta forma a fragmentação, tornando-os mais vulneráveis às mudanças climáticas (Mayaux *et al.*, 2013).

A suscetibilidade do Sudoeste de Angola, em relação aos efeitos das mudanças climáticas das quatro espécies, varia de acordo com as condições ecológicas de cada espécie. Sendo assim, o extremo setentrional apresenta maior suscetibilidade para perda de área adequada ao *C. mopane* e a *Terminalia prunioides*. Quanto à *Baikiaea plurijuga* a área que regista maior suscetibilidade é a faixa setentrional e ocidental. Ao passo que para a *Brachystegia boehmii*, a maior suscetibilidade regista-se na região meridional e ocidental.

#### **4.2.1 Espécies mais suscetíveis às alterações climáticas**

A suscetibilidade das espécies às alterações climáticas foi estimada de acordo com a taxa de contração prevista pelos modelos em cada espécie em detrimento da taxa de ganho.

De acordo com os resultados obtidos, pode-se inferir que em relação África Austral, nota-se claramente uma baixa suscetibilidade das espécies face às mudanças climáticas, uma vez que as áreas com condições ecológicas

adequadas apresentam taxas de expansão maior que a taxa de contração, o que traduz uma suscetibilidade baixa. Para o Sudoeste de Angola, o cenário é completamente diferente, tendo em conta que a perda de áreas com condições ecológicas adequadas para ocorrência das espécies previstas pelos modelos é maior em relação a taxa de expansão, o que traduz uma alta suscetibilidade da área de estudo em relação ocorrência das espécies face o fenómeno de mudanças climáticas nos dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5). Esta perda é maior no cenário RCP 4.5 para as espécies *Brachystegia boehmii* (18,9%), *Baikiaea plurijuga* (12,33%), *Terminalia prunioides* (14,7%). Para o *Colophospermum mopane*, a perda é maior no cenário RCP 8.5 (13%) em detrimento perda que se regista no cenário RCP 4.5 (9,5%). Entretanto, estes resultados refletem uma alta suscetibilidade em relação a *Brachystegia boehmii*, *Baikiaea plurijuga* e *Colophospermum mopane* às alterações climáticas nesta região de Angola.

Entretanto, as espécies que revelam maior suscetibilidade em relação às mudanças climáticas são: *Brachystegia boehmii*, *Baikiaea plurijuga* e *Colophospermum mopane*.

## Conclusões

A opção metodológica de se usar duas escalas para a produção dos modelos, está relacionado à falta de dados climáticos à escala nacional e regional, a resolução das mesmas e a dificuldade na definição dos limites da área a modelar, evitando assim situações de enviesamentos, que de alguma forma teriam influências nos resultados. Tendo em conta que em modelação não se pode restringir a capacidade de expansão da área de ocorrência das espécies.

Entretanto, optou-se por recorrer às variáveis ambientais disponíveis no *worldclim*, tendo sido optado neste trabalho por variáveis com resolução mais fina (1km-30 segundos de arco), que permitiu modelar a escala regional (África Austral), ainda que os resultados tivessem maior foco ao Sudoeste de Angola (*downscaling*), o que permitiu obter resultados interessantes que nos levaram a concluir o seguinte:

- Os modelos produzidos apresentam boa capacidade de desempenho, tendo como referência os valores de AUC (de treino e de validação) que se encontram próximo de 1, traduzindo uma certa robustez e elevado grau de precisão;
- A temperatura e a precipitação demonstraram ser os principais fatores responsáveis pela distribuição das espécies, o que nos leva a afirmar que se trata de um modelo de distribuição climático;
- Os modelos traduzem impactes potenciais positivos para a região Austral de África e negativos para o Sudoeste de Angola em relação às mudanças climáticas;
- Traduzem uma alta suscetibilidade das espécies em relação às mudanças climáticas nesta região de Angola, tendo em conta a taxa de perda acentuada da área adequadas prevista pelos modelos.

Os modelos produzidos constituem verdadeiros instrumentos de gestão da biodiversidade, pois dão indicações sobre as áreas que poderão tornar-se potencialmente favoráveis à colonização pelos taxa estudados.

Por último deve referir-se que o aumento das áreas potenciais de distribuição evidenciados para a maioria das espécies analisadas, na África

Austral, estão dependentes, na realidade, do posicionamento das comunidades humanas e das suas atividades e construções, neste território, que em geral são apontadas como um dos principais entraves aos movimentos dos *taxa*, para ocupar novos territórios. Deve o planeamento e ordenamento do território prever condições favoráveis para que estes movimentos possam efetivar-se na prática, pois caso contrário, o referido aumento da área potencial de distribuição poderá apenas ficar como potencial e nunca se cumprir na prática devido ao impacto antrópico que poderá colocar enormes entraves a essas movimentações das espécies. Desta forma podemos dizer que as alterações climáticas vão-se manifestar numa movimentação das populações na procura de novos territórios que, entretanto, se tornaram favoráveis à sua expansão. Contudo este processo estará muito dependente da facilitação que o homem conseguir implementar no terreno, para que as movimentações possam processar-se. Tudo indica que este último aspeto poderá ser o crucial e com o aumento das atividades económicas previstas, das alterações de ocupação e uso do solo, do aumento populacional, ocupando mais território, prevê-se que estes movimentos possam ser extremamente dificultados levando à fragmentação das populações e colocando espécies à beira da extinção.

## Referências bibliográficas

- Alcamo, J., Schaldach, R., Koch, J., Kölling, C., Lapola, D., & Priess, J. (2011). Evaluation of an integrated land use change model including a scenario analysis of land use change for continental Africa. *Environmental Modelling and Software*, 26(8), 1017–1027. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.03.002>.
- Alcoforado, M. J., Andrade, H., Oliveira, S., Festas, M. J., & Rosa, F. (2009). Alterações climáticas e desenvolvimento urbano. DGOTDU-Política de Cidades Polis XXI. Lisboa: Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano Campo Grande, 50, 1749-014 Lisboa. Retrieved from [www.dgotdu.pt](http://www.dgotdu.pt) • [dgotdu@dgotdu.pt](mailto:dgotdu@dgotdu.pt).
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A. M., Angel, S., Parent, J., & Blei, A. M. (2011). *Making Room for a Planet of Cities*. Cambridge. Retrieved from [https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/making-room-for-a-planet-of-cities-full\\_0.pdf](https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/making-room-for-a-planet-of-cities-full_0.pdf).
- Araújo, M. B., & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677–1688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x>.
- Barbosa, G. (1970). Carta fitogeográfica de Angola (Fac-simila). Luanda, Angola: Associação de Ensino Superior em Ciências Agrárias dos Países de Língua Portuguesa (ASSESCA-PLP) Associação das Universidades de Língua Portuguesa (AULP).
- Bernardino, M., & Santo, F. E. (2015). Identificação de metodologias para a definição de cenários climáticos no contexto das alterações climáticas no sector do turismo. IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera, v0(2015-08–19), 1–12. Retrieved from <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj2lenk0aTnAhVM4eAKHRTeBV0QFjAAegQIAx>

AB&url=http%3A%2F%2Fadapt-act.lnec.pt%2Fpdfs%2FAdaPT\_ACT-  
Task1-02-  
Estado\_da\_arte\_cen%25C3%25A1rios\_clima\_v00.pdf&usg=AOvVaw07m  
Guri.

Bhattarai, U. (2017). Impacts of Climate Change on Biodiversity and Ecosystem Services: Direction for Future Research. *Hydro Nepal: Journal of Water, Energy and Environment*, 20, 41–48. <https://doi.org/10.3126/hn.v20i0.16488>.

Borrego, C., Ribeiro, I., & Miranda, A. I. (2010). As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. *Revista Captar: Ciência e Ambiente Para Todos*, 2(2), 1–16.

Burgess, N., Dinerstein, E., Olson, D., & Schipper, J. (2004). Terrestrial ecoregions of Africa and Madagascar: a conservation assessment. *ResearchGate*, (September 2016), 501. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>.

Busby, J. R. (1991). Bioclim, a Bioclimatic Analysis and Prediction System. In: Margules, C.R. and Austin, M.P. *Nature Conservation: Cost Effective Biological Surveys and Data Analysis*, CSIRO, Canberra, 64–68. Retrieved from [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1194990](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1194990).

Cardoso, J. F. (2015). Estudo geobotânico do sudoeste angolano desde a Tundavala ao Tombua. Tese apresentada para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Agrónoma. Universidade de Lisboa.

Cardoso, J., Fonseca, J. P., Neto, C., Aguiar, C., Bioret, F., & Costa, J. C. (2019). Contribuição para o conhecimento das comunidades vegetais de *Welwitschia mirabilis* (*Welwitschiaceae*, Gnetophyta) do deserto do Namibe (Angola). *Revista Internacional Em Língua Portuguesa*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.31492/2184-2043,RILP2018.35>.

Carvalho, S. C. P., Santos, F. D., & Pulquério, M. (2017). Climate change scenarios for Angola: an analysis of precipitation and temperature projections using four RCMs. *International journal of climatology*, 34(12)(November 2016), 3398–3412. <https://doi.org/10.1002/joc.4925>.

Cauwer, V. De, Geldenhuys, C. J., Aerts, R., Kabajani, M., & Muys, B. (2016). Patterns of forest composition and their long term environmental drivers in the tropical dry forest transition zone of southern Africa. *Forest Ecosystems*, (September), 2–12. <https://doi.org/10.1186/s40663-016-0080-9>.

Chalghaf, B., Chemkhi, J., Mayala, B., Harrabi, M., Benie, G. B., Michael, E., & Ben Salah, A. (2018). Ecological niche modeling predicting the potential distribution of Leishmania vectors in the Mediterranean basin: Impact of climate change. *Parasites and Vectors*, 11(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3019-x>.

Chirwa, P., Syampungani, S., & Geldenhuys, C. J. (2009). The ecology and management of the Miombo woodlands for sustainable livelihoods in southern Africa: The case for non-timber forest products The ecology and management of the Miombo woodlands for sustainable livelihoods in southern Africa: the case for no. *Southern Forests*, (November). <https://doi.org/10.2989/SF.2008.70.3.7.668>.

Chisingui, A. V. (2017). Análise da paisagem e das alterações de uso/ ocupação do solo no Lubango e arredores. Tese apresentada à Universidade de Évora para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente. Universidade de Évora.

Costa, T. da C. B. A. da. (2006). Alterações Climáticas e Biodiversidade: Avaliação da Vulnerabilidade e Medidas de Adaptação para a Herpetofauna Portuguesa. Mestrado em Ecologia e Gestão Ambiental.

Universidade de Lisboa. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/705/1/89>.

Costa, M. A. S. de M. (2010). Efeitos das mudanças climáticas na distribuição geográfica de *Thamnophilidae* endêmicos da Mata Atlântica, baseado em modelagem de nichos ecológicos. *Teses e Dissertações*, 255.

David Goyder, & Gonçalves, F. M. P. (2019). Flora, vegetação e mudança na paisagem. In *Biodiversidade de Angola* (1ª).

Deweese, P. A. (1994). Social and economical aspects of Miombo woodland management in Southern Africa: options and opportunities for research. Retrieved from <https://hdl.handle.net/10568/17616>.

Deweese, Peter A., Campbell, B. M., Katerere, Y., Siteo, A., Cunningham, A. B., Angelsen, A., & Wunder, S. (2010). Managing the miombo woodlands of Southern Africa: Policies, incentives and options for the rural poor. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 2(1), 57–73. <https://doi.org/10.1080/19390450903350846>.

Dike, V. N., Shimizu, H., Diallo, M., Lin, Z., Nwofor, O. K., & Chinekea, C. (2015). Modelling present and future African climate using CMIP5 scenarios in HadGEM2-ES. *Royal Meteorological Society*, (November 2017). <https://doi.org/10.1002/joc.4084>.

Diniz, C. (1973). Características mesológicas de Angola. Descrição e correlação dos aspectos fisiográficos dos solos e da vegetação das zonas agrícolas angolana. (Missão de). Nova Lisboa.

Diniz, C. (1991). Angola o Meio Físico e Potencialidades Agrárias. Lisboa: Ministério dos Negócios Estrangeiros. Lisboa: Ministério dos Negócios Estrangeiros: Ministério das Finanças, Instituto para a Cooperação Económica.

Elith, J., Graham, C. H., Anderson, R. P., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., &

- Zimmermann, N. E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *ECOGRAPHY*, 18 Suppl 1(January), 27–29. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1719730>.
- ENB. (2009). *Summary of the Copenhagen Climate Change Conference. Earth Negotiations Bulletin* (Vol. 12). Retrieved from <http://www.iisd.ca/climate/cop15/>.
- Fahrig, L., Arroyo-rodríguez, V., Bennett, J. R., Boucher-lalonde, V., Cazetta, E., Currie, D. J., & Watling, J. I. (2019). Is habitat fragmentation bad for biodiversity *Biological Conservation*, 230(September 2018), 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.026>.
- FAO-UNESCO. (1977). Soil map of the world, 1:5 000 000. Africa. In Printed in Italy (Ed.), *Soil map of the world* (Vol. VI, p. 346). Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from [www.fao.org/3/as357e/as357e.pdf%0D](http://www.fao.org/3/as357e/as357e.pdf%0D).
- Feio, M. (1981). O relevo do sudoeste de Angola. Estudo de Geomorfologia. Memórias da Junta de Investigações Científicas do Ultramar. N°67 (Segunda Série) Lisboa (2 Série). Lisboa.
- Ferreira, P. M. (2017). Alterações climáticas e Desenvolvimento. Lisboa: FEC - Fundação Fé e Cooperação e IMVF - Instituto Marquês de Valle Flôr Esta.
- Figueiredo, A. (2013). Assessing impacts from future climatic scenarios on the distribution of flora and vegetation at Madeira Island. Dissertação apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Doutor em Geogr. Universidade de Coimbra.
- Figueiredo, E., & Smith G. F. (2012). Common names of angolan Plants. *Annual Review of Phytopathology* (Vol. 39). Inhlaba Books. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.39.1.259>.

- Figueiredo, E., Smith, G. F., & César, J. (2009). The flora of Angola: first record of diversity and endemism, *58* (February), 233–236.
- Geldenhuys, C. J., & Golding, J. S. (1994). Resource Use Activities, Conservation and Management of Natural Resources of African Savannas. Retrieved from <https://www.semanticscholar.org/paper/Resource-use-activities%2C-conservation-and-of-of-Cj-Js/79346c011e48782c234babfc99d765e598dadeb6>.
- Gillison, A. N. (1997). Mapping the potential distribution of plants and animals for wildlife management: the use of the DOMAIN software package. *CIFOR*. Retrieved from <https://www.cifor.org/library/305/>.
- Gomes, V. H. F., Ijff, S. D., Raes, N., Amaral, I. L., Salomão, R. P., Coelho, L. D. S., & Ter Steege, H. (2018). Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18927-1>.
- GBAD. (2016). *Relatório Anual*. Retrieved from [https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Generic-Documents/AfDB\\_Annual\\_Report\\_2016\\_PT.pdf](https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Generic-Documents/AfDB_Annual_Report_2016_PT.pdf).
- Guisan, A., & Thuiller, W. (2005). Predicting species distribution: Offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, *8*(9), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00792.x>.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Journal of Biogeography*, *135*, 147–186. Retrieved from [www.elsevier.com/locate/ecolmodel](http://www.elsevier.com/locate/ecolmodel).
- Heubes, J., Schmidt, M., Stuch, B., García Márquez, J. R., Wittig, R., Zizka, G., & Hahn, K. (2013). The projected impact of climate and land use change on plant diversity: An example from West Africa. *Journal of Arid Environments*, *96*, 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.04.008>.

- Hickling, R., Roy, D. B., Hill, J. K., Fox, R., & Thomas, C. D. (2006). The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards, 450–455. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x>.
- Huntley, B. J. & Almeida, N. F. de. (2019). Biodiversidade de Angola: uma síntese moderna. In *Biodiversidade de Angola* (1ª Edição, pp. 24–25). Porto: ISBN.
- Huntley, B. J. & Matos, E. M. (1994). Botanical diversity and its conservation in Angola.
- Huntley, B. J. (2019). Angola, um perfil: fisiografia, clima e padrões de biodiversidade. In *Biodiversidade de Angola* (1ª).
- Huntley, B. J., Russo, V., Lages, F., & Almeida, N. F. (2019). *Biodiversity of Angola*. (B. J. Huntley, V. Russo, F. Lages, & N. F. Almeida, Eds.) (1ª edição). Porto. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-03083-4>.
- Hutchinson, G. E. (1944). Limnological Studies in Connecticut. VII. A Critical Examination of the Supposed Relationship between Phytoplankton Periodicity and Chemical Changes in Lake Waters. *Ecology*, 25(1), 3–26. <https://doi.org/doi:10.2307/1930759>.
- Iloldi, P., & Tania, E. (2016). De los modelos de nicho ecológico a las áreas de distribución geográfica. *Focus Article*, (January). Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/286336295%0ADe>.
- INE. (2014). Resultados definitivos recenseamento geral da população e habitação – 2014 província da Huíla, Angola.
- IPCC. (2000). *Emissions Scenarios. Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions\\_scenarios-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/emissions_scenarios-1.pdf).

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland,. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/262260453\\_IPCC\\_2007\\_Climate\\_Change\\_2007\\_Synthesis\\_Report\\_Contribution\\_of\\_Working\\_Groups\\_I\\_II\\_III\\_to\\_the\\_Fourth\\_Assessment\\_Report\\_of\\_the\\_Intergovernmental\\_Panel\\_on\\_Climate\\_Change\\_Geneva](https://www.researchgate.net/publication/262260453_IPCC_2007_Climate_Change_2007_Synthesis_Report_Contribution_of_Working_Groups_I_II_III_to_the_Fourth_Assessment_Report_of_the_Intergovernmental_Panel_on_Climate_Change_Geneva).

IPCC. (2013). Climate Change 2013 The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Summary for Policymakers. (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. M. B. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, & P. M. Midgley, Eds.). Switzerland.

IPCC. (2014). Alterações Climáticas 2014: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. (C. B. Field, V. R. Barros, D. J. Dokken, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea, T. E. B. Eric, ... L. L. White, Eds.) (Instituto). Lisboa, Portugal. Retrieved from [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5\\_wg2\\_spmport-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf).

Jiménez, A., Hortal, J., Lobo, J. M., Borges, P. A. V, Abreu, C., Aguiar, A. F., & Nunes, D. (2008). A validação da distribuição de espécies através de modelos preditivos: casos de estudo para a ilha da madeira using predictive models of species distribution to validate biodiversity data: case studies for Madeira Island, 27–56. Retrieved from [https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj0kb-ruaTnAhVG1xoKHet\\_CYcQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F5097470%2FCAP%25C3%258DTULO\\_2\\_CHAPTER\\_2\\_A](https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj0kb-ruaTnAhVG1xoKHet_CYcQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fwww.academia.edu%2F5097470%2FCAP%25C3%258DTULO_2_CHAPTER_2_A)

\_VALIDA%25C3%2587%25C3%2583O\_DA\_DISTRIBUI%25C3%258.

Jinga, P., & Ashley, M. V. (2019). Climate change threatens some miombo tree species of sub-Saharan Africa. *Flora*, 257(February), 151421. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151421>.

Joker, D., & Jepsen, J. (2003). *Baikiaea plurijuga* Harms. *SEED LEAFLET*, 84. <https://doi.org/https://sl.ku.dk/rapporter/se>.

Kearney, M. R., Wintle, B. A., & Porter, W. P. (2010). Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change, 3, 203–213. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00097.x>.

Lawal, F., & E.Tshikalange, T. (2019). *Terminalia prunioides*. In Underexplored Medicinal Plants from Sub-Saharan Africa. Plants with Therapeutic Potential for Human Health (pp. 281–286). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816814-1.00043-0>.

Lesolle, D. (2012). Documento de políticas sobre as alterações climáticas da SADC: avaliação das opções de políticas para os Estados Membros da SADC. Gaborone. Retrieved from [https://www.sadc.int/files/3613/6724/7855/SADC\\_Policy\\_Paper\\_Climate\\_Change\\_PT\\_1.pdf](https://www.sadc.int/files/3613/6724/7855/SADC_Policy_Paper_Climate_Change_PT_1.pdf).

Lopes, S., Rocha, V., & Rocha, G. (2007). Modelagem de Nicho Ecológico e Conservação de *Dalbergia nigra*, Espécie Ameaçada de Extinção. *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1), 438–440. Retrieved from [https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwim\\_ZSNtqTnAhWiyYUKHXOZCg4QFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrgs.br%2Fseerbio%2Fojs%2Findex.php%2Frb%2Farticle%2Fdownload%2F436%2F363&usg=AOvVaw2wbyX8L16LHFvoV7O5T](https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwim_ZSNtqTnAhWiyYUKHXOZCg4QFjAAegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ufrgs.br%2Fseerbio%2Fojs%2Findex.php%2Frb%2Farticle%2Fdownload%2F436%2F363&usg=AOvVaw2wbyX8L16LHFvoV7O5T).

- Makhado, R. A., Potgieter, M. J., & Luus-Powell, W. J. (2016). Nutritional value of *Colophospermum mopane* as source of browse and its chemical defences against browsers: a review. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 26(3), 569–576. Retrieved from <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiqw7LZtaTnAhUGHxoKHbOICvYQFjACegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ssrn.com%2Fabstract%3D2793169&usg=AOvVaw2f0NeN7xxLAnPSzwdDN00I>.
- Mapaure, I. (1994). The distribution of *Colophospermum mopane* (Leguminosae-Caesalpinioideae) in Africa. *Kirkia*, 15(1), 1–5. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/233993172%0AThe>.
- MEA. (2005). *Relatório-Síntese da Avaliação Ecológica do Milênio*. Retrieved from [https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi1-9-5tKTnAhVB-YUKHTv4AmYQFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.millenniumassessment.org%2Fdocuments%2Fdocument.446.aspx.pdf&usg=AOvVaw1NI0MhPRw2vVpb2zELR\\_UQ](https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi1-9-5tKTnAhVB-YUKHTv4AmYQFjAAegQIBhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.millenniumassessment.org%2Fdocuments%2Fdocument.446.aspx.pdf&usg=AOvVaw1NI0MhPRw2vVpb2zELR_UQ).
- Medeiros, C. A. (1976). A colonização das terras altas da Huíla (Angola). Estudo de geografia humana. Memórias do centro de estudos geográficos. Lisboa.
- Melusi, R. & Mojeremane, W. (2012). *Colophospermum mopane* (Benth.) J.Léonard. Registro [Internet] do PROTA4U. Lemmens, RHMJ, Louppe, D. e Oteng-Amoako, AA (Editores). PROTA (Recursos vegetais da África Tropical / Recursos vitais da África tropical), Wageningen, Holanda. *Registro [Internet] Do PROTA4U*.
- Moreira, A. I. da R., & Ramos, M. da C. P. (2016). Alterações climáticas e suas consequências: deslocamentos populacionais forçados, 203–219.

- Moura, I., Maquia, I., Rija, A. A., Ribeiro, N., & Ribeiro-Barros, A. I. (2017). Biodiversity Studies in Key Species from the African *Mopane* and Miombo Woodlands. *Genetic Diversity*, (March). <https://doi.org/10.5772/66845>.
- Mucina, L. (2019). Biome: evolution of a crucial ecological and biogeographical concept. *New Phytologist*, 97–114. <https://doi.org/10.1111/nph.15609>.
- Ngoma, J., Speer, J. H., Vinya, R., Kruijt, B., Moors, E., & Leemans, R. (2017). The dendrochronological potential of *Baikiaea plurijuga* in Zambia. *Dendrochronologia*, 41, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2016.05.002>.
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Lennard, C., Padgham, J., & Urquhar, P. (2014). *Africa. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- Nyirenda, H., Assédé, E. P. S., Chirwa, P. W., Geldenhuys, C., & Nsubuga, F. W. (2019). The effect of land use change and management on the vegetation characteristics and termite distribution in Malawian Miombo woodland agroecosystem the effect of land use change and management on the vegetation characteristics and termite distribution in Ma. *Agroforestry Systems*, (May). <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00358-8>.
- Pearson, R. G., & Dawson, T. P. (2003). Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful *Global Ecology & Biogeography*, 361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>.
- Peterson, A. T., Jime, A., Overton, J. M., Arago, P., Sobero, J., & Lobo, J. M. (2011). Use of niche models in invasive species risk assessments, 2785–2797. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-9963-4>.

- Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>.
- Pittock, A. B. (2009). *Climate Change: The Science, Impacts and Solutions* (Second edi). Australia: CSIRO PUBLISHING.
- Pocheville, A. (2015). The Ecological Niche : History and Recent Controversies  
The Ecological Niche : History, (March).  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3205.8405>.
- Santos, M. J. B. dos. (2014). Os impactes sociais decorrentes das alterações da ocupação do solo e na perda da biodiversidade no Parque Nacional da Peneda-Gerês. Associação com as alterações climáticas. Universidade Aberta.
- Santos, F.D., & Miranda, P. (2006). Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projecto SIAM II (Gradiva). Lisboa, Portugal: 2006.
- Santos, F. D. (1990). Alterações climáticas: situação actual e cenários futuros, 1–19. Retrieved from <https://www.google.pt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiAj-XvsqTnAhUcBWMBHe3DCaYQFjAAegQIARAB&url=http%3A%2F%2Fwww.cienciaviva.pt%2Fimg%2Fupload%2FSituacaoactualecenariosfuturos-FDuarteSantos.pdf&usg=AOvVaw2HC904JuBJZKgAg>.
- Santos, F. D. (2006). Problemática das Alterações Climáticas no Início do Século XXI. In F.D. Santos & P. Miranda (Eds.), *Alterações Climáticas em Portugal: Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação. Projecto SIAM II* (Primeira e, pp. 21–41). Lisboa: Gradiva. Retrieved from <http://www.gradiva.pt>.

- Santos, Filipe Duarte, Pereira, J. S., Brandão, A. P., & Braga, R. (2006). Alterações climáticas em Portugal cenários, impactos e medidas de adaptação-projecto SIAM II. (F. D. S. & P. Miranda, Ed.) (gradiva). Lisboa.
- Serdeczny, O., Adams, S., Baarsch, F., Coumou, D., Robinson, A., Hare, W., & Perrette, M. (2016). Climate change impacts in Sub-Saharan Africa: from physical changes to their social repercussions. *Springer*, (February). <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0910-2>.
- Soberón, J., Osorio-olvera, L., & Peterson, T. (2017). Diferencias conceptuales entre modelación de nichos y modelación de áreas de distribución. *Revista Mexicana de Biodiversidade*, 88(2), 437–441. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.03.011>.
- Soberón, J., & Peterson, A. T. (2005). Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*, 1–10. <https://doi.org/10.1093/wber/lhm022>.
- Stevens, N., Swemmer, A. M., Ezzy, L., & Erasmus, B. F. N. (2014). Investigating potential determinants of the distribution limits of a savanna woody plant: *Colophospermum mopane*. *Journal of Vegetation Science*, 25(2), 363–373. <https://doi.org/10.1111/jvs.12098>.
- Thuiller, W., Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araujo, M. B., Virkkala, R., & Sykes, M. T. (2006). Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modelling under climate change. *Progress in Physical Geography*, 30(6), 751–777. Retrieved from //000243236600004.
- ONU. (2008). Alterações climáticas: perspectivas africanas para um Acordo Pós-2012. In *Comissão da União Africana*. Adis Abeba, Etiópia. Retrieved from [https://www.uneca.org/sites/default/files/uploaded-documents/CoM/cfm2008/com2008\\_climatechange\\_por.pdf](https://www.uneca.org/sites/default/files/uploaded-documents/CoM/cfm2008/com2008_climatechange_por.pdf).
- Vuuren, D. P. Van, Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Nakicenovic, N.,

- Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: an overview, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>.
- WCMC. (1998). *Baikiaea plurijuga*. The IUCN Red List of Threatened Species e.T33188A9758940, 8235. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T33188A9758940.en%0ACopyright>.
- White, F. (1983). *The vegetation of Africa. A descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Vol. 66). Switzerland: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7 Place de Fontenoy, 75700 Paris Printed by Courvoisier S.A., 2300 La Chaux-de-Fonds The.* <https://doi.org/10.5281/zenodo.293797>.
- Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., & Snyder, M. A. (2009). Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(SUPPL. 2), 19729–19736. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901639106>.
- Wyk, B. Van, & Wyk, P. Van. (1997). *Field guide to Trees of Southern Africa. Featuring more than 1 000 species.* (Piter Joyce, Ed.). Cape Town: Pippa Parker.
- Zolho, R. (2007). Mudanças Climáticas e as Florestas em Moçambique. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 23–42. Retrieved from [http://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2019/01/1548403017-Mudancas\\_Climaticas\\_e\\_as\\_Florestas.pdf](http://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2019/01/1548403017-Mudancas_Climaticas_e_as_Florestas.pdf).



## ANEXOS

### Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
bio_1	Equal variances assumed	19,307	,000	-3,026	278	,003	-7,621	2,518	-12,578	-2,664
	Equal variances not assumed			-2,552	59,053	,013	-7,621	2,986	-13,596	-1,646
bio_2	Equal variances assumed	8,670	,004	5,169	278	,000	18,045	3,491	11,173	24,917
	Equal variances not assumed			7,655	129,095	,000	18,045	2,357	13,381	22,708
bio_3	Equal variances assumed	28,887	,000	-13,498	278	,000	-7,825	,580	-8,967	-6,684
	Equal variances not assumed			-21,226	151,564	,000	-7,825	,369	-8,554	-7,097
bio_4	Equal variances assumed	67,471	,000	12,149	278	,000	1371,486	112,889	1149,260	1593,713
	Equal variances not assumed			23,847	274,041	,000	1371,486	57,512	1258,266	1484,707
bio_5	Equal variances assumed	6,751	,010	4,190	278	,000	13,310	3,177	7,056	19,563
	Equal variances not assumed			5,371	94,829	,000	13,310	2,478	8,390	18,229

bio_6	Equal variances assumed	,884	,348	-8,161	278	,000	-41,591	5,097	-51,624	-31,559
	Equal variances not assumed			-8,750	73,144	,000	-41,591	4,753	-51,064	-32,119
bio_7	Equal variances assumed	26,812	,000	8,807	278	,000	54,901	6,233	42,630	67,172
	Equal variances not assumed			14,511	173,781	,000	54,901	3,783	47,433	62,368
bio_8	Equal variances assumed	7,457	,007	3,607	278	,000	9,871	2,737	4,484	15,259
	Equal variances not assumed			3,285	62,462	,002	9,871	3,005	3,865	15,878
bio_9	Equal variances assumed	3,549	,061	-7,698	278	,000	-26,349	3,423	-33,087	-19,611
	Equal variances not assumed			-7,578	66,840	,000	-26,349	3,477	-33,290	-19,408
bio_10	Equal variances assumed	10,358	,001	3,256	278	,001	8,584	2,637	3,394	13,775
	Equal variances not assumed			2,889	61,230	,005	8,584	2,971	2,644	14,524
bio_11	Equal variances assumed	3,315	,070	-8,166	278	,000	-25,896	3,171	-32,138	-19,654
	Equal variances not assumed			-8,012	66,633	,000	-25,896	3,232	-32,348	-19,444
bio_12	Equal variances assumed	1,876	,172	-5,599	278	,000	-160,534	28,675	-216,981	-104,088
	Equal variances not assumed			-6,516	81,278	,000	-160,534	24,636	-209,550	-111,519
bio_13	Equal variances assumed	8,708	,003	-9,954	278	,000	-68,329	6,864	-81,842	-54,816
	Equal variances not assumed			-8,884	61,487	,000	-68,329	7,691	-83,706	-52,952

bio_14	Equal variances assumed	66,851	,000	3,951	278	,000	1,578	,399	,792	2,364
	Equal variances not assumed			8,699	231,000	,000	1,578	,181	1,220	1,935
bio_15	Equal variances assumed	56,741	,000	-3,538	278	,000	-7,760	2,193	-12,078	-3,443
	Equal variances not assumed			-5,809	171,940	,000	-7,760	1,336	-10,397	-5,123
bio_16	Equal variances assumed	3,689	,056	-7,332	278	,000	-110,203	15,031	-139,791	-80,615
	Equal variances not assumed			-8,607	82,280	,000	-110,203	12,804	-135,672	-84,734
bio_17	Equal variances assumed	67,370	,000	4,372	278	,000	6,333	1,449	3,481	9,184
	Equal variances not assumed			9,571	236,304	,000	6,333	,662	5,029	7,636
bio_18	Equal variances assumed	15,378	,000	1,600	278	,111	20,660	12,912	-4,757	46,078
	Equal variances not assumed			2,291	118,992	,024	20,660	9,017	2,805	38,515
bio_19	Equal variances assumed	63,236	,000	4,588	278	,000	6,644	1,448	3,793	9,494
	Equal variances not assumed			9,715	262,619	,000	6,644	,684	5,297	7,990