

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Métricas de Diversidade Vegetal na Província da Huíla:  
Uma Solução WEBSIG**

**Marina Filomena Francisco Rafael**

**Dissertação de Mestrado orientada pelo Professor Doutor Nelson Miguel Branco  
Mileu e Professor Doutor António Valter Chissingui**

**Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial  
Aplicados ao Ordenamento**

2018

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Métricas de Diversidade Vegetal na Província da Huíla:  
Uma Solução WEBSIG**

**Marina Filomena Francisco Rafael**

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Nelson Miguel Branco Mileu e  
Professor Doutor António Valter Chissingui.

**Júri:**

Presidente: Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Doutor Francisco Reis Sacramento Gutierrez da Big Data Analyst at Eurecat -  
Technology Centre of Catalon;
- Professor Doutor Nelson Miguel Branco Mileu do Instituto de Geografia e  
Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho contou com o apoio de várias pessoas e entidades, razão pela qual, não posso deixar de expressar a minha gratidão por cada uma delas.

Antes de mais, agradeço a Deus pela força, coragem e dedicação indispensáveis para a elaboração deste trabalho. Quero de modo particular agradecer:

Ao professor Nelson Branco Mileu, pela orientação e ajuda pois, a sua confiança, atenção e paciência permitiram-lhe sempre que possível disponibilizar parte do seu tempo para resolver questões relacionadas com o trabalho.

Ao meu coorientador, António Valter Chissingui, que mesmo distante esteve sempre presente para deparar as minhas inquietações, particularmente pelo incentivo moral e psicológico que serviram de bálsamo para ultrapassar cada dificuldade.

À Dra. Fernanda Lages, coordenadora do Centro de Estudos de Biodiversidade e Educação Ambiental do ISCED-Huíla (CEBEA), por ser a primeira pessoa a confiar em mim, e ao Diretor Geral do ISCED-Huíla na pessoa do Dr. José Luís Mateus Alexandre, por todo apoio moral e não só que contribuíram para a minha vinda à Portugal.

Agradeço de igual modo aos meus colegas do Herbário do Lubango (LUBA), particularmente do subprojeto 154, Francisco Maiato, José Tchamba e José Luís, pela amizade e atenção, principalmente em matérias relacionadas com a diversidade vegetal. Agradeço também aos meus irmãos Sandro Tito, Márcio Canguia, Aida Rafael e Sereno Rafael, sem se esquecer da minha companheira de quarto Joana Mbambi pelos conselhos, orações e por todo carinho que emanam por mim.

De modo geral, agradeço aos meus professores do curso de mestrado, aos meus familiares e amigos, pelo apoio incondicional.

A realização deste trabalho contou com o financiamento do Ministério de Educação e Pesquisa da Alemanha, através do Projeto SASSCAL, subprojecto 154 Plant and vegetation assessments in the region and elaboration of regional vegetation databases and vegetation maps, a quem também vão os meus sinceros agradecimentos.

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Miguel Rafael Jamba (*in memoriam*) e Jorgina Luísa Francisco, pelo apoio moral e financeiro, sobretudo naqueles dias em que tudo parecia fracassar, ela colocou sempre o estímulo e a minha formação em primeiro lugar.

## RESUMO

O presente trabalho enquadra-se no projeto Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Use (SASSCAL), subprojecto nº 154, que visa o mapeamento da flora e vegetação da Huíla em Angola. O objetivo principal do trabalho é disponibilizar informação online sobre a diversidade de espécies vegetais da província da Huíla, mediante métricas e com recurso a software WebSIG. Para o efeito, a aplicação WebSIG foi desenvolvida com recurso a soluções *open source*, desde o sistema operativo (Ubuntu 14), passando pela instalação do QGIS como desktop SIG de interface gráfica e ponte de ligação com o servidor de base de dados (PostgreSQL/PostGIS), até à solução de mapas na web (Leaflet) que teve como critério de seleção, o vasto número de utilizadores a nível mundial e o fácil manuseio das suas ferramentas de trabalho. Os resultados obtidos demonstram a variação da diversidade de Shannon e Simpson ao longo da província, onde fatores como a deflorestação, a prática intensiva da agricultura, a existência de engenhos explosivos em algumas áreas da província, a distribuição da precipitação e as condições do terreno, estão na base desta distribuição.

**Palavras-chave:** diversidade vegetal; métricas da paisagem; webSIG; servidor de mapas; python

## ABSTRACT

This work is part of the project Southern African Science Service Center for Climate Change and Adaptative Land Use (SASSCAL, subproject No. 154, which aims to map the flora and vegetation of Huíla in Angola. The main objective of this work is to provide online information on diversity of plant species in Huíla province, based on metrics and WebGIS software. For this purpose, the WebGIS application was developed using *open source* solutions, from the operating system (Ubuntu 14), through the installation of QGIS as a SIG desktop and a connection to the database server (PostgreSQL/PostGIS), to the web mapping solution (Leaflet) that was choose because it has a vast number of users worldwide and the library tools are simple and easy to use. The results show the variation in the diversity of Shannon and Simpson throughout the province, where factors such as deforestation, intensive agriculture practice, the existence of explosive devices in some areas of the province, precipitation distribution and terrain conditions, explain this distribution.

**Keywords:** vegetation diversity; landscape metrics; webGIS; mapserver; python

# CONTEÚDO

AGRADECIMENTOS.....	iii
DEDICATÓRIA.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE QUADROS E DE FIGURAS .....	x
ABREVIATURAS .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento do trabalho .....	1
1.2. Justificação.....	3
1.3. Problemas e questões da investigação.....	5
1.4. Objetivos da investigação .....	6
1.5. Estrutura da tese/abordagem da investigação.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
2.1. Indicadores de Métricas de Diversidade .....	9
2.1.1. Diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) .....	11
2.1.2. Diversidade de Simpson ( $D_s$ ).....	14
2.2. Tecnologias de Informação Geográfica para o cálculo de métricas de diversidade da vegetação .....	15
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. Análise de Requisitos .....	21
3.1.1. Requisitos Funcionais .....	21
3.1.2. Requisitos não Funcionais .....	22
3.2. Arquitetura tecnológica.....	23
3.2.1. Camada de dados .....	25

3.2.2.	Camada aplicacional .....	25
3.3.3.	Camada cliente .....	27
3.3.	Desenho da base de dados .....	28
3.3.1.	Modelo de dados conceptual e lógico.....	28
3.3.2.	Amostragem (levantamento e preparação dos dados) .....	29
3.3.3.	Dados auxiliares (municípios, geologia, Parque Nacional do Bicuar e grelha cartográfica) .....	34
3.3.4.	Preparação e carregamento de dados .....	34
3.4.	Implementação .....	35
3.4.1.	Desenvolvimento da base de dados geográfica .....	35
3.4.2.	Desenvolvimento da aplicação web .....	39
3.4.3.	Diversidade vegetal da província da Huíla .....	42
3.4.4.	Funcionalidades da aplicação web .....	44
4.	APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO- PROVÍNCIA DO HUÍLA.....	47
4.1.	Enquadramento geográfico .....	47
4.2.	Caraterísticas biofísicas da província da Huíla.....	48
4.2.1.	Clima .....	48
4.2.2.	Hidrografia .....	48
4.2.3.	Relevo .....	49
4.2.4.	Vegetação .....	50
4.3.	Casos de uso.....	51
4.3.1.	Municípios .....	52
4.3.2.	Litologia .....	55
4.3.3.	Parque Nacional do Bicuar .....	57
4.3.4.	Grelha cartográfica .....	59
4.4.	Validação dos resultados .....	61

5. CONCLUSÕES .....	63
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
7. ANEXOS.....	72

## LISTA DE QUADROS E DE FIGURAS

Quadro 1- Alguns trabalhos sobre a flora e a vegetação de Angola. ....	4
Quadro 2 - Programas que permitem analisar a diversidade vegetal. ....	17
Quadro 3 - Requisitos funcionais da aplicação.....	22
Quadro 4 - Requisitos não funcionais da aplicação. ....	22
Quadro 5 - Principais softwares WebSIG de código aberto. ....	26
Quadro 6 - Características dos dados geográficos auxiliares.....	34
Quadro 7 - Descrição das ferramentas para calcular os índices de diversidade de riqueza na província da Huíla na plataforma do Leaflet. ....	46
Quadro 8- Teste T de duas amostras independentes (Shannon).....	62
Quadro 9- Teste T de duas amostras independentes (Simpson). ....	62
Figura 1 – Estrutura da investigação. ....	7
Figura 2- Arquitetura tecnológica.....	24
Figura 3 - Esquema das tabelas, campos e relações. ....	29
Figura 4- Levantamento amostral da vegetação. Fotos de Maiato, F.....	32
Figura 5 - BIOTABase. Software de gestão de dados do projeto SASSCAL.....	33
Figura 6 - Gestor da Base de dados com os layers de seleção. ....	34
Figura 7 - Integração dos dados na base de dados do PostgreSQL.....	36
Figura 8 - Publicação do layer dos municípios no Geoserver.....	36
Figura 9 - Publicação do layer do Parque Nacional do Bicular no Geoserver.....	37
Figura 10 - Publicação do layer da litologia no Geoserver. ....	38
Figura 11 - Representação da subdivisão de uma célula do sistema QDGC. ....	38
Figura 12 - Publicação da grelha de cartográfica Bicular no Geoserver ....	38
Figura 13 – Workflow do desenvolvimento da aplicação WebSIG. ....	39
Figura 14 - Publicação dos layers na Worspace "huila". ....	39
Figura 15 - SLD da aplicação da diversidade de espécies da província da Huíla. ....	40
Figura 16 - Routes no ficheiro de Python “calcula.py”.....	41
Figura 17 - Routes no ficheiro tpl “listatabpol.tpl”. ....	41
Figura 18 - Arquitetura Web Service da aplicação. ....	43

Figura 19 - Exemplo do processo de cálculo de um índice. ....	44
Figura 20 - Visualização inicial da aplicação WebSIG. ....	45
Figura 21 - Representação geográfica dos limites da província e municípios da Huíla. ....	47
Figura 22 - Esforço amostral das campanhas de campo do projeto 154. ....	52
Figura 23 - Seleção do tema dos municípios e do índice de Shannon. ....	53
Figura 24 - Diversidade de Shannon com base nos municípios da província da Huíla. .	53
Figura 25 - Diversidade de Simpson com base nos municípios da província da Huíla...	54
Figura 26 - Seleção do tema da litologia e do índice de Shannon.....	55
Figura 27 - Diversidade de Shannon com base nas unidades geológicas da província da Huíla.....	56
Figura 28 - Diversidade de Simpson com base nas unidades geológicas da província da Huíla.....	57
Figura 29 - Seleção do tema do Parque Nacional do Bicular e do índice de Shannon....	57
Figura 30 - Diversidade de Shannon com base nos limites geográficos do Parque Nacional do Bicular e da província da Huíla. ....	58
Figura 31 - Diversidade de Simpson com base nos limites geográficos do Parque Nacional do Bicular e da província da Huíla. ....	58
Figura 32 - Seleção do tema da grelha cartográfica e do índice de Shannon .....	59
Figura 33 - Diversidade de Shannon com base na grelha cartográfica da província da Huíla.....	60
Figura 34 - Diversidade de Simpson com base na grelha cartográfica da província da Huíla.....	60

## **ABREVIATURAS**

**AAG**- American Association of Geographers.

**BIOTA**- Database software for storage, administration and analysis of ecological data.

**CAP**- Circunferência a Altura do Peito.

**CDB**- Convenção sobre a Diversidade Biológica.

**CEBEA**- Centro de Estudos de Biodiversidade e Educação Ambiental.

**CSS**- Cascading Style Sheets.

**DAP**- Diâmetro a Altura do Peito.

**DIVAGIS**- Free computer program for mapping and geographic data analysis a geographic information system (GIS).

**Ds**- Diversidade de Simpson.

**FOSS**- Free and *Open Source* Software.

**GML**- Geographic Markup Language.

**GPS**- Global Positioning System.

**H'**- Diversidade de Shannon.

**HTML**- HyperText Markup Language.

**ID**- Identify Number.

**INE**- Instituto Nacional de Estatística.

**ISCED**- Instituto Superior de Ciências da Educação.

**ISOPAM**- Isopam clustering algorithm and utilities.

**LUBA**- Acrónimo do Herbário do Lubango.

**PAP**- Perímetro a Altura do Peito.

**PNB**- Parque Nacional do Bicuar.

**QDGC**- Quarter Degree Grid Cells.

**OGC**- Open Geospatial Consortium.

**QGIS**- Free and *Open Source* Geographic Information System.

**SASSCAL**- Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Use.

**SGBD**- Sistema de Gestão de Base de Dados.

**SIG**- Sistemas de Informação Geográfica.

**SLD**- Style Layer Descriptor.

**SQL**- Structured Query Language.

**URL**- Uniform Resource Locator.

**WSGI**: Web Server Gateway Interface (WSGI).

**USGS**- United States Geological Survey.

**WFS**- Web Feature Service.

**WGS**- World Geodetic System.

**WMS**- Web Map Service.

**WWW**- World Wide Web.

# **1. INTRODUÇÃO**

O capítulo 1 descreve os elementos básicos que orientam a dissertação. Inicia-se pelo enquadramento onde estão descritos alguns aspetos gerais relacionados com o tema em estudo, e o principal apoio que serviu de suporte para a realização do trabalho. Estão também registadas as principais razões que influenciaram a escolha do tema, a descrição dos problemas da investigação e das principais finalidades a alcançar. Finalmente é apresentada a forma como está estruturada a dissertação.

## **1.1. Enquadramento do trabalho**

O crescimento populacional que tem sido notório nos últimos anos, e impôs grande pressão sobre os recursos naturais em Angola, deixa clara a necessidade de conhecer melhor a diversidade faunística e florística para melhor conservar. Desde 1 de Abril de 1998, Angola tornou-se membro da Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB), ratificada após aprovação pela Assembleia Nacional da resolução nº 23/97 de 4 Julho (NBSAP, 2006), e em 2006 foi produzido o primeiro relatório sobre o estado do ambiente em Angola, onde há um conjunto de recomendações importantes para uma gestão mais eficaz dos recursos do país, uma vez que, o desaparecimento de espécies importantes do ponto de vista ecológico que tinham num determinado local o seu habitat, afetam as interações entre os diferentes componentes da biodiversidade (Cadman et al., 2011).

A preocupação em proteger o planeta e os milhares de organismos que nele existem, tendo em conta a produção e o consumo sustentável dos recursos naturais propostos pela agenda 2030 das Nações Unidas, tem incentivado os diferentes governos a nível mundial a trabalharem em conjunto sem qualquer tipo de discriminação, para que ações regionais e sub-regionais traduzam efetivamente as políticas de desenvolvimento sustentável em ações concretas a nível nacional pelo que, se pretende maior igualdade de direitos humanos, bem estar e qualidade de vida aceitáveis (ONU, 2015).

O presente trabalho está enquadrado no projeto *Southern African Science Service Centre for Climate Change and Adaptive Land Use (SASSCAL)*, subprojecto nº 154, que visa o mapeamento da flora e vegetação da Huíla. O SASSCAL é uma iniciativa conjunta da Alemanha e de alguns governos dos países da África Austral, nomeadamente, África do Sul, Angola, Botswana, Namíbia e Zâmbia, com financiamento do Ministério da Educação e Pesquisa da Alemanha, com o objetivo de propor medidas cientificamente sustentáveis de adaptação às mudanças climáticas e o uso sustentável dos solos.

Cerca de cento e cinquenta instituições destes países trabalham para a obtenção de dados sobre fatores bióticos e abióticos que caracterizam e influenciam cada uma das regiões, com vista a compreender o desenvolvimento presente, prever cenários futuros e incentivar as autoridades decisoras no sentido de desenvolverem estratégias de redução dos riscos associados às alterações climáticas e sensibilizarem as populações a utilizarem os seus recursos de forma sustentável (SASSCAL, 2017). Apóia também o desenvolvimento de capacidades para a investigação científica, consultoria e tomada de decisões, com vista a formar equipas multidisciplinares capazes de resolver problemas atuais e prever futuros riscos na região.

O projeto está centrado em seis áreas temáticas: clima, água, agricultura, floresta, biodiversidade e desenvolvimento de capacidades, estando cada uma destas áreas subdividida em projetos nos diferentes países, tendo em conta as necessidades de cada um. Abarca 349 subprojectos, cada um liderado por um investigador principal coadjuvado por especialistas, técnicos e estudantes.

O subprojeto nº 154 (*Plant and vegetation assessments in the region and elaboration of regional vegetation databases and vegetation maps*) pertence à área da biodiversidade que tem como principais objetivos o mapeamento da flora e vegetação da Huíla e a criação da respetiva base de dados, através da realização de inventários de espécies, identificação de comunidades vegetais e análise de solos, usando diferentes ferramentas e tecnologias de obtenção e tratamento de dados como levantamentos de campo, como os SIG (SIG) e Deteção Remota.

No ramo dos SIG, a internet tem se destacado pela variedade de ferramentas que permitem disponibilizar e interligar dados de várias fontes com base em mapas digitais online, os chamados WebSIG (Foote & Kirvan, 2008), que permitem manusear estes dados de forma hábil e atraente e tem contribuído significativamente para a criação de fenómenos espaciais. Contribuíram ainda na transição dos SIG de sistemas autónomos para sistemas distribuídos, e do sistema de estação de trabalho para o sistema web, ou seja, os dados deixaram de ser armazenados num mesmo computador e restringindo o acesso aos utilizadores caso não tivessem o computador fisicamente, para um sistema onde os dados podem ser fisicamente distribuídos em diferentes lugares onde os utilizadores podem aceder facilmente (Chen, Ye, Carroll, & Li, 2014).

Em relação aos trabalhos de Informação Geográfica na web desenvolvidos em Angola, o atlas dos municípios tem sido uma forte referência para encontrar Informação Geográfica em diferentes contextos, podendo-se visualizar os Atlas através do visor de SIG do Dynamic Maps, com ferramentas de configuração, gestão e publicação dos mesmos ou através da web, usando sistemas de cartografia on-line (FAO, 2009). Por outro lado, o WebSIG desenvolvido na Bacia Sedimentar do rio Kwanza denominado GeoKwanza com enfoque na disponibilização de informações geológicas desta Bacia, permite realizar tarefas de manipulação de arquivos com diferentes atributos e de forma gratuita (Mucanza, 2015).

## **1.2. Justificação**

O conhecimento sobre a identidade e ocorrência de organismos, permite a compreensão do mundo biológico e é essencial para supervisionar o estado dos ecossistemas naturais, para desenvolver políticas de gestão ambiental consistentes, e para tomar decisões de desenvolvimento ecologicamente sustentáveis (Cadman et al., 2011). Os autores afirmam que a utilização desta informação, permite determinar a sensibilidade biológica ou ecológica de uma determinada área, gerar novos registos de biodiversidade e ainda, prevenir o rápido desaparecimento das espécies.

Têm-se realizado diversos estudos no âmbito da flora e da vegetação em Angola, graças aos planos estratégicos para a investigação e pelo interesse em estudá-la, conforme podemos observar nos exemplos listados no Quadro 1.

Quadro 1- Alguns trabalhos sobre a flora e a vegetação de Angola.

<b>Título</b>	<b>Autor(s)</b>
Vegetation survey of the woodlands of Huíla Province	António Valter Chisingui, Francisco M. P. Gonçalves, José João Tchamba, José Camôngua Luís, Marina Filomena F. Rafael e José L. M. Alexandre
Caracterização e monitorização da biodiversidade em ecossistemas tropicais- contribuição do instituto de investigação científica tropical	Maria Manuel Romeiras, Luís Catarino, Rui Figueira e Maria Cristina Duarte
Species diversity, population structure and regeneration of Woody species in fallows and mature stands of tropical woodlands of southeast Angola	Francisco M. P. Gonçalves, Rasmus Revermann, Manuel J. Cachissapa, Amândio L. Gomes e Marcos P. M. Aidar
Tree Species Diversity and Composition of Miombo Woodlands in South-Central Angola- A Chronosequence of Forest Recovery after Shifting Cultivation	Francisco M. P. Gonçalves, Rasmus Revermann, Amândio L. Gomes, Marcos P. M. Aidar, Manfred Finckh e Norbert Juergens
A brief botanical survey into Kumbira forest, an isolated patch of Guineo-Congolian biome	Francisco M. P. Gonçalves e David J. Goyder
Aerial censos of cormorants and cape fur seals at Baía dos Tigres, Angola	JM Mendelsohn e L Haraes
Flora e vegetação tropicais- experiências da Guiné-Bissau e novos desafios para Angola	Luís Catarino, Rui Figueira, Maria Manuel Romeiras e Maria Cristina Duarte
Caracterização da biodiversidade vegetal em parcelas amostrais do miombo de Angola (município do Ekunha, província do Haumbo)	André NdJamba
Woody species of the Miombo woodlands and geoxylic grasslands of the Cusseque area, south-central Angola	Rasmus Revermann, Francisco Maiato Gonçalves, Amândio Luis Gomes e Manfred Finckh
Carta fitogeográfica de Angola	Luís Augusto Grandvaux Barbosa
The vegetation of Africa- A descriptive memoir to accompany the unesco/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa.	White, F.

A Huíla em particular, tem um grande potencial de desenvolvimento apoiado nos ramos agropecuário, geológico, biológico e turístico, o que suscita interesse em saber o que houve, para justificar o que há e provavelmente o que haverá.

No âmbito da biodiversidade, a maior parte dos estudos realizados em Angola datam do período colonial e, de lá para cá, pouco se acrescentou ao conhecimento existente. Tal como muitos países africanos, Angola possui grande diversidade de recursos biológicos, que precisam ser conhecidos para que se apliquem estratégias de conservação.

Tendo em conta que modificações temporais da biodiversidade têm como consequência mudanças na paisagem e no arranjo das comunidades vegetais, considerou-se prioritário divulgar esta informação online para que a comunidade científica e não só tenha um rápido acesso e melhor conhecimento sobre as espécies que ocorrem na região. Por outro lado, o conhecimento da diversidade vegetal da Huíla bem como das suas zonas de ocorrência, permitirá traçar estratégias de conservação que sejam aplicadas adequadamente. Daí a necessidade de divulgar online a informação, para que um grande número de pessoas interessadas tenha conhecimento sobre o potencial ecológico da região.

### **1.3. Problemas e questões da investigação**

As tecnologias de informação têm se desenvolvido cada vez mais, trazendo benefícios significativos nas distintas áreas do conhecimento particularmente no ramo das Tecnologias de Informação Geográfica, suscitando um grande interesse, fundamentalmente pela forma como atua na área de controle, gestão e visualização da informação. Neste contexto, a utilização de mapas no processo de obtenção de informações de qualquer fenómeno sobre a superfície terrestre sempre foi uma prática constante e o rápido desenvolvimento da internet, particularmente da World Wide Web (WWW) e das comunicações, oferecem uma plataforma favorável de interação entre as ferramentas de SIG e o público em geral (Yang, Wong, Yang, Kafatos, & Li, 2005).

Os avanços significativos das tecnologias de informação no contexto dos SIG, permitiram a criação de mapas inteligentes pela possibilidade de interagir os SIG com as bases de dados por interfaces que permitem não só o crescimento de aplicações SIG, como também a partilha de dados espaciais com recurso a servidores web (Oliani, Paiva, & Antunes, 2012), tanto por softwares proprietários que obrigam a elevados custos de investimento, como por softwares gratuitos que permitam minimizar estes custos e consequentemente atrair maior número de utilizadores.

Tendo em conta o acima exposto, as questões de investigação às quais o trabalho pretende responder são as seguintes:

- Como é que a utilização de ferramentas WebSIG contribuem para a divulgação online da informação, sobre a diversidade vegetal da província da Huíla?
- Como facilitar o acesso à informação sobre métricas de diversidade vegetal da província da Huíla?

#### **1.4. Objetivos da investigação**

A necessidade de divulgar a diversidade de espécies que a província da Huíla possui através da internet, facilitará não só o planeamento e a execução de trabalhos posteriores no ramo da biodiversidade vegetal e o acesso a esta informação por parte dos estudantes, investigadores e cidadãos interessados em conhecer a flora e vegetação da Huíla, como também, mediante um WebSIG, que terão disponíveis dados e informações online importantes para posteriores trabalhos e pesquisas relacionadas.

Assim, o objetivo principal é disponibilizar informação online sobre a diversidade de espécies vegetais da província da Huíla, mediante métricas e com recurso aos softwares de SIG, de acordo com os seguintes objetivos específicos:

- Criar um WebSIG da diversidade vegetal na província da Huíla;
- Calcular índices de diversidade de espécies (Shannon e Simpson);
- Utilizar ferramentas de WebSIG para disponibilizar a informação online;

- Integrar os dados num servidor de mapas como solução de mapas na web;
- Facilitar o acesso e a consulta de mapas de diversidade vegetal por parte dos potenciais interessados.

## 1.5. Estrutura da tese/abordagem da investigação

A Figura 1 apresenta as diferentes fases do trabalho, as tarefas realizadas e uma síntese dos resultados obtidos.

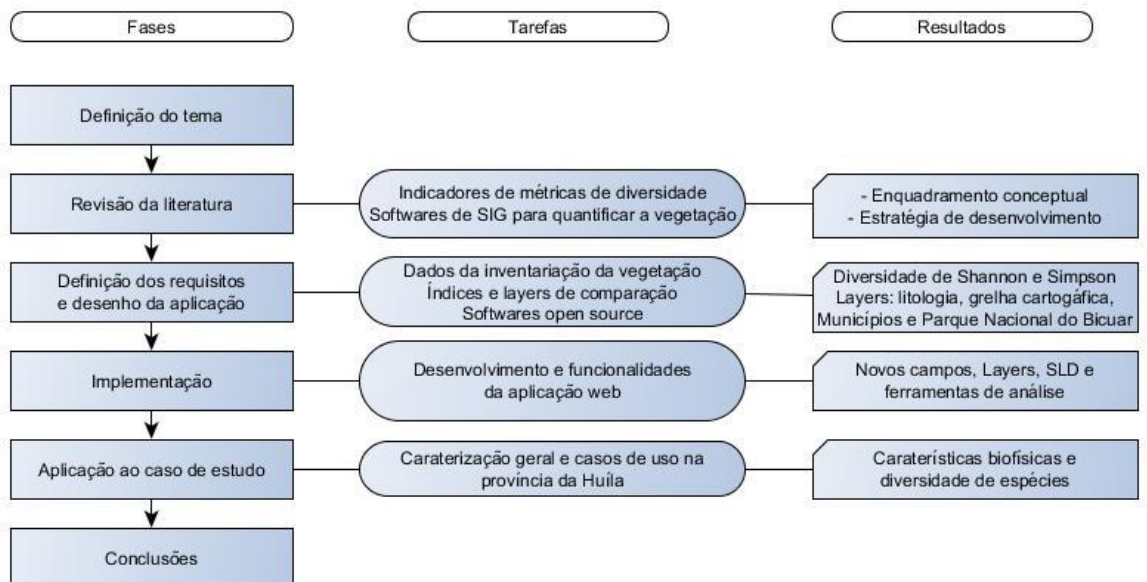


Figura 1 – Estrutura da investigação.

O trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo apresentam-se os elementos básicos que orientam o trabalho como a introdução, o problema, a justificação e os objetivos do estudo que serviram de base para o desenvolvimento do mesmo e onde constam as principais motivações e as finalidades a alcançar bem como, a pertinência do tema no contexto em que se aplica.

No segundo capítulo, dedicado à revisão da literatura é feita uma pesquisa bibliográfica das principais métricas de diversidade de espécies, particularmente dos índices de diversidade de riqueza de Shannon e de Simpson, bem como a descrição de alguns programas e ferramentas de SIG que permitem realizar os cálculos de índices de

diversidade. No terceiro capítulo, apresenta-se a metodologia com os respetivos procedimentos realizados para a obtenção e tratamento dos dados sendo que, para o desenvolvimento da solução WebSIG a estratégia de investigação será do tipo investigação-ação, com a metodologia descrita no levantamento dos requisitos funcionais, sua implementação e desenvolvimento aplicacional WebSIG.

Os resultados obtidos constam no quarto capítulo e resumem-se na descrição da distribuição da diversidade vegetal na província da Huíla, bem como nas possíveis hipóteses que estão na base desta distribuição. A sua interpretação e discussão vão desde a aplicação ao caso de estudo, à descrição dos fenómenos com base nos layers dos municípios, Parque Nacional do Bicular, litologia e da grelha cartográfica. Finalmente, são apresentadas as conclusões do estudo onde se resumem os resultados obtidos em estreita relação com os objetivos estabelecidos.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo, descreve aspetos gerais sobre os indicadores de métricas de diversidade, apresentando os conceitos gerais dos padrões de diversidade ecológica, as características principais dos índices de diversidade de Shannon e de Simpson, e ainda alguns softwares de SIG e não só, que quantificam a diversidade de espécies. O levantamento realizado teve como base a utilização de estudos já realizados em ecologia da paisagem, como foram efetuados os levantamentos para quantificar os fenómenos vegetais, e como é que as diferentes ferramentas de análise contribuem na interpretação e análise dos resultados. Assim, podem-se observar vários trabalhos que abordam estas temáticas e determinadas as técnicas utilizadas em seus estudos.

### **2.1. Indicadores de Métricas de Diversidade**

A conservação da diversidade paisagística reduz o impacto negativo sobre o meio ambiente e aumenta o fluxo de serviços dos ecossistemas (Kuchma, Tarariko, & Syrotenko, 2013), sendo que, a maior parte desta diversidade encontra-se em regiões tropicais próximas do equador (Subburayalu & Sydnor, 2012). A aplicação de métricas de paisagem podem ser importantes ferramentas de auxílio na avaliação do impacto ecológico de uma determinada região (Gutierrez, 2014), a fim de melhorar a estrutura territorial da paisagem e garantir a conservação e o uso ideal dos recursos da terra (Kuchma et al., 2013).

A presença ou não de organismos numa determinada comunidade está intimamente relacionada com fatores bióticos e abióticos isto é, o habitat (que reflete a dominância física ou vegetal), o meio ambiente e as interações entre os organismos dentro do espaço geográfico, dando origem a micro-habitat fortemente influenciados por componentes físicas- atmosfera, litosfera e hidrosfera (Brower & Zar, 1998), que formam regiões biogeográficas, razão pela qual a biodiversidade não está igualmente distribuída por todo o planeta (Barthlott, Linsenmair, & Porembski, 1999).

Para quantificar o impacto da diversidade, é necessário ter em conta a medida da diversidade e a introdução de um índice adequado que demonstre a estrutura das comunidades (Davydov & Weber, 2016) e permita avaliar o comportamento dos seres. As alterações do uso do solo, a exploração “irracional” dos recursos da terra, a poluição ambiental e as espécies invasoras, têm aumentado a necessidade de quantificar o valor da conservação da biodiversidade (Carli et al., 2017). Por outro lado, a extinção e o desaparecimento de espécies importantes do ponto de vista ecológico, pode tornar irreversível a perda de diversidade genética e dificultar o desenvolvimento de pesquisas futuras (Barthlott et al., 1999).

De acordo com Whittaker (1977) citado por (Barthlott et al., 1999), os padrões de diversidade ecológica classificam-se em:

**Diversidade alfa ( $\alpha$ ):** que corresponde a diversidade num habitat com base no número de espécies.

**Diversidade beta ( $\beta$ ):** é a de mudança de espécies ao longo de um gradiente ambiental.

**Diversidade gama ( $\gamma$ ):** diversidade num conjunto de habitats a escalas de áreas geográficas (ilha, unidade de paisagem).

As medidas para calcular a diversidade de espécies normalmente baseiam-se na riqueza e na equitabilidade, mediante o número de indivíduos, a biomassa ou a cobertura vegetal (Chiarucci, Bacaro, & Scheiner, 2011), sendo esta última a entidade biológica chave na avaliação da integridade ecológica (Brown & Williams, 2016) pois, as medidas de vegetação utilizam dados que podem consistir em uma ou mais métricas de análise da diversidade, e a sua distribuição está intimamente relacionada com variáveis ambientais como o tipo de solo, distribuição hidrográfica na região, ocorrência de precipitação, entre outras (Gotelli & Colwell, 2004).

Não obstante a riqueza de espécies ser uma medida importante para calcular a diversidade numa determinada região, esta não é a única componente da diversidade pois, duas áreas com o mesmo conjunto de espécies podem diferir consideravelmente se a abundância dos indivíduos numa área for muito maior que na outra (Moro & Martins, 2011). Por exemplo, se considerarmos duas florestas, onde ambas

apresentam 20 espécies de árvores, em que na primeira as 20 espécies são igualmente abundantes, significa que cada espécie é composta por 5% da abundância total. Ao passo que se na segunda floresta houver uma espécie dominante, compreendendo 81% da abundância total, cada uma das 19 espécies restantes contribuem apenas 1% para o total. Assim, uma medida abrangente da diversidade de espécies deve incluir componentes da riqueza de espécies e o relativo de abundâncias das mesmas (Nicholas & Chao, 2013).

Entretanto, diferentes medidas são utilizadas para calcular diferentes componentes da biodiversidade tais como riqueza de espécies, abundância, história evolutiva e traços funcionais, mas nenhuma delas individualmente pode fornecer um relatório completo dos padrões destas mudanças (Santini et al., 2017), pelo fato da biodiversidade ser um conceito que não pode ser representado na totalidade (Singh, Garg, Karnatak, & Roy, 2017), mas distintas abordagens bibliográficas apontam os índices de Shannon e Simpson como sendo os mais utilizados para calcular a diversidade vegetal numa determinada região, pois são sensíveis à heterogeneidade de espécies dentro da amostra; isto é, levam em consideração a riqueza (que corresponde ao número de espécies registradas) e a igualdade, nada mais que a maneira como as espécies estão distribuídas na amostra por classe (Gustafson, 2007).

Nagendra (2002) ao estudar as diferenças entre os índices mais utilizados (Shannon e Simpson) para quantificar a estrutura paisagística, notou que ambos são semelhantes em muitos aspectos e têm basicamente a mesma aplicabilidade, embora, o índice de Shannon seja mais adequado na gestão de paisagens dentro de uma estrutura ecológica, com particular realce para a componente de riqueza e raridade de ocorrência de espécies; enquanto que o índice de Simpson, por ser sensível ao tipo de cobertura dominante, é utilizado para calcular as comunidades mais dominantes e enfatizar a componente de igualdade.

### **2.1.1. Diversidade de Shannon-Weaver (H')**

Atualmente muitas métricas utilizam a entropia para calcular a incerteza dos dados e estimar o peso da informação logarítmica que é fornecida (Shannon &

Weaver, 1949). Assim, o índice de Shannon usa medidas de entropia para calcular a complexidade de transmissão da informação de espécies (Gu, 2017), onde quanto maior a probabilidade da espécie ocorrer, menor é a quantidade de informação que ela distribui para o sistema.

O índice baseia-se no modelo desenvolvido nos Estados Unidos em laboratórios telefônicos durante a segunda guerra mundial por Claude Shannon e Warren Weaver em 1949 (Fiske, 1985), com o objetivo de aumentar a velocidade de transmissão de mensagens e analisar as condições ideais desta transmissão (García, 2013).

Assume a representatividade de todos os indivíduos dentro da amostra de forma aleatória e a possibilidade de todas as espécies estarem representadas na comunidade, tendo em conta os padrões de distribuição. Reflete a heterogeneidade de uma comunidade com base no número de espécies presentes e na sua abundância relativa (Pla, 2006), e representa-se pela fórmula seguinte (Shannon & Weaver, 1949):

$$\sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln p_i \quad (1)$$

Sendo que:

- **Σ**- Somatório das espécies.
- **P<sub>i</sub>**- Abundância relativa de cada espécie.
- **S**- Número de espécies encontradas.
- **Ln**- Logarítmo natural.

Quanto maior a diversidade florística da área em estudo, maior é o índice e em conformidade com distintas bibliografias ele varia principalmente de 1,5 a 3,5 embora o valor mais baixo possa atingir 0,5 e o mais alto 5; mas raramente é superior a 4,5, sendo que, o índice é considerado com alta diversidade quando os seus valores são superiores a 3 e baixa diversidade quando os seus valores são inferiores a 2 (Nagendra, 2002).

Para calcular o índice de Shannon tendo em conta as unidades amostrais, deve-se inicialmente somar o total das espécies registadas que é representado pela letra N, que permite conhecer não só o número total de espécies registadas, mas também a

distribuição da abundância das mesmas entre todas as espécies da comunidade. Sequencialmente, divide-se o total de indivíduos da amostra pelo total de indivíduos de cada espécie da amostra para que se obtenha a proporção dos mesmos dentro da comunidade, multiplicando-se finalmente cada valor da proporção do indivíduo pelo logaritmo natural do mesmo e como o valor do índice deve ser sempre positivo por causa da incerteza (entropia), multiplicam-se os valores negativos da equação que proporcionará um resultado positivo.

Esta medida de diversidade assume todas as espécies representadas na amostra, bem como os indivíduos amostrados aleatoriamente, onde quanto maior a equitabilidade das espécies, maior é o índice, e mede o grau de incerteza para prever a qual espécie pertenceria um indivíduo retirado aleatoriamente da população (Pla, 2006). A autora afirma que se uma comunidade for muito homogênea pela existência de uma espécie muito abundante, o grau de incerteza será menor, ao contrário se todas as espécies existentes forem igualmente abundantes.

Atinge-se a diversidade máxima de Shannon quando a distribuição das espécies é equitativa ao passo que, uma comunidade com apenas uma espécie teria um valor de H igual a zero, porque  $P_i$  seria igual a 1 e seria multiplicado por  $\ln P_i$  que seria igual a zero (Pla, 2006).

Para além da extensão em que cada espécie está representada dentro de uma amostra, o índice permite avaliar também a diversidade vegetal; ou seja, o índice estatístico de informação assume todas as espécies representadas dentro da amostra e caracteriza-se principalmente pelo fato de ser sensível a espécies raras a variações nas abundâncias.

As principais características do índice de Shannon são:

- É sensível a espécies raras.
- É sensível a variações nas abundâncias.
- Os valores normalmente variam entre 1,5 e 3,5 (raramente acima de 5,0).

### 2.1.2. Diversidade de Simpson (Ds)

Proposto para ser utilizado em estimativas com comunidades infinitas, ou seja, onde o número total de indivíduos na amostra é diferente do número total de indivíduos na comunidade (Zanzini, 2005), o índice de Simpson foi desenvolvido por Edward H. Simpson em 1949 e calcula-se pela fórmula:

$$1 - \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \quad (2)$$

Sendo que:

- $\Sigma$ - Somatório das espécies.
- $n$ - Número total de indivíduos de cada espécie.
- $N$ - Número total de indivíduos presentes.

Proporciona não só aspectos de riqueza, como também a abundância de uma determinada espécie dentro da amostra (Sun, 1992). Com base no número de espécies, no total de indivíduos e na dimensão do total de ocorrência de cada espécie (Biondi & Bobrowski, 2014), permite calcular a probabilidade de dois indivíduos da mesma comunidade pertencerem a mesma espécie ou não (Scolforo, Oliveira, Filho, & Mello, 2008).

É resultado da teoria das probabilidades, e é utilizado em análises quantitativas com unidades biológicas. Faz referência à dominância de espécies e atribui maior peso às espécies comuns ou dominantes sendo que, as espécies raras representadas por apenas alguns indivíduos não afetam a diversidade. Varia numa escala de 0-1, onde os valores mais próximos de 1 indicam uma maior diversidade (Uramoto, Walder, & Zucchi, 2005).

Tal como no índice de Shannon, para calcular este índice deve-se somar inicialmente o total das espécies registadas na amostra e a seguir calcular a abundância relativa de cada espécie na comunidade, que corresponde à divisão entre o total de indivíduos registados pelo total de indivíduos em cada espécie e que posteriormente são elevados ao quadrado. Por fim, somam-se os valores ao quadrado para obter a dominância de Simpson e posteriormente a diversidade de Simpson que é

sempre o oposto da dominância; pois quanto maior dominância, menor será a diversidade de espécies na comunidade.

As principais características do índice de Simpson são:

- As amostras com menores tamanhos são mais bem comparadas.
- As espécies raras não têm o mesmo peso que espécies abundantes.
- É considerado bastante útil para definir áreas para conservação.
- É considerado um índice robusto e significativo.
- A variação da distribuição de abundância é bem demonstrada.

## **2.2. Tecnologias de Informação Geográfica para o cálculo de métricas de diversidade da vegetação**

Os sistemas ecológicos são espacialmente heterogêneos e exibem uma considerável complexidade e variabilidade espaço-temporal (Gustafson, 2007). Esta variabilidade é tipicamente representada por mapas categóricos com base num conjunto de amostras colhidas em locais espaciais específicos (dados pontuais), que permitem quantificar a variabilidade e identificar manchas homogêneas.

A maioria das métricas de paisagem podem ser calculadas com base em formato de dados vetoriais ou raster. No entanto, as avaliações que cobrem grandes áreas, são geralmente calculadas com base nos dados raster, pois podem ser computacionalmente mais rápidos; enquanto que as avaliações baseadas em grupos ou individualmente, são calculadas em dados vetoriais (Wade et al., 2003).

A integração de SIG, Deteção Remota, aerofotogrametria e outras formas de mapeamento podem ser uma solução para a gestão de dados de biodiversidade, porém os softwares comerciais disponíveis no mercado exigem um alto valor de investimento, o que inviabiliza a sua implementação (Oliani et al., 2012). Contudo, distintos softwares SIG livres e de código aberto para sistemas de desktop e servidor foram criados e disponibilizados para o domínio público, para facilitar o

manuseamento dos mesmos, para um maior número de utilizadores e para fazer diferentes análises dos fenómenos (Neteler, Bowman, Landa, & Metz, 2012).

Pelo fato da avaliação dos dados de biodiversidade baseada no trabalho de campo não ser uma tarefa fácil e algumas vezes possível (Torres, González, & Yago, 2017), principalmente por não ser possível estabelecer o número total de unidades de amostragem numa determinada área (Rocchini et al., 2017), as técnicas de Detecção Remota têm sido cada vez mais utilizadas na análise da diversidade ecológica da paisagem (Rocchini et al., 2012) e pela possibilidade de visualizar a inter-relação entre os fenómenos, sejam de carácter físico como a vegetação, a água e o clima ou antrópico como a população, a economia, as atividades e as infraestruturas respetivamente (Torres et al., 2017).

Com as ferramentas disponíveis pelos softwares de SIG, particularmente os softwares livres e de código aberto no desenvolvimento e implementação de modelos de vegetação, tem-se obtido muitas vezes resultados satisfatórios na sua aplicação, o que vem demonstrando a potencialidade dos SIG no tratamento e análise dos dados vegetais. Assim, são apresentados no Quadro 2, algumas ferramentas de SIG, bem como com outras ferramentas que não são de SIG para quantificar a paisagem, com ênfase para a vegetação, com os autores e os respetivos anos de publicação.

Quadro 2 - Programas que permitem analisar a diversidade vegetal.

Programa	FOSS	Plataforma	Linguagem	Ferramenta Aplicação	Formato dos dados	Autores	Data
<b>Ferramentas de SIG para analisar a vegetação</b>							
r.li	Sim	Windows Mac e Linux	C	Ext. GRASS 7.2	Raster	Porta, C. & Spano, L.	2007
LecuS plugin	Sim	Windows	Python	Ext. QGIS ou ferramenta autónoma	Vetor/Raster	Jung, M.	2016
r.le	Sim	Windows, Mac e Linux	C	Ext. GRASS 5.0	Raster	Baker, L. W.	2001
Zonal Metrics toolbox	Sim	Windows	Python	Ext. ArcGIS 10	Vetor	Adamczyk, J. & Dirk, T.	2017
V-late 1	Não	Windows	VB 6	Extensão ArcGIS 9.x	Vetor	Lang, S. & Tiede, D.	2003
IAN	Sim	Windows	Ruby	-----	Raster	Zaragozí et al.	2012
PA4	Não	Windows	VB6	Extensão ArcGIS 9.x	Vetor/Raster	Zaragozí et al.	2012
DIVAGIS	Sim	Windows	Algoritmo	7.2.1	Raster	Hijmans, R. Guarino, L. Cruz, m. & Rojas, E.	2011
<b>Outros softwares para análise da vegetação</b>							
Fragstats	Não	Windows Mac/C Codes	C++	2.0	Raster	McGarial, K. & Marks, J.B.	1995
Biotabase	Sim	Windows	-----	CANOCO Juice, MS-Office e GIS	Vetor/Raster	Muche, G. Schmiedel, U. & Finckh, M.	2008
Rao's quadratic diversity	Sim	Windows	Python	Ext. to GIS	Raster	Rocchini, D. Marcantonio, M. & Ricotta, C.	2017
Leap II		Windows	-----	-----	Raster	Perera et al.	1997
DivEs	Sim	Windows	-----	3.0	Vetor/Raster	Rodrigues, C.	2015

O conjunto **r.li** oferece ferramentas para análise multiescala da estrutura da paisagem em dados raster e aplica diferentes métricas de diversidade como Shannon, Simpson, Richness, Pielou, Dominance e Renyi, calculando o tamanho médio da mancha na área de amostragem e o número de amostragens na área (Porta & Spano, 2017).

Com duas interfaces diferentes, o **LecoS** é um plugin estatístico que utiliza bibliotecas científicas de Python, SciPy, Numpy e a biblioteca de imagens PIL para calcular 16 métricas de diversidade diferentes. Pode ser adquirido através do plugin manager QGIS ou diretamente do site <http://plugins.qgis.org/plugins/LecoS/>. Utiliza dados vetoriais e raster, e o seu resultado pode estar disponível no formato CSV (Jung, 2016).

As ferramentas do programa **r.le** foram projetadas para analisar fenômenos em formato de dados raster a partir de imagens de satélite e as suas funcionalidades permitem controlar a forma, o tamanho e a distribuição das áreas de amostragem usadas na coleta da informação. As áreas de amostragem podem ser quadradas ou retangulares distribuídas aleatoriamente (Baker, 2001).

O **ZonalMetrics toolbox** é uma caixa de ferramentas de código aberto escrito e implementado na linguagem Python no ArcGIS, que calcula diferentes métricas a nível de zona (Tiede & Adamczyk, 2015) em camadas categóricas de polígonos irregulares e regulares como quadrículas, hexágonos e triângulos em áreas de perímetro iguais e estatisticamente similares em toda área de análise (Adamczyk & Tiede, 2017).

O **V-late** é uma extensão vetorial desenvolvida para o ArcGIS, que calcula métricas da paisagem a um conjunto de dados de polígonos em várias categorias, nomeadamente área, forma, áreas centrais, diversidade, fragmentação e ainda, para qualquer outra análise da estrutura espacial que vise investigar a configuração específica da superfície (Lang & Tiede, 2003). Uma nova versão da ferramenta foi desenvolvida para o ArcGIS 10.0 e 10.1 (V-Late 2.0 beta), que calcula índices no mesmo formato de dados e descreve a forma, a configuração e a composição padrão de paisagem (Tiede, 2012).

Tal como o V-late 1, o **PA4** é uma ferramenta desenvolvida para o ArcGIS, que calcula métricas tanto com dados raster quanto vetoriais, e oferece muitas ferramentas extras que facilitam o acesso direto a muitos recursos do ArcGIS. Além disso, as experiências demonstram que os cálculos das métricas funcionam melhor que o V-Late e com um grande número de polígonos (Zaragozí et al., 2012).

O **IAN** é um projeto FOSS que quantifica a paisagem com base na análise orientada a objetos. Funciona apenas com dados raster e pode ser executado em diferentes sistemas operativos, principalmente no Windows (Zaragozí et al., 2012).

Para além das distintas funcionalidades comuns dos softwares de SIG, o **DIVAGIS** permite avaliar a diversidade genética de espécies vegetais, criar modelos de nichos ecológicos com base na análise de clusters em raster e demonstrar áreas com maior ou menor diversidade (Shabanimofrad et al., 2011). Para além disso, permite também localizar e mapear a diversidade de espécies com base na riqueza (Hijmans, Guarino, Cruz, & Rojas, 2001).

O **Fragstats** é um software de domínio público que calcula índices em mais de 50 métricas diferentes no formato de dados raster entre elas, as métricas de diversidade (McGarial & Marks, 1995). Foi desenvolvido por Kevin McGarigal e Barbara J. Marks na Universidade "Oregon State University" e grande parte das suas aplicações não está agregada a visualização de nenhum programa SIG e não funciona nativamente em todos os sistemas operativos, como Mac-OS ou derivados do Linux (Jung, 2016).

O **Biotabase** foi desenvolvido pela BioMonitoring Data Facility of BIOTA AFRICA (Muche, Schmiedel, & Finckh, 2014) e é usado pelos investigadores do Centro de Ecologia Vegetal e Sistemática de Klein Flottbek da Universidade de Hamburgo, parceiros do Herbário do Lubango em vários projetos de investigação e pelo Jardim Botânico da Universidade de Hamburgo, sendo os protagonistas da programação do software Andrzej Suwald e Gerhard Muche, para a gestão de dados ecológicos que de forma estruturada, permite armazenar e manusear tanto dados de vegetação, quanto dados ambientais relacionados (Biota-Africa, 2008); por outro lado, permite compilar

listas e cruzar tabelas, calcular índices e exportar dados para softwares estatísticos nomeadamente, CANOCO, Juice e MS-Office ( Muche, Schmiedel & Finckh, 2014).

O **Leap II** é um software que permite explorar, monitorizar e avaliar a diversidade paisagística em formato de dados raster, acompanhando as alterações temporais com base em critérios ecológicos (FLEP & OFRI, 2010).

O **Rao's quadratic diversity** é uma técnica para imagens de satélite baseada numa linguagem de programação em R e com recurso a *scripts*, que permite a entrada de dados contínuos para análise matricial, a fim de calcular a distância entre os valores do pixel num espaço espectral e a sua uniformidade em diferentes escalas e assim, poder avaliar a diversidade dos sistemas naturais da vegetação (Rocchini et al., 2017).

O **DivEs** é um software elaborado para calcular índices de diversidade, riqueza e dominância de espécies, cujos resultados podem ser apresentados em diferentes formatos (xls 1997-2003, csv, pdf e htm ou html), e permite comparar a diversidade de Shannon e Simpson com base no cálculo estatístico t-Student e avaliar diferenças significativas entre os dois índices (Rodrigues, 2015).

### **3. METODOLOGIA**

Este capítulo é dedicado ao desenho e análise do WebSIG para o cálculo e visualização de indicadores de diversidade de espécies vegetais na província da Huíla. Está constituído por quatro secções, sendo que, na primeira são analisados os requisitos funcionais e não funcionais da aplicação WebSIG denominada Landscape metrics, e que teve como principais critérios de seleção, a utilização de softwares livres. A segunda secção descreve a organização de toda estrutura tecnológica da aplicação, isto é, as ferramentas utilizadas para armazenar os dados e disponibilizar a informação numa plataforma online. Na terceira secção aborda-se sobre a camada de dados e está dividida em três fases- a primeira refere-se ao modelo conceptual lógico das tabelas dos layers selecionados; a segunda descreve os procedimentos realizados durante a amostragem da vegetação, e na terceira fase descreve-se a maneira como os layers que serviram como base de comparação da distribuição da vegetação foram obtidos. Finalmente, na quarta secção aborda-se sobre a integração dos dados na plataforma online e as principais ferramentas disponíveis na aplicação para analisar esta informação.

#### **3.1. Análise de Requisitos**

O requisito geral para este projeto era o cálculo e visualização numa aplicação WebSIG de indicadores de diversidade de espécies vegetais na província da Huíla. Para sistematizar os requisitos por parte dos *stakeholders* do projeto (elementos da equipa do sub-projeto de Angola) foi realizada uma análise de requisitos. A aplicação obedece a requisitos funcionais e não funcionais que constituem a base para a construção da aplicação, os quais passaremos a descrever nos pontos seguintes.

##### **3.1.1. Requisitos Funcionais**

Os requisitos funcionais correspondem a todas as funcionalidades ou serviços que se espera que o sistema realize em benefício dos utilizadores. Os requisitos

funcionais, listados no Quadro 3, foram identificados a partir das principais necessidades dos utilizadores para efeitos de cálculo e visualização dos indicadores de diversidade de espécies vegetais na província da Huíla.

Quadro 3 - Requisitos funcionais da aplicação.

<b>Requisito</b>	<b>Descrição</b>
Mapa base genérico	Visualização dos limites geográficos da área de estudo na plataforma
Escolha do índice a calcular	Possibilidade de visualizar a diversidade de espécies na província da Huíla, com base na riqueza (Shannon) e na dominância (Simpson)
Escolha do tema de pontos obtido no inventário	Agregação e disponibilização da informação da diversidade de espécies na província da Huíla
Escolha do tema de polígonos para análise	Análise da diversidade de espécies em diferentes camadas vetoriais- municípios, Parque Nacional do Bicuar, grelha cartográfica e geologia
Legenda	Representação cartográfica dos principais elementos representados no mapa

### 3.1.2. Requisitos não Funcionais

Os requisitos não funcionais (Quadro 4) estão relacionados com o uso da aplicação em termos de desempenho, utilidade, fiabilidade, disponibilidade, segurança e tecnologias envolvidas.

Quadro 4 - Requisitos não funcionais da aplicação.

<b>Requisito</b>	<b>Descrição</b>
Utilização das normas OGC	Para efeitos de interoperabilidade dos dados geográficos estes deverão ser disponibilizados através de serviços OGC
Software <i>open source</i>	Facilidade no manuseio e utilização por um vasto número de indivíduos
Interface simples e intuitiva	Possibilidade de qualquer utilizador manusear a informação geográfica
Organização dos dados	Informação referente ao levantamento da vegetação, implementação dos dados na aplicação e cálculo dos índices de diversidade

O Open Geospatial Consortium (OGC) é uma organização internacional sem fins lucrativos, com mais de 530 empresas envolvidas desde agências governamentais à universidades, cujo objetivo principal é padronizar os serviços geoespaciais na internet e desta forma, promover a utilização destes padrões, facilitar o acesso da informação à um maior número de pessoas e gerar maior interoperabilidade dos dados e dos SIG através do intercambio GML e serviços direcionados na web, nomeadamente, Web Map Service (WMS) e Word Feature Service(WFS) (OGC, 2017).

Pretende-se, no entanto, que a aplicação funcione com qualquer serviço na web que respeitem os padrões da OGC, garantido assim, a interoperabilidade com qualquer outra solução WebSIG e que de modo geral, contribua para divulgar a informação de forma mais interativa. Por outro lado, a aplicação dará um grande contributo tanto em termos de divulgação de ferramentas *free e open source* para a construção de um WebSIG da vegetação, quanto para divulgação de estudos da diversidade da vegetação em Angola e na província da Huíla em particular.

Pretende-se que a aplicação WebSIG seja desenvolvida com recurso a soluções de software aberto (*open source*). O sistema operativo escolhido foi o Linux, na versão Ubuntu 14 (instalado numa máquina virtual sobre a solução de virtualização VMware Workstation Player 12), passando pela instalação do QGIS como SIG desktop (que serviu como ponte de ligação para o servidor de base de dados através da funcionalidade DBManager), até à solução das componentes do WebSIG, designadamente do servidor de mapas e do servidor aplicacional para cálculo dos indicadores. Por outro lado, a estrutura e organização dos dados na plataforma, permite que qualquer utilizador obtenha informação sobre a diversidade da vegetação de forma fácil e rápida, clicando apenas nas ferramentas de análise.

### **3.2. Arquitetura tecnológica**

Com base nos requisitos definidos anteriormente, foram escolhidos um conjunto de componentes de software que permitem definir a arquitetura do sistema.

A arquitetura do sistema cliente-servidor encontra-se organizada num modelo em três camadas (Figura 2).

A primeira camada corresponde ao repositório dos dados geográficos e não geográficos, tendo-se optado pelo Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS para gestão dos dados geográficos, por ser um SGBD de código aberto e amplamente difundido no mundo dos SIG. A camada aplicacional assenta em duas componentes. A primeira componente refere-se ao servidor de mapas que permite visualizar a informação geográfica do projeto num browser. A segunda componente diz respeito ao servidor aplicacional que executa todas as funções e regras de “negócio”, designadamente o cálculo online dos indicadores de diversidade de espécies vegetais, tendo-se optado pelo servidor web Bottle devido à possibilidade de desenvolvimento das funções na linguagem de programação Python. A camada cliente ou de apresentação, interage diretamente com o utilizador, servindo no caso da aplicação WebSIG para selecionar os temas de input e os indicadores para realizar o cálculo. O desenvolvimento desta camada baseou-se em HTML, Javascript, CSS e para a apresentação dos mapas na livreria Leaflet.

Nos pontos seguintes descrevem-se detalhadamente as três camadas da aplicação WebSIG desenvolvida para o cálculo e visualização de indicadores de diversidade de espécies vegetais na província da Huíla.

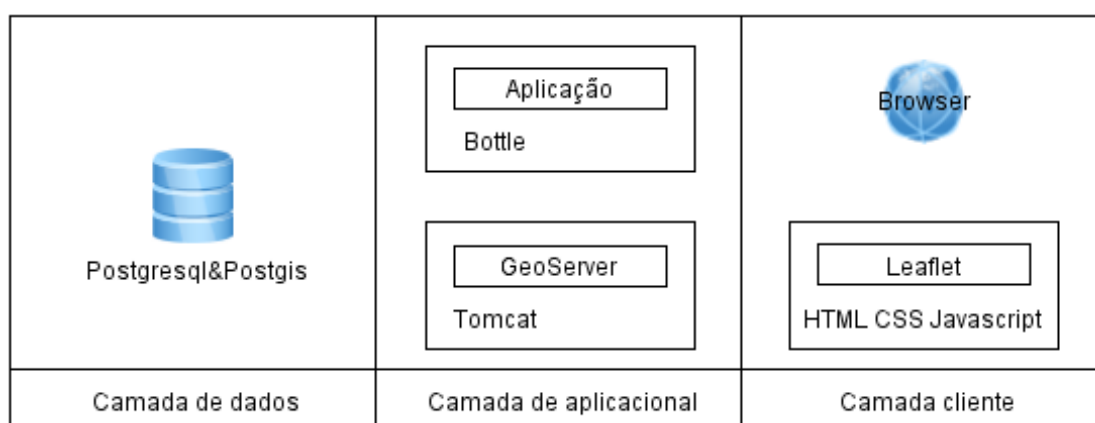


Figura 2- Arquitetura tecnológica.

### **3.2.1. Camada de dados**

O servidor de base dados é a estrutura que disponibiliza serviços de armazenamento, análise e processamento dos dados, muitas vezes com recurso a padrões abertos através das bases de dados que podem ser espaciais ou não (Peng, Zhong-Ren & Ming-Hsiang, 2003). Estes conjuntos de dados no seu processo de interoperabilidade, oferecem uma plataforma de computação passível de manuseamento (Frehner & Brändli, 2006) através da linguagem Structured Query Language (SQL) que tem sido muito utilizada em diferentes versões para aceder a diferentes bases de dados e posteriormente processados em produtos cartográficos (OpenGeo, 2009).

O PostgreSQL/PostGIS é um Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) que permite operacionalizar os dados para uma solução WebSIG como o Geoserver por exemplo, e garante um conjunto de funcionalidades para mapas dinâmicos entre o cliente e a plataforma web. Foi utilizado como recurso para armazenar e gerir os dados geográficos, tendo em conta não só a capacidade de realizar operações nos principais sistemas operativos como o Linux e o Windows, mas também por permitir a conexão direta dos seus dados com softwares de SIG, como o QGIS no seu processo de interoperabilidade (Athán et al., 2017).

Para o desenvolvimento da aplicação WebSIG foi instalado o PostgreSQL, na versão 9.3 para o sistema operativo Ubuntu. Adicionalmente foi instalada a extensão espacial PostGIS na versão 2.1.

### **3.2.2. Camada aplicacional**

Um servidor de aplicações disponibiliza o ambiente apropriado para instalar diferentes aplicativos web e conectar com servidores web e estes, com servidores de mapas (Peng, Zhong-Ren & Ming-Hsiang, 2003).

Dos diferentes servidores de mapas de código aberto (Quadro 5) utilizados para disponibilizar informação geográfica online, o Geoserver é dos servidores de mapas mais difundidos.

Quadro 5 - Principais softwares WebSIG de código aberto.

Aplicação	Formato de dados	Código fonte	Endereço eletrónico
MapGuide	Autodesk DWF, ESRI Shapefile, ESRI ArcSDE, MySQL, conexões com bases de dados via ODBC, GDAL	Java	<a href="http://mapguide.osgeo.org/">http://mapguide.osgeo.org/</a>
GeoServer	ESRI Shapefiles, PostGIS, ESRI ArcSDE, Oracle Spatial, MySQL, TIFF/GeoTIFF, GML, Tiger, VPF, MapInfo	Java	<a href="http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome">http://geoserver.org/display/GEOS/Welcome</a>
MapServer	ESRI Shapefiles, PostGIS, ESRI ArcSDE, Oracle Spatial, MySQL, TIFF/GeoTIFF, EPPL7, GDAL, OGR	C++	<a href="http://mapserver.gis.umn.edu/">http://mapserver.gis.umn.edu/</a>
MapBender	Serviços WMS y WFS GNU Free Documentation License	PHP, JavaScript	<a href="http://www.mapbender.org/Main_Page">http://www.mapbender.org/Main_Page</a>
DeeGree	Oracle Spatial SDO, WKB e WKT sobre PostGIS com PostgreSQL, WKB e WKT sobre MySQL, ESRI Shapefile SHP, ESRI ArcSDE, MapInfo MIF, JPEG, GIF, PNG, TIFF, Geotiff, PNM e BMP, conexões WMS e WFS, GML	Java	<a href="http://www.deegree.org/">http://www.deegree.org/</a>

O Geoserver é um servidor de código aberto, escrito em Java, capaz de partilhar e editar dados geoespaciais (GeoServer, 2014), cria mapas a partir de informações espaciais armazenadas em formato digital sejam eles vetoriais ou raster (Kropla, 2005), providencia serviços e funções de SIG incluindo serviços de análise espacial de dados, geocódigos, filtros de inquirição e extração de dados (Peng, Zhong-Ren & Ming-Hsiang, 2003), e os seus outputs podem ser extraídos mediante filtro dos dados que podem ser enviados para o programa do cliente para posterior manipulação pelo utilizador, ou através de imagens de mapas representados em diferentes formatos.

De acordo com Frehner & Brändli, (2006) trata-se de um dos servidores de mapas mais utilizados para disponibilizar a informação geográfica na internet mediante os padrões de suporte WMS e WFS do OGC. Assim, a escolha do Geoserver

como solução web para mapeamento da diversidade vegetal na província da Huíla teve em conta os pressupostos acima referenciados, os objetivos a alcançar e os custos de utilização. Para o desenvolvimento da aplicação WebSIG foi instalado o Geoserver, na versão 2.7.6.

A fim de criar dependência com diversas bibliotecas Python e permitir chamadas de funções para o mapeamento com base em URLs dinâmicos, instalou-se a *framework* web Bottle na versão 0.12. O Bottle é uma *framework* web “ligeira” do tipo WSGI para a linguagem de programação Python (2.7). Através desta *framework* foi possível calcular automaticamente a diversidade de espécies em toda província da Huíla. Para executar as pesquisas e consultas de atualização (instruções de SQL para cálculo da diversidade de espécies) na base de dados PostgreSQL do projeto, a partir da aplicação web desenvolvida em Python utilizou-se o conector Psicopg2.

### **3.3.3. Camada cliente**

O lugar onde os utilizadores interagem com as funções espaciais na internet através de uma interface gráfica denomina-se camada cliente. É também o lugar onde os softwares de SIG disponibilizam os outputs gerados para os utilizadores mediante a interface gráfica de desktop utilizada pelo utilizador (Peng, Zhong-Ren & Ming-Hsiang, 2003), conectando assim os utilizadores chamados clientes à base de dados (Galati, 2006).

A comunicação entre o cliente e o servidor é realizada através de comandos SQL e instruções de programação com a base de dados, permitindo ao cliente processar os dados e realizar os cálculos necessários para a produção de relatórios ou seja, o produto de informação (Galati, 2006).

No caso da aplicação WebSIG para cálculo da diversidade de espécies o desenvolvimento desta camada baseou-se em HTML, Javascript, CSS e para a apresentação dos mapas na livreria Leaflet na versão 0.6.4. A biblioteca de JavaScript de código aberto “Leaflet” para criar aplicações de mapas na web, suporta grande parte das plataformas móveis e desktop, utilizando ainda HTML5 e CSS3 (Agafonkin,

2018) para exibir mapas na web em diferentes camadas interativas com ou sem fundo SIG (Cherniavskii, 2017). A facilidade de utilização e a ampla difusão na comunidade de utilizadores e programadores foram os motivos para a escolha da livreria Leaflet no desenvolvimento da aplicação WebSIG para cálculo da diversidade de espécies.

### **3.3. Desenho da base de dados**

Este subcapítulo apresenta o modelo de dados lógico e conceptual subjacente à base de dados que suporta a aplicação WebSIG. Adicionalmente é analisado o levantamento e a preparação das espécies, os dados auxiliares para o cálculo dos índices e o carregamento dos dados na base de dados geográfica. Como cartografia de base para a elaboração do trabalho utilizaram-se as shapefiles das espécies amostradas, os limites administrativos dos municípios da Huíla, as principais formações litológicas da província e os limites geográficos do Parque Nacional do Bicuar, que convertidas para o referencial universal WGS 1984 (*World Geodetic System*), serviram não só para demonstrar os limites geográficos da província como também, para estudos comparativos da vegetação em toda extensão territorial. Pretende-se com estas variáveis, consideradas como condicionantes desta distribuição, analisar a forma como as comunidades estão representadas e se existem diferenças significativas nesta distribuição.

#### **3.3.1. Modelo de dados conceptual e lógico**

Consideraram-se cinco variáveis para desenvolver a aplicação, sendo a chave primária de todas as tabelas, a coluna ID. Os dados das espécies são resultado das campanhas de campo realizadas pela equipa do subprojeto 154, onde estão armazenados todos os registos dos indivíduos com a respetiva espécie a que pertencem da vegetação arbórea-arbustiva existentes na base de dados do BiotaBase. Não obstante o ficheiro ser denominado por espécies, corresponde verdadeiramente ao número de parcelas de trabalho sendo que, os números pares são as parcelas mais pequenas (10×10) e os ímpares, as parcelas maiores (20×50).

Já os dados do parque, da grelha, dos municípios e da litologia, serviram como áreas de análise para comparar a diversidade de espécies ao longo de toda província. Assim, na Figura 3, estão representadas as tabelas utilizadas, com os respectivos atributos.

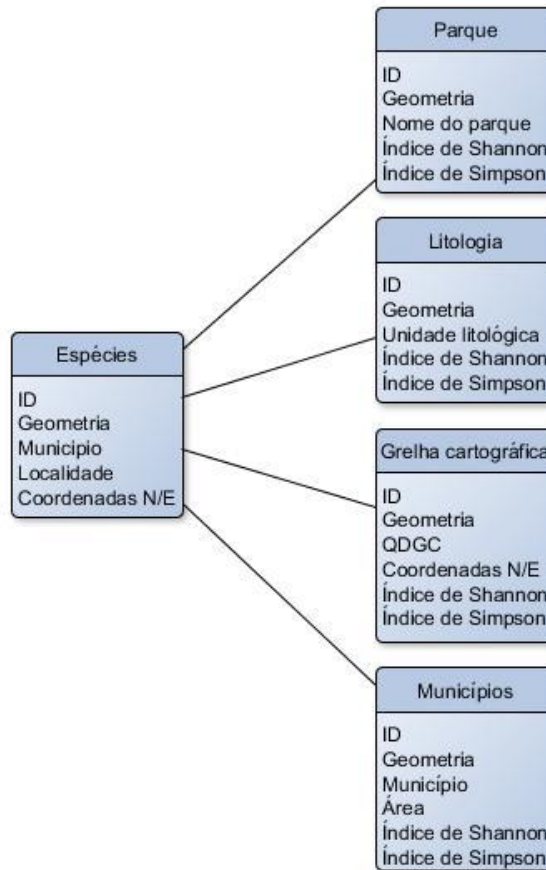


Figura 3 - Esquema das tabelas, campos e relações.

### 3.3.2. Amostragem (levantamento e preparação dos dados)

Tendo em conta a distribuição aleatória da biodiversidade e o fato da mesma ter uma dimensão espacial imensurável na sua totalidade, os ecologistas utilizam distintos métodos para amostrar uma área mínima suficiente que represente uma determinada comunidade, em que, a escolha do método depende principalmente dos objetivos a alcançar e obriga a um conhecimento prévio das principais características da vegetação.

Os padrões de amostragem vegetal baseiam nas características da planta e na forma como ela está distribuída na região. Coulloudon et al. (2010) ao amostrarem os atributos da vegetação, apontam os seguintes padrões:

- **Frequência:** abundância e distribuição da espécie na comunidade.
- **Cobertura:** percentagem da superfície do solo coberta por vegetação.
- **Densidade:** características dadas pelo número de indivíduos de uma mesma espécie por unidade de área.
- **Produção:** quantidade de biomassa que cada espécie possui; ou seja, a quantidade de organismos vivos da espécie.
- **Estrutura:** forma como a vegetação é disposta num espaço.
- **Composição:** proporção de várias espécies de plantas em relação ao total de uma determinada comunidade.

Dos distintos métodos existentes para amostrar áreas vegetais, tais como: método ponte quadrático ou simplesmente quadrante, método de área fixa, método de Bitterlich, método de Prodan ou das Seis Árvores (Freitas & Magalhães, 2012), método de amostragem por quadrante, método de Relevê, método de amostragem Plot-less, Distance Methods, método de amostragem com fotografia (Fidelibus & Aller, 1993), método de parcelas (Moro & Martins, 2011), entre outros, o levantamento do trabalho realizou-se com base no método de amostragem por parcelas, com áreas retangulares, sendo que, a identificação das espécies no local contou com o suporte de botânicos Angolanos e Alemães.

É um método muito utilizado para amostrar comunidades de plantas e baseia-se na fixação de vários pontos ao longo das comunidades florestais, onde um quadrado define a área em que a cobertura da vegetação pode ser estimada, as plantas contadas ou espécies registadas, cujas áreas podem ser estabelecidas aleatoriamente, regularmente ou subjetivamente na área de estudo (Fidelibus & Aller, 1993). Caracteriza-se pelos seguintes elementos (Higgins et al., 2012):

- Distribuição dos indivíduos na comunidade.

- Tamanho e forma do quadrado.
- Número de observações necessárias para obter informações adequadas de estimativas da frequência e da densidade.

Cox, 1990; Barbour et al., 1987 citados por Fidelibus & Aller (1993) defendem que o tamanho da parcela deve ser grande o suficiente para incluir um número significativo de indivíduos, mas pequeno o suficiente para que as plantas sejam separadas, contadas e medidas sem duplicação ou omissão de indivíduos e adequa-se ao levantamento florístico de herbáceas (Higgins et al., 2012).

Assim, os dados foram recolhidos mediante trabalhos de campo realizados pela equipa do projeto 154 e contou com o apoio de indivíduos voluntários, num período temporal de aproximadamente 3 anos, mediante um calendário previamente estabelecido pela equipa de trabalho. Dada a extensão territorial da província e os trabalhos preliminares desenvolvidos com imagens de satélite do Landsat-8, as campanhas realizaram-se inicialmente na região Este, uma vez que os municípios do Kuvango e Chipindo apresentavam maior cobertura vegetal e confinavam os limites fronteiriços da província nesta região, em que de forma faseada, cobriu-se todo o território tendo sempre como base a densidade da vegetação.

Cada ponto da amostragem (Figura 4), corresponde a uma parcela seja de 1000 ou de 100 metros quadrados respetivamente, e tendo em conta as dificuldades encontradas durante levantamento da amostragem como: indícios de perigos de minas a leste da província principalmente no município do Kuvango e a oeste do território fundamentalmente a sul de Quilengues; a prática intensiva da agricultura na maior parte dos municípios substituindo áreas florestais em terrenos agrícolas, e ainda as vias de acesso e as condições do terreno que em vários momentos tornaram-se uma barreira a ultrapassar, não permitiram registar todos os municípios com igual número de parcelas de amostragem. As parcelas de 20×50 metros foram subdivididas por uma parcela de 10×10 metros para melhor registar a vegetação herbácea, com um buffer de 200 à 500 metros ao longo das povoações e das estradas.

O levantamento foi efetuado em todos os municípios da província da Huíla, com uma média de 20 parcelas por município sendo que, o município de Chipindo foi o

mais representado com um total de 80 parcelas, resultado do potencial vegetal que a região possui. Registaram-se todas árvores e arbustos com diâmetro igual ou superior a 5cm e para as herbáceas e gramíneas teve-se em conta a ocorrência de cada espécie dentro da parcela e posteriormente a atribuição de uma percentagem geral.

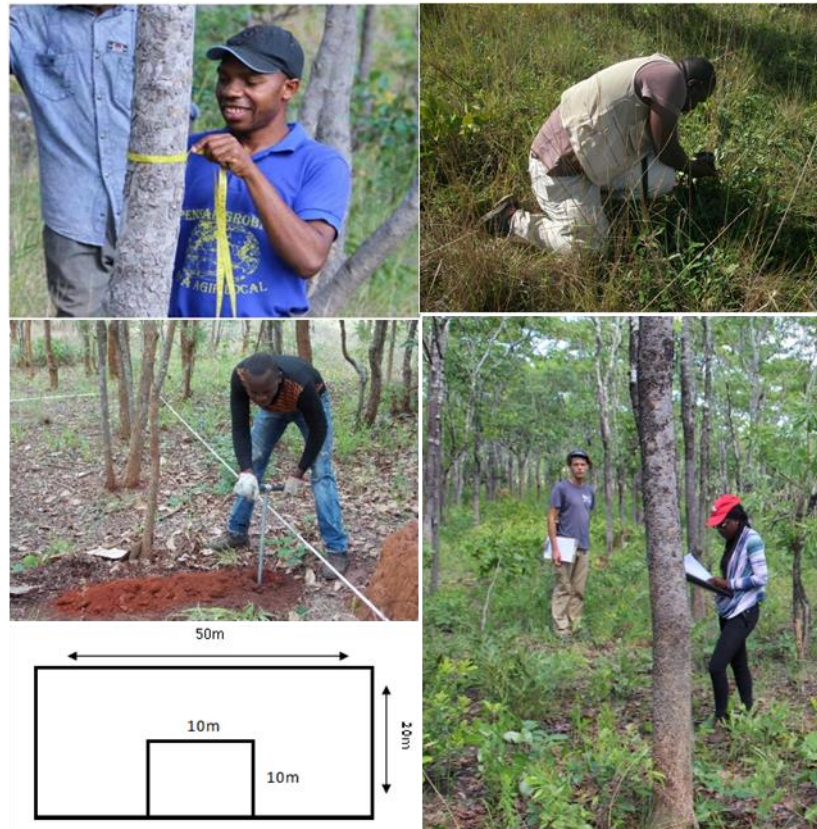


Figura 4- Levantamento amostral da vegetação. Fotos de Maiato, F.

Os dados recolhidos foram inicialmente registados em fichas técnicas previamente elaboradas, cujos principais itens a preencher estavam diretamente relacionados com as ferramentas de trabalho do software de gestão e análise da informação da vegetação “BIOTABase” representado na Figura 5, uma vez que todos os dados recolhidos no campo, seriam posteriormente armazenados no software para análises futuras. Contudo, para além de serem maioritariamente registados dados de vegetação, outras ocorrências no nicho ecológico não eram ignoradas, pela possibilidade de exercerem grande influência no tipo de vegetação existente.

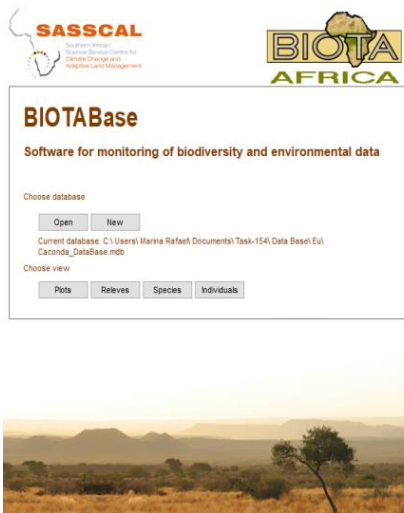


Figura 5 - BIOTABase. Software de gestão de dados do projeto SASSCAL.

Em cumprimento de determinados aspetos culturais, o levantamento da vegetação contou com o apoio das autoridades governamentais e culturais de toda a província em que, muitas vezes, os anciãos da área permitiram registar as espécies com os nomes científicos e locais (vernaculares) respetivamente. Por outro lado, para além da utilização de dispositivos GPS para registar as coordenadas do centro de cada parcela, utilizaram-se também diferentes fichas de campo criadas pela equipa Alemã com as respetivas alterações pela equipa Angolana para descrever a vegetação e outros aspetos ambientais que direta ou indiretamente influenciavam a disposição da mesma, máquina fotográfica para registar a estrutura e composição da vegetação e principalmente a diversidade florística da área, dispositivo laser (Haglof) para medir a altura das árvores e o declive em graus e ainda, a ferramenta “Soil Auger” para recolher amostras de solo que permitirão diferentes estudos futuros sobre a relação da vegetação e a qualidade do solo da região.

Tendo em conta que o principal objetivo do projeto é elaborar a carta de vegetação da província da Huíla, as áreas selecionadas correspondiam àquelas com maior densidade de vegetação arbórea, com PAP ou CAP a altura do peito (1,30 metros) e DAP igual ou superior a 5cm de circunferência.

### 3.3.3. Dados auxiliares (municípios, geologia, Parque Nacional do Bicuar e grelha cartográfica)

No Quadro 6 estão representadas as variáveis utilizadas para desenvolver a aplicação, o sistema de referência em que as mesmas estão projetadas e a respetiva fonte onde os dados estão disponíveis.

Quadro 6 - Características dos dados geográficos auxiliares.

Layers	Sistema de referência	Fonte dos dados
Municípios	WGS 1984	<a href="http://www.diva-gis.org/">http://www.diva-gis.org/</a>
Litologia	WGS 1984	<a href="https://rmgsc.cr.usgs.gov/outgoing/ecosystems/AfricaData/">https://rmgsc.cr.usgs.gov/outgoing/ecosystems/AfricaData/</a>
Parque Nacional do Bicuar	WGS 1984	Base de dados da Huíla IGCA
Grelha cartográfica	WGS 1984	Base de dados da Huíla

### 3.3.4. Preparação e carregamento de dados

O servidor de base de dados do PostgreSQL, através da ligação do QGIS e da funcionalidade DB Manager na Figura 6, permitiu não só armazenar e distribuir os dados nele contidos como também, criar um esquema “mestrado” onde foram alocados todos os atributos dos layers dos municípios, do Parque Nacional do Bicuar, da litologia e da grelha cartográfica.

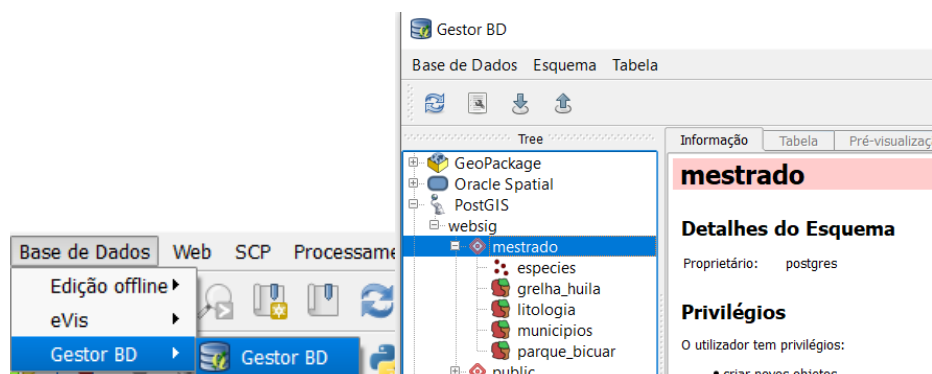


Figura 6 - Gestor da Base de dados com os layers de seleção.

Sobre a base de dados denominada “huila” e no esquema “mestrado”, foi calculada a diversidade de Shannon e de Simpson para o município dos Gambos numa fase experimental e posteriormente para todos os outros municípios da província e restantes layers em questão. Através do servidor de mapas Geoserver foi estabelecida uma ligação à base de dados “huila” e ao esquema “mestrado”, onde foi gerida toda informação geográfica e elaboração dos mapas.

### **3.4. Implementação**

Para visualizar, pesquisar e calcular índices sobre a diversidade vegetal da província da Huíla a partir dos diferentes layers vetoriais existentes, foi implementada uma aplicação WebSIG onde futuramente os utilizadores poderão visualizar um conjunto de informações relevantes a partir da internet. Nos pontos seguintes é descrito o desenvolvimento da base de dados geográfica, da aplicação WebSIG, o processo de cálculo dos indicadores de diversidade e das funcionalidades da aplicação.

#### **3.4.1. Desenvolvimento da base de dados geográfica**

Os ficheiros seleccionados para desenvolver a aplicação foram inicialmente adicionados em formato shapefile ao software QGIS. Nestes temas criaram-se os campos ID como chaves primárias em cada uma das tabelas e posteriormente adicionaram-se-lhes outros 2 campos para calcular os índices de Shannon e Simpson respetivamente.

Na Figura 7 é possível observar a organização da base de dados geográfica PostgreSQL/PostGIS desenvolvida para dar suporte à aplicação WebSIG do projeto. A base dados contem o esquema “mestrado” que integra as 5 tabelas geográficas utilizadas.

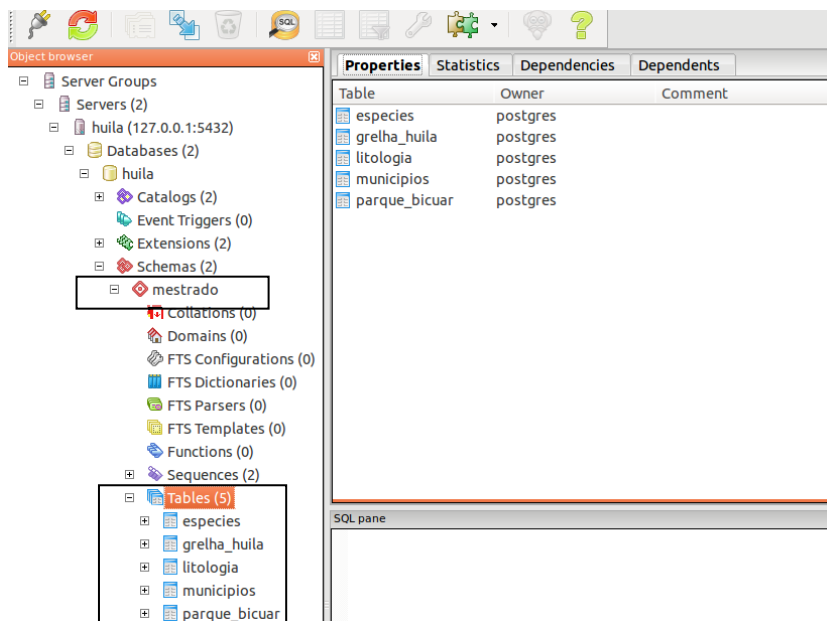


Figura 7 - Integração dos dados na base de dados do PostegreSQL.

Os limites geográficos do país representados na Figura 8, foram extraídos do site do DIVAGIS <http://www.diva-gis.org/> que disponibiliza diferentes dados em diferentes formatos, fornecendo dados das três principais divisões administrativas nomeadamente, ao nível da província, do município e da comuna, no sistema de referências WGS 1984 Zona 33 Sul em que, posteriormente foi cortada a área de interesse no caso, a província da Huíla, subdividida pelos quatorze municípios correspondentes e transformada no sistema de referência WGS 1984.



Figura 8 - Publicação do layer dos municípios no Geoserver.

Da base de dados da província da Huíla foi extraída o ficheiro shapefile dos limites do Parque Nacional do Bicuar (Figura 9), que adicionados ao software QGIS permitiram unir aos municípios da província e para posterior comparação da distribuição da vegetação tanto fora quanto dentro do parque. Elevado à categoria de Parque Nacional aos 26 de dezembro de 1964, possui uma área de 7900 Km<sup>2</sup> entre os municípios da Matala e do Quipungo, na zona de transição entre o bioma de *Brachystegia* e o bioma árido do Sudoeste, com bosque caduco e seco, e savanas e estepes da região fitogeográfica zambeziaca dominada por *Acacia*, *Sterculia*, *Adansonia* e *Commiphora* (Ministério do Ambiente, 2016).

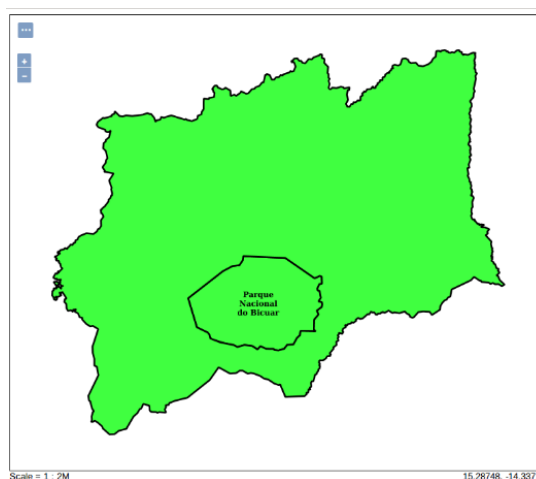


Figura 9 - Publicação do layer do Parque Nacional do Bicuar no Geoserver.

Quanto à litologia (Figura 10), os dados foram disponibilizados pela American Association of Geographers (AAG) em 2013 com a colaboração da United States Geological Survey (USGS), da NatureServe e do Regional Centre for Mapping of Resources and Development do Kenya, onde estão representados um conjunto de mapas sobre ecossistemas terrestres e vegetação de África. Inicialmente era um ficheiro raster cortado pelos limites geográficos da província, converteu-se o ficheiro em shapefile e foram dissolvidos todos os atributos que pertenciam a mesma unidade litológica, com o objetivo de facilitar a interpretação dos resultados.

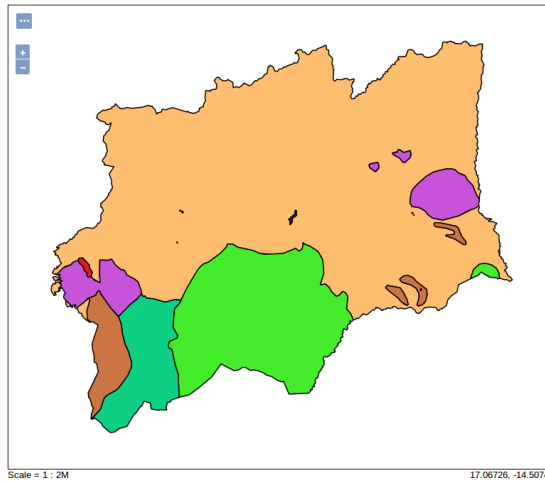


Figura 10 - Publicação do layer da litologia no Geoserver.

Uma vez que a distribuição espacial pode ser representada em mapas de quadrículas, onde a intensidade da cor em cada quadrícula representa a disposição das espécies e o esforço amostral, o sistema QDGC ou Sistema Recticular de Malha, consiste num conjunto de quadrículas alfa numéricas, onde cada célula está dividida em quatro quadrados, referenciados pelas letras maiúsculas A, B, C e D com 15' de largura e estas por sua vez, subdividem-se em quadrados referenciados pelas letras minúsculas a, b, c e d num total de dezasseis quadrículas, conforme o exemplo na Figura 11 (Larsen, Holmern, Prager, Maliti, & Roskaft, 2009) . Entretanto, foi extraído da base de dados da província o ficheiro de quadrículas com 30 cm de área e cortado pelos limites geograficos da mesma, representados na Figura 12.

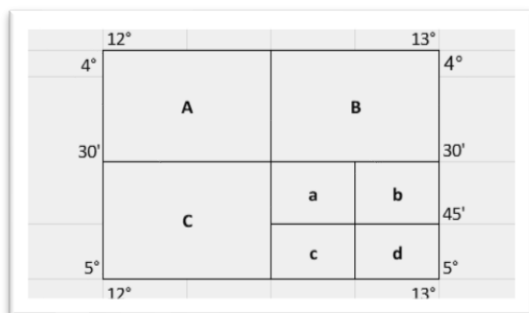


Figura 11 - Representação da subdivisão de uma célula do sistema QDGC.

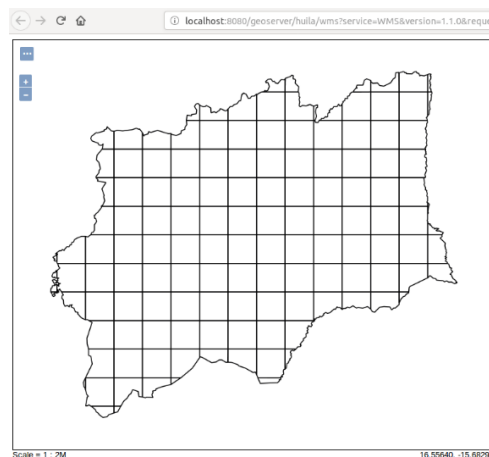


Figura 12 - Publicação da grelha de cartográfica Bicuar no Geoserver.

### 3.4.2. Desenvolvimento da aplicação web

A Figura 13 resume o esquema de trabalho que foi seguido para criar a aplicação WebSIG que inclui a publicação dos serviços WMS, o desenvolvimento aplicativo, os testes e a disponibilização da aplicação.

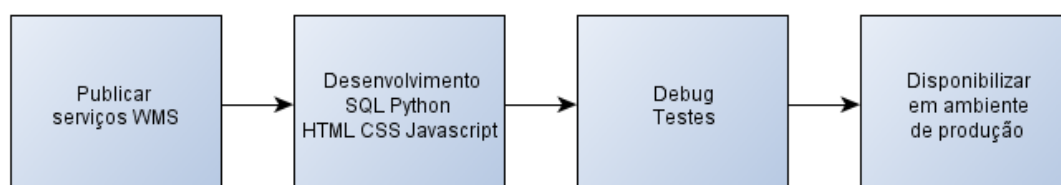


Figura 13 – Workflow do desenvolvimento da aplicação WebSIG.

A primeira tarefa consistiu na publicação dos serviços WMS. A organização dos 13 layers vetoriais representados no Geoserver teve como base a criação da workspace “huila”. A ligação à base de dados geográfica foi estabelecida através da store denominada “database”. Todos os layers publicados no Geoserver foram testados através da ferramenta “layer preview” (Figura 14).

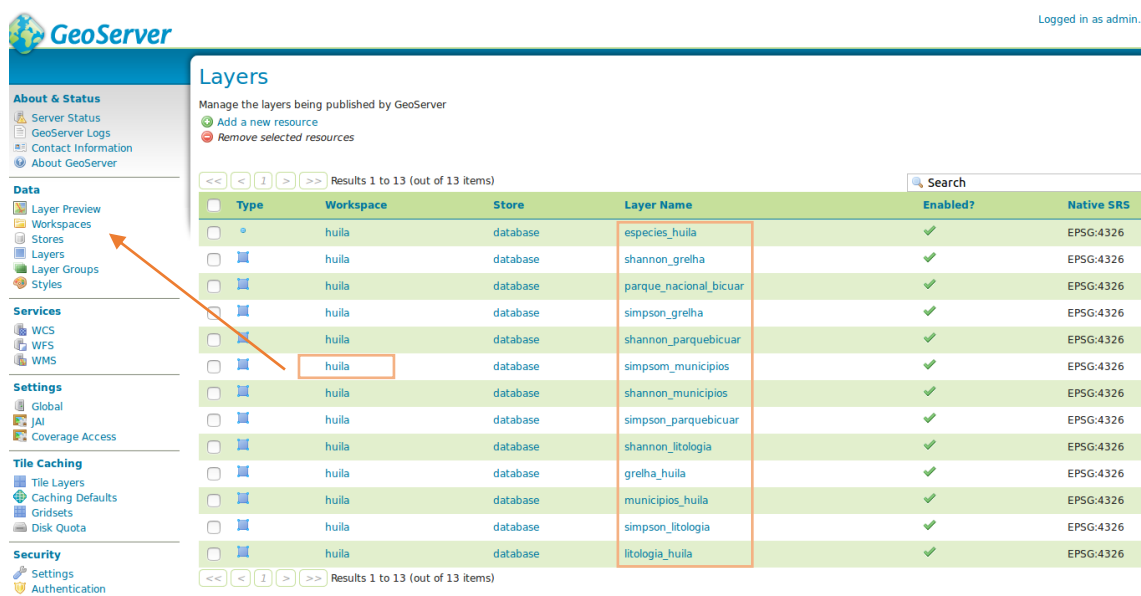


Figura 14 - Publicação dos layers na Worspace "huila".

Para garantir uma visualização adequada dos mapas, criaram-se estilos para cada layer, designadamente para o tema dos municípios, do Parque Nacional do Bicuar, da litologia e das espécies. A criação inicial dos estilos representados na Figura

15, foi realizada num editor de texto a partir dos exemplos disponíveis no site [docs.geoserver.org/stable/en/user/styling/sld/cookbook/](https://docs.geoserver.org/stable/en/user/styling/sld/cookbook/). Outra maneira de configurar os estilos baseou-se na utilização do QGIS, adicionando os ficheiros shapefile, configurando a representação cartográfica e a partir das propriedades de estilos do tema, gravaram-se os ficheiros SLD com os estilos definidos.

A criação dos ficheiros SLD para definir os estilos dos mapas, permitiu desenhar os mapas dos índices de diversidade num padrão de cores, onde quanto maior a diversidade de espécies, maior é a intensidade da cor representada no mapa. Adicionalmente aos estilos dos índices de diversidade foram criados os estilos restantes temas, como por exemplo as espécies ou os limites administrativos.

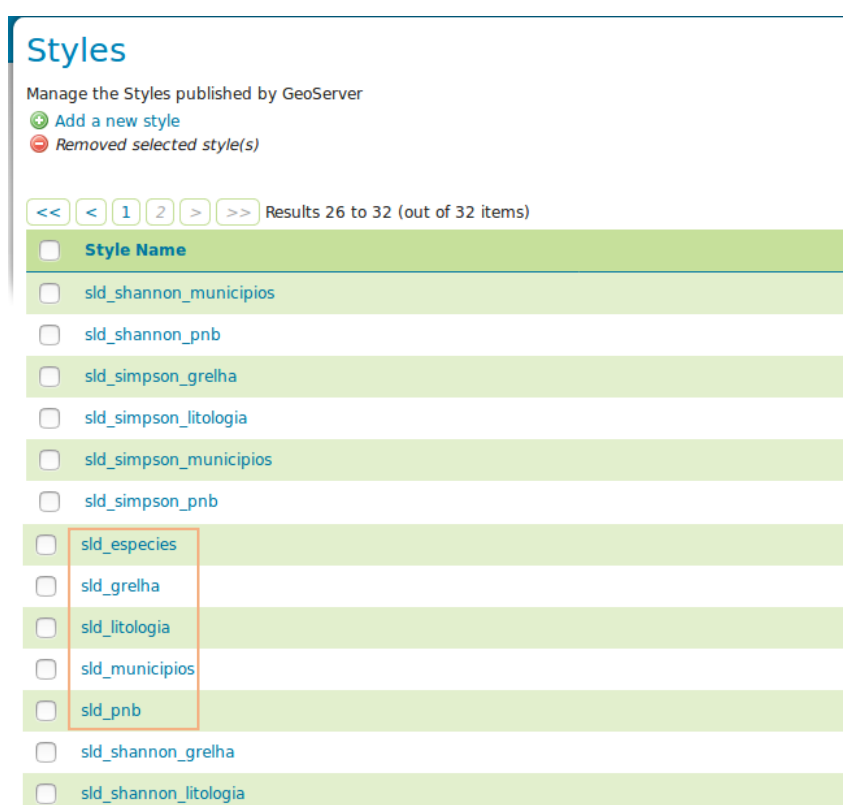


Figura 15 - SLD da aplicação da diversidade de espécies da província da Huíla.

A tarefa seguinte consistiu no desenvolvimento das instruções SQL, *scripts* de Python e das páginas de HTML/TPL. Com recurso à ferramenta SQL da base de dados, criaram-se consultas (*queries*) que permitiram inquirir a base de dados sobre a diversidade de espécies na província da Huíla, bem como calcular/atualizar os campos referentes aos índices. Com base em 8 routes (ou URL dispatching) do ficheiro de

Python “calcula.py”, desenvolveram-se as consultas de atualização da base de dados que permitiram calcular os índices sobre os temas auxiliares, nomeadamente, municípios, Parque Nacional Bicuar, litologia e grelha cartográfica (ver anexo 1). Nestas routes constam essencialmente- a consulta com a variável e o índice a calcular e as instruções de Python para calcular tanto as áreas amostradas quanto as não amostradas (Figura 16). Por ser impossível amostrar todas as áreas do território, nalgumas regiões não foram feitos levantamentos e consequentemente em algumas áreas não são calculados os índices.

```

cur.execute("SELECT SUM(PixLNPI) * -1 from (SELECT especie, COUNT (especie), (SELECT COUNT (*) FROM mestrado."parque_bicuar" points INNER JOIN mestrado."parque_bicuar" polys ON ST_Within
(points.geon,polys.geon) WHERE polys.id = {}) as total, 1/(COUNT (especie)::decimal / (SELECT COUNT (*) FROM mestrado."especies" points INNER JOIN mestrado."parque_bicuar" polys ON ST_Within
(points.geon,polys.geon) WHERE polys.id = {})) * (COUNT (especie)::decimal / (SELECT COUNT (*) FROM mestrado."especies" points INNER JOIN mestrado."parque_bicuar" polys ON ST_Within
(points.geon,polys.geon) WHERE polys.id = {})) as PixLNPI FROM mestrado."especies" points INNER JOIN mestrado."parque_bicuar" polys ON ST_Within(points.geon,polys.geon) WHERE polys.id = {} GROUP BY
especie ORDER BY especie) as ShannonWeaver;" .format(id_pol,id_pol,id_pol,id_pol))

rows = cur.fetchall()

for row in rows:
    print "Shannon-Weaver: %s" % (row)
cur.execute("UPDATE mestrado."parque_bicuar" set shannon={} WHERE id={};".format(row[0],id_pol))
con.commit()

```

Figura 16 - Routes no ficheiro de Python “calcula.py”.

O processo de leitura, interpretação e visualização dos dados na plataforma WebSIG só foi possível através da criação do ficheiro HTML/TPL “listatabpol.tpl”. No servidor web, os ficheiros com a extensão “tpl” são modelos que permitem a integração de Python com HTML. Nestes ficheiros/páginas foi possível definir o interface, designadamente adicionar ferramentas para calcular os índices de diversidade de Shannon e Simpson (Figura 17), a configuração dos temas (ver exemplo para o Parque Nacional do Bicuar no anexo 2), do zoom e das coordenadas do centro da província ou as legendas de cada mapa de diversidade.

```

<script>
function myFunction() {
    tabelaseleccionada = document.getElementById("myTable").value;
    indiceseleccionado = document.getElementById("mySelect").value;
    //alert(indiceseleccionado + tabelaseleccionada);
    if (tabelaseleccionada == "municipios" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/municipios_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "municipios" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/municipios_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "litologia" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/litologia_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "litologia" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/litologia_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "grelha_huila" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/grelha_huila_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "grelha_huila" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/grelha_huila_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "parque_bicuar" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/parque_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "parque_bicuar" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/parque_shannon";
    }
}
</script>

```

Figura 17 - Routes no ficheiro tpl “listatabpol.tpl”.

A terceira tarefa consistiu no debug da aplicação e nos testes aos resultados. O debug da aplicação foi realizado através de sucessivos testes. Nestes testes verificou-se que devido à quantidade de dados existentes na base de dados, os primeiros resultados dos cálculos dos índices de diversidade variaram entre 4-5 para Shannon (valores de diversidade muito altos) e 0,001-0,010 (valores de diversidade muito baixos) para Simpson. Para validar os resultados calculados através da aplicação WebSIG os índices foram recalculados em Excel tendo-se obtido os mesmos resultados. Com esta validação verificou-se a necessidade de alterar a estratégia metodológica. Para tal, na breve reunião com os biólogos do Herbário do Lubango e com o coorientador do trabalho, decidiu-se filtrar os dados na tabela das espécies e trabalhar simplesmente com as árvores e arbustos com diâmetro igual ou superior a 15cm, que correspondia ao real interesse do projeto SASSCAL.

A última tarefa consistiu na publicação da aplicação na internet. As alternativas de divulgação da informação sobre a diversidade da vegetação da província da Huíla na internet seriam: 1) o Data Center do CEBEA (Centro de Biodiversidade do ISCED-Huíla), que se encontra paralisado por falta de ferramentas no seu aparelho; 2) o site do ISCED-Huíla (Instituto Superior de Ciências de Educação da Huíla), que não se encontra disponível por questões técnicas; 3) e o site da Escarpa (projeto implementado pelo Herbário do Lubango, ISCED Huíla e o Programa “Great Escarpment Biodiversity Research Programme” da África do Sul em colaboração com o Herbário de Kew no Reino Unido, visando registar a diversidade florística da escarpa de Angola), que infelizmente também não se encontra totalmente concluído. Pelos motivos descritos anteriormente e apesar de tecnicamente a máquina virtual com o WebSIG desenvolvido se encontrar preparada para ser disponibilizada na internet, não foi possível encontrar alojamento e/ou um domínio para a sua publicação na internet.

### **3.4.3. Diversidade vegetal da província da Huíla**

Na arquitetura cliente-servidor da aplicação WebSIG desenvolvida; o cliente envia o pedido ao servidor, o servidor processa o pedido e manda para um *script*, em

que o mesmo processa os dados na base de dados geográfica e devolve para o servidor, e finalmente o servidor devolve a informação para o cliente (Figura 18).

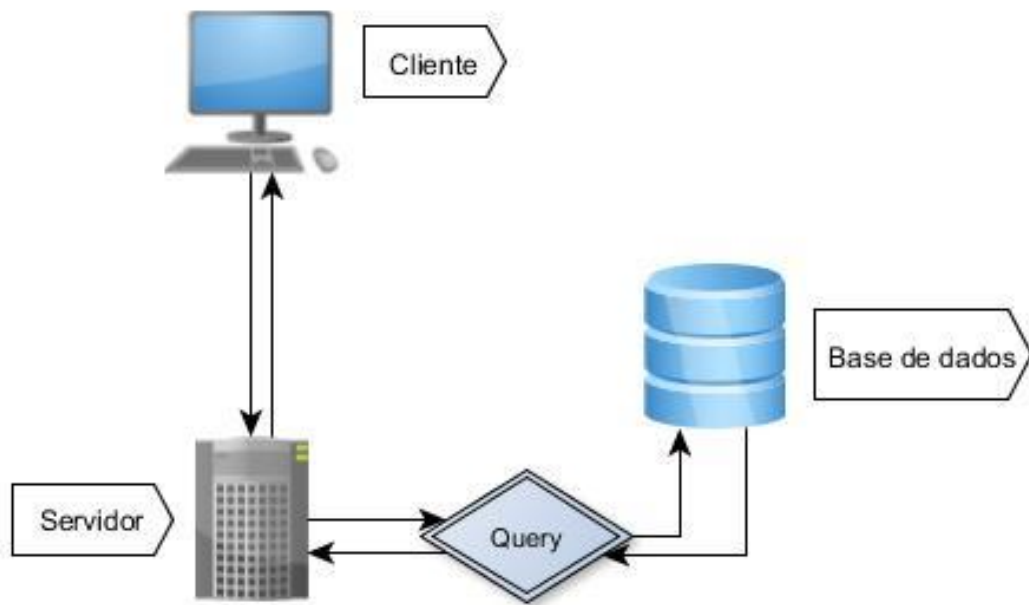


Figura 18 - Arquitetura Web Service da aplicação.

O processo de cálculo da diversidade vegetal para os vários temas auxiliares consiste numa seleção inicial dos temas e do índice na página inicial (listatabpol.tpl), seguindo-se o redireccionamento para uma route (municípios\_shannon) que executa uma consulta de atualização da tabela auxiliar selecionada, calculando o índice e redireccionando para a página de resultados (ex. municípios\_shannon.tpl) onde se apresenta o mapa do tema escolhido com a representação cartográfica do índice (conforme observa-se na Figura 19).

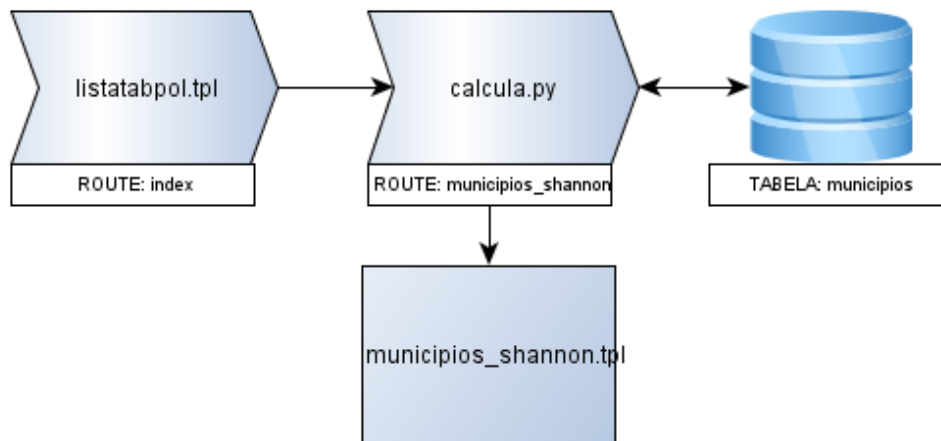


Figura 19 - Exemplo do processo de cálculo de um índice.

O processo descrito pode ser aplicado para qualquer tema auxiliar (ex. municípios, litologia, grelha cartográfica) e para os índices Shannon ou Simpson.

#### 3.4.4. Funcionalidades da aplicação web

A aplicação WebSIG denominada “Landscape metrics” disponibiliza informação sobre a diversidade de riqueza de espécies da província da Huíla e dispõe de um conjunto de ferramentas interativas e de fácil manuseio que tornam a utilização mais eficiente e simples. Simplesmente é necessário que o utilizador saiba qual o índice que pretende calcular, o tema de polígonos onde será calculado o índice selecionado e clicar no botão “Calcular”.

A Figura 20 mostra como estão organizadas as ferramentas na área inicial da aplicação, bem como os restantes elementos que compõem a interface. Observa-se, o mapa base em tom mais escuro com os limites administrativos do território Angolano, sob as delimitações administrativas dos municípios da província da Huíla com a respetiva descrição dos municípios.

No canto superior esquerdo estão alocados os layers de comparação e os respetivos índices de diversidade, bem como o botão que permite realizar esta



correspondente e a sua operacionalização termina com um clique no botão “calcular”. No Quadro 7 encontra-se, uma breve descrição das funcionalidades da aplicação e das opções de seleção existentes.

Quadro 7 - Descrição das ferramentas para calcular os índices de diversidade de riqueza na província da Huíla na plataforma do Leaflet.

<b>Selecionar tabelas</b>	<b>Ferramentas e layers de análise</b>	<b>Funcionalidades</b>
<b>Layers de base</b>	Grelha cartográfica	Visualização da grelha cartográfica de 30 cm da província da Huíla
	Litologia da Huíla	Visualização das principais unidades litológicas da província da Huíla
	Parque Nacional do Bicular	Visualização dos limites geográficos do PNB dentro da província da Huíla
	Municípios da Huíla	Permite visualizar os limites geográficos dos municípios da Huíla
	Dados das espécies	Permite visualizar o esforço amostral da vegetação em toda extensão territorial
<b>Tabelas para cálculo</b>	Grelha_huila	Calcula a diversidade de espécies em cada quadrícula da grelha
	Municipios	Calcula a diversidade de espécies em cada município
	Parque_bicular	Calcula a diversidade de espécies dentro e fora do PNB
	Litologia	Calcula a diversidade de espécies em cada unidade litológica
<b>Select index</b>	Shannon	Calcula a diversidade de Shannon com base nos valores calculados
	Simpson	Calcula a diversidade de Simpson com base nos valores calculados
<b>Operacionalização do índice</b>	Calcular	Permite visualizar a diversidade de espécies com base no layer e no índice selecionado

## 4. APLICAÇÃO A UM CASO DE ESTUDO- PROVÍNCIA DA HUÍLA

É neste capítulo onde faz-se a descrição geral das características biofísicas da área de estudo e analisa-se a distribuição da diversidade de Shannon e Simpson na província da Huíla tendo em conta os layers de comparação.

### 4.1. Enquadramento geográfico

De acordo com os dados do censo de 2014 realizado pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), a população Angolana é de 25.789.024 de habitantes, numa área de 1.246.700 Km<sup>2</sup>, dos quais 12.499.041 de habitantes são do sexo masculino que corresponde a 48% da população total residente e 13.289.983 do sexo feminino num total de 52% da população residente respetivamente (INE, 2014). Os resultados obtidos apontam a Huíla como sendo a segunda província mais populosa a seguir à capital Luanda, com um total de 2.354.398 de habitantes, correspondente a uma área de 75.002 Km<sup>2</sup>, dividida por 14 municípios e 52 comunas.

Localizada no sudoeste do país e com um formato aparentemente retangular (

Figura 21), a província da Huíla limita-se pelos paralelos 13° 15' e 16° 30' Sul e pelos meridianos 13° 30' e 16°, confinada a oeste pela província do Namibe, a Norte pelas províncias de Benguela e do Huambo, a este pelo Bié e Cuando-Cubango, e a sul pela província do Cunene (CESO, 2010), sendo a agricultura e a pecuária as principais fontes de subsistência familiar.

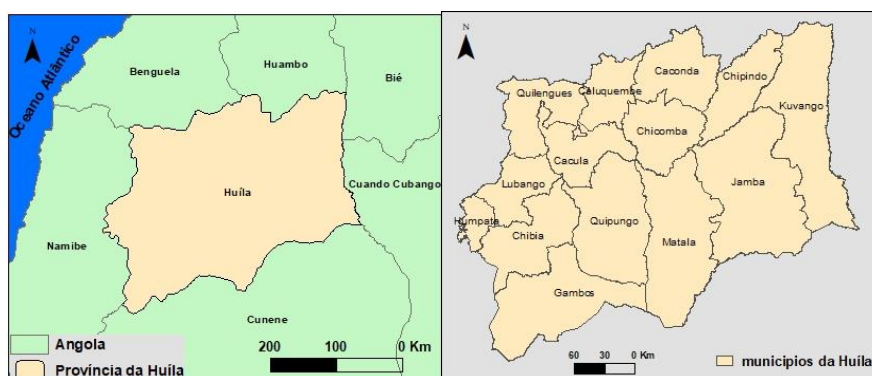


Figura 21 - Representação geográfica dos limites da província e municípios da Huíla.

Estrategicamente posicionada e dispendo de um clima específico com significantes recursos minerais, agropecuários e com potenciais condições para o desenvolvimento do turismo de montanha, a sua capital é o Lubango com mais de 3.100 km<sup>2</sup> de extensão territorial, e apresenta-se como um pilar para o desenvolvimento no sul de Angola.

## **4.2. Caraterísticas biofísicas da província da Huíla**

### **4.2.1. Clima**

Tal como ocorre em todo o território Angolano, a província caracteriza-se por um clima tropical quente que vai alternando de húmido (nos municípios a nordeste e Quilengues), moderado pela altitude (nos municípios do Lubango e da Humpata) e seco nos municípios mais a sul, principalmente Chibia e Gambos (Minua, 2006). Localizada no vasto conjunto de superfícies planálticas do interior de Angola, as suas altitudes chegam a atingir os 2200 metros, sendo as zonas de altitudes intermédias entre 1400-1800 metros respetivamente.

As precipitações médias anuais são superiores a 1000 mm nalgumas regiões (Minua, 2006), com duas estações climáticas distintas: a das chuvas que é húmida e quente, que decorre de setembro a abril, e a do cacimbo que é seca e fria, ocorrendo normalmente de maio a agosto respetivamente (Santos, 1969).

As temperaturas registadas apontam uma média anual de 18°C, sendo que na época quente sobe consideravelmente e na época fria desce bruscamente, provocando uma amplitude térmica muito acentuada (CESO, 2010).

### **4.2.2. Hidrografia**

Das cinco grandes bacias hidrográficas de Angola, duas localizam-se na província da Huíla. Estas bacias hidrográficas correspondem aos rios Cunene, com um perfil longitudinal de 1200 km numa extensão navegável de 200 km e o rio Cubango

com 975 km (VVAA, 2000). Nascem no planalto central (Huambo) e caracterizam-se pelo percurso pouco navegável em função do elevado declive e da queda brusca de altitude, mas de forte aproveitamento hidroelétrico dado o elevado e rápido declive (Ponte, 2006), onde simultaneamente se encontram os solos mais férteis para a agricultura (CESO, 2010).

A província apresenta uma rede hidrográfica dependente das características hipsométricas e da pluviosidade. Esta última vai diminuindo à medida que nos afastamos para sul, que opõe áreas mais húmidas a áreas de forte escassez de humidade, ditando assim, a existência de alguns cursos de água de elevada dimensão, permanentes quanto ao seu regime, mas sobretudo uma dissecação do território por uma rede de cursos de água temporários, que escoam maioritariamente no sentido aproximado norte-sul (CESO, 2010).

#### **4.2.3. Relevo**

Quanto ao relevo, o território está localizado no maciço continental, com rochas eruptivas antigas e formações sedimentares continentais (Barbosa, 1970), com numerosas formações graníticas (CESO, 2015) que vão aumentando gradualmente de este para oeste, até à região planáltica e montanhosa da chela (Minua, 2006) que possui solos delgados e pedregosos derivados de formações quartzíticas (Barbosa, 1970). As formações sedimentares continentais são constituídas por arenitos ferruginosos, silicificados e calcários, recobertos por mantos de areias de origem eólica (CESO, 2015).

Pela sua localização geográfica, a província é afetada pelo relevo de altitudes na zona oeste, propriamente nos municípios do Lubango e da Humpata com altitudes superiores a 2000 metros. Nos restantes municípios as altitudes são inferiores a 1500m (Minua, 2006). Na zona planáltica o relevo é acentuado e caracteriza-se pela existência de rochas cristalinas quartezíferas, pré-câmbricas e outras rochas do chamado complexo de base, com solos ferralíticos, solos diversos com materiais lateríticos a pequenas profundidades e solos hidromórficos (Barbosa, 1970).

Predominam também pequenas zonas com relevo altamente metamorfozido e com granitos porfíros e porfírita a este da província; noritos, gabros e peridotitos a sudoeste; e pequenas porções com rochas eruptivas pós pérmicas a noroeste, sendo que a província é essencialmente composta por granitos, granodioritos e quartzo (CESO, 2015).

#### 4.2.4. Vegetação

A disposição de vegetação está relacionada com as características biofísicas da região, sendo o homem o principal causador das alterações da estrutura paisagística e florística da mesma, como refere Barbosa (1970) na sua memória descritiva sobre a carta fitogeográfica de Angola. De acordo com Chisingui et al. (2018), em 1939 foi elaborado o primeiro mapa fitogeográfico de Angola com 19 tipos diferentes de vegetação e em 1970 Barbosa (1970) produziu uma nova carta fitogeográfica, onde estavam descritos 32 tipos de vegetação e 13 comunidades arbóreo-arbustiva para a província da Huíla.

No que diz respeito à vegetação arbóreo-arbustiva, a província da Huíla é essencialmente composta pela vegetação de Miombo que se caracteriza pela presença de *Brachystegia*, *Julbernardia* e da família Combretaceae, e de alguma vegetação afro-montana (NBSAP, 2006) com savanas que penetram nas florestas e se estendem por áreas e coberturas descontínuas de arbustos e ervas (Cabral, 2003).

A classificação da vegetação da Huíla com recurso ao algoritmo do ISOPAM (Chisingui et al., 2018), permitiu identificar as famílias vegetais mais dominantes em termos de riqueza de espécies nomeadamente, a família Fabaceae representada pela subfamília Caesalpinioideae, seguindo-se as famílias Combretaceae e Euphorbiaceae, em 13 comunidades arbóreo-arbustiva diferentes. De uma forma geral, a vegetação da Huíla caracteriza-se da seguinte forma:

- Miombo aberto.
- Miombo e savana dos declives mesoplanálticos.

- Miombo de *Brachystegia spiciformis* var. *latifoliolata*, *B. boehmii*, *Julbernardia paniculata*, e por vezes maciços de Marquesia, Berlinia e Daniellia.
- Mosaico de gramineas e matas de miombo.
- Miombo de *Julbernardia* e *Brachystegia*.
- Prados de altitude ou Anharas (em solos ferralíticos e delgados).
- Mosaico de mata de baixo crescimento e savana de gramíneas altas.
- Mosaico de floresta húmida densa, savanas e gramíneas.

Tal como em muitas regiões de Angola, a província da Huíla tem sido afetada pelo fenómeno da desflorestação, o que certamente tem causado alguma perda da biodiversidade existente.

### 4.3. Casos de uso

Este subcapítulo é dedicado à descrição das funcionalidades propostas para o WebSIG implementado e denominado Landscape metrics. Para tal, foram desenvolvidos 4 casos de uso, correspondentes aos temas de polígonos auxiliares, designadamente os limites administrativos dos municípios da província, as unidades litológicas, os limites geográficos do Parque Nacional do Bicular e a grelha cartográfica. Para cada um destes temas auxiliares foram calculados os índices de Shannon e Simpson. Para além dos índices de diversidade obtidos através do WebSIG, podem ser visualizados para a província da Huíla, nas páginas de resultados, os seguintes valores:

- **N:** Número total de indivíduos na base de dados.
- **Nmax:** Número total de indivíduos registados.
- **S:** Número total de espécies registadas.

Com mais de 40.000 registos inseridos na base de dados, desde vegetação herbácea, arbórea, arbustiva e gramíneas, mais de 9.000 registos são pertencentes a espécies arbórea-arbustivas com 175 espécies diferentes num total de 115 parcelas de amostragem da vegetação com 1000 m<sup>2</sup> de área e o mesmo número de sub-parcelas

de 100 m<sup>2</sup>. O tema das espécies está representado na base dados (Figura 22) com o nome “especies” e no servidor de mapas com a designação “especies\_huila”, servindo de base para calcular os índices de diversidade de riqueza Shannon e Simpson nos temas auxiliares.

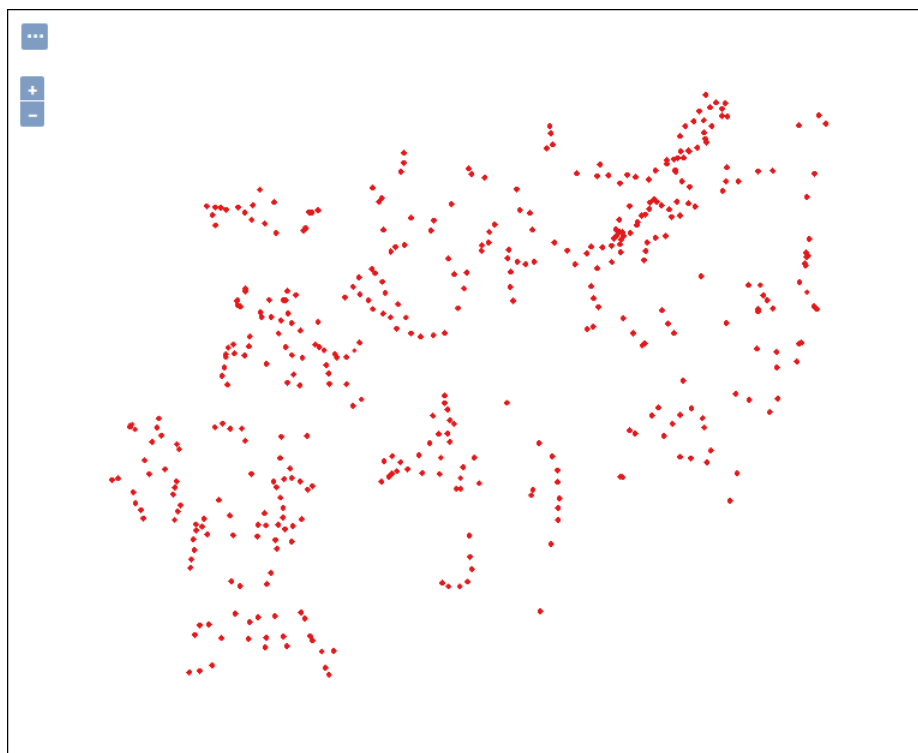


Figura 22 - Esforço amostral das campanhas de campo do projeto 154.

#### 4.3.1. Municípios

O primeiro caso de uso é dedicado ao tema dos limites administrativos dos municípios da província. Na página de resultados do primeiro caso de uso estão representados os 14 municípios da província da Huíla, com os respetivos nomes em fundo. O menor município da província da Huíla é a Humpata com 1.261 Km<sup>2</sup>, localizado a oeste da província, e o maior município é a Jamba com 11.110 Km<sup>2</sup>, localizado a este da província.

Na Figura 23 pode observar-se a interface de seleção do tema dos municípios e de seleção do índice Shannon que conduz ao cálculo do índice e à página de resultados. Este processo de cálculo repetiu-se para o índice Simpson. O mesmo

processo ocorre para os outros temas selecionados, e estão representados na Figura 26, Figura 29 e Figura 32.

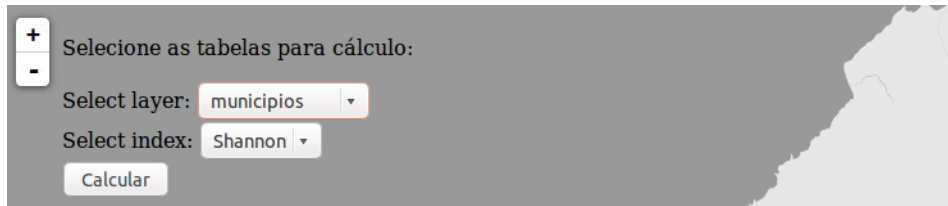


Figura 23 - Seleção do tema dos municípios e do índice de Shannon.

A Figura 24 corresponde à página do resultado e representa a **diversidade de Shannon** na província da Huíla através de um padrão de cores e categorizadas em cinco classes.

A variação da diversidade não é uniforme ao longo da província, com valores de diversidade que variam entre 2.00-3.33, sendo que, a maior diversidade se regista nos municípios da Chibia, Quilengues e Cacula entre 3.09-3.33 e os menores índices nos municípios dos Gambos, de Caconda e da Matala entre 2.00-2.46. Nota-se que apesar do maior esforço amostral se registar no município do Chipindo, este não apresenta grandes índices de diversidade de Shannon com valores entre 2.65-3.09 ao lado dos municípios do Lubango e Chicomba. A diversidade diminui nos municípios da Jamba e do Quipungo (2.52-2.65) e decresce ainda mais nos municípios do Kuvango, da Humpata e de Caluquembe respetivamente, numa variação entre 2.46-2.52.

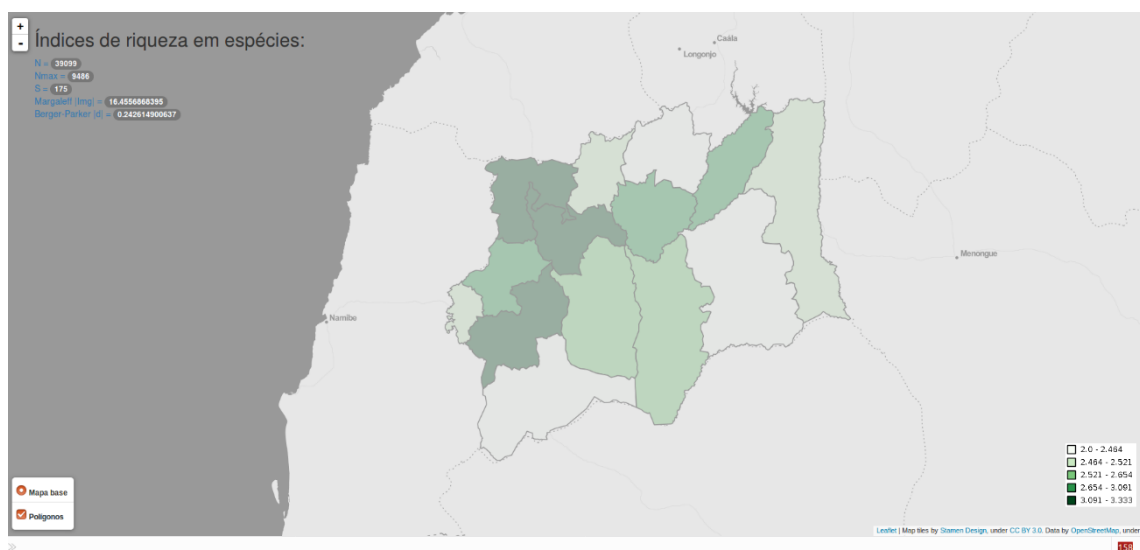


Figura 24 - Diversidade de Shannon com base nos municípios da província da Huíla.

Fatores como o tipo de solo, a localização geográfica e a prática de atividades que não impliquem necessariamente o corte de árvores para a subsistência das famílias também poderão estar na base da elevada diversidade entre 3.09-3.33.

Relativamente à **diversidade de Simpson** (Figura 27), também classificada em cinco unidades distintas, varia entre 0.06 e 0.22 (distantes do valor máximo 1). Os municípios do Kuvango, da Jamba e de Caconda apresentam maior dominância de espécies entre 0.18-0.22, seguidos dos municípios do Kuvango, de Caluquembe e do Quipungo entre 0.13-0.18, e dos municípios do Chipindo e de Chicomba que variam entre 0.12-0.13. Ao contrário do índice de Shannon, a menor diversidade de Simpson regista-se nos municípios de Quilengues, Chibia e Cacula variando entre 0.06-0.07 seguidos dos municípios da Humpata, Lubango e Matala respetivamente, com valores que variam entre 0.07-0.12.

A quantidade de quedas pluviométricas que o município Kuvango regista, a variedade de cursos de água em toda sua extensão territorial e a preservação das espécies em áreas perigosas para além de outros fatores, justificam a elevada dominância no município, ao passo que nos municípios de Caconda e da Jamba existem muitas áreas de domínio privado, condicionando diversas ações antrópicas nestas áreas. Por outro lado, a maior extensão territorial do município dos Gambos é formada por solo arenoso e dominada por um tipo de vegetação específico, tal como os municípios de Caconda e da Jamba.

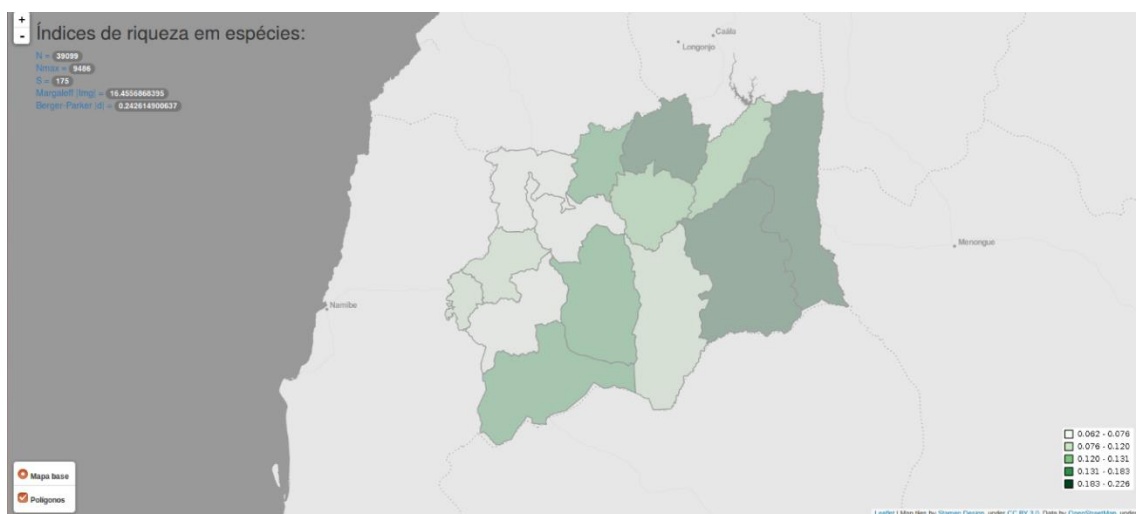


Figura 25 - Diversidade de Simpson com base nos municípios da província da Huíla.

### 4.3.2. Litologia

No ficheiro da litologia estão representadas 7 unidades litológicas diferentes num padrão de cores aleatórias com particular realce para toda região do território pintada com a cor laranja no mapa da Figura 10, que corresponde à formação composta por silício.

A formação composta por sedimentos eólicos depositados pela ação do vento representada num tom verde claro que ocupa a região sul dos municípios das Matala, Quipungo, Kuvango e Este dos Gambos, corresponde à segunda maior formação litológica atrás da formação composta por rochas magmáticas ricas em silício e quartzo que ocupa mais de metade da extensão territorial da província. As rochas alcalinas vulcânicas são a terceira maior formação e estão representadas no mapa com a cor verde escura cobrindo todo o corredor central norte/sul no município dos Gambos, seguida da formação de rochas magmáticas meta-ígneas a sul dos municípios da Jamba e do Kuvango, bem como a longa faixa estreita que ocupa a região este dos Gambos e sul da Chibia representada com um tom castanho escuro. Com a cor lilás, está representada a formação composta por rochas metamórficas, nos municípios da Chibia, Humpata, Kuvango e Jamba, e a formação de rochas calcárias, representada a vermelho no município da Humpata. A menor formação é a composta por sedimentos argilosos num tom azul escuro no mapa com pequenas porções nos municípios da Matala, Chibia, Cacula e Jamba.



Figura 26 - Seleção do tema da litologia e do índice de Shannon.

A **diversidade de Shannon** é representada por cinco classes e teve como base de cálculo as sete unidades litológicas da província. Os resultados mostram uma grande variação da diversidade de espécies, sendo que, existe muita diversidade na formação composta por silício que corresponde à maior unidade litológica da província

e a formação de rochas metamórficas, com valores que variam entre 2.8-3.1. A seguir está a formação composta por sedimentos eólicos com valores entre 2.5-2.8, e a formação de rochas magmáticas meta-ígneas entre 2.4-2.5. A menor diversidade regista-se na formação composta por argila e por rochas calcárias com uma variação entre 0.0-1.3, e a formação de rochas alcalinas vulcânicas entre 1.3-2.4 respetivamente (Figura 27).

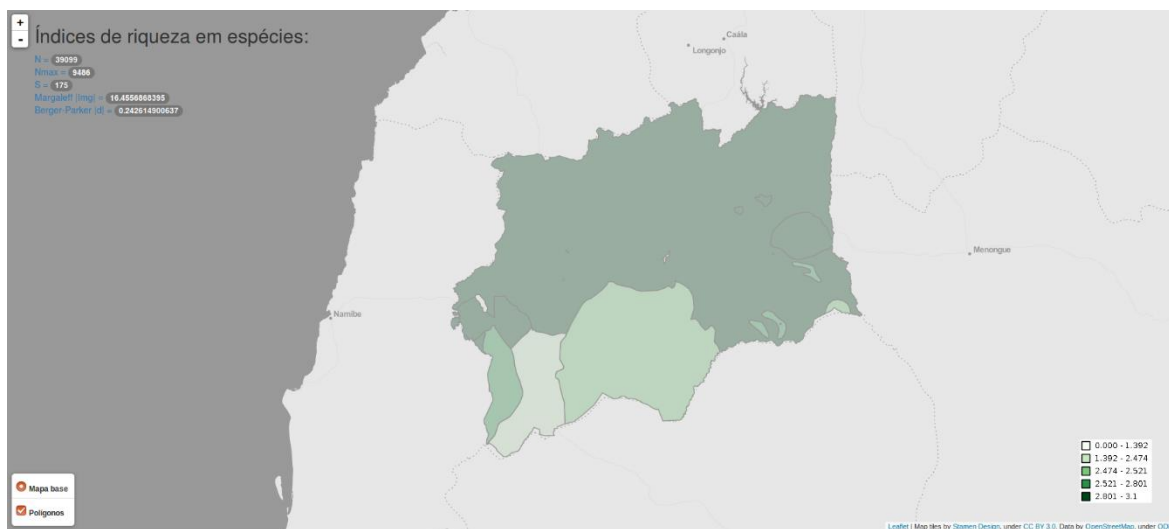


Figura 27 - Diversidade de Shannon com base nas unidades geológicas da província da Huíla.

Tal como para a diversidade de Shannon, na **diversidade de Simpson** verifica-se variação da mesma com base nas unidades litológicas, em que a menor diversidade se regista nas formações compostas por argila, rochas calcárias, e silício, não obstante esta última cobrir mais da metade de toda extensão territorial da província, com uma variação entre 0.00-0.11, ao lado da formação composta por sedimento eólicos com valores entre 0.11-0.13. A seguir está a formação de rochas metamórficas entre 0.13-0.14 e formação de rochas magmáticas meta-ígneas, variando entre 0.14-0.16. A maior diversidade de Simpson varia entre 0.16-0.39 na formação de rochas alcalinas vulcânicas (Figura 30).

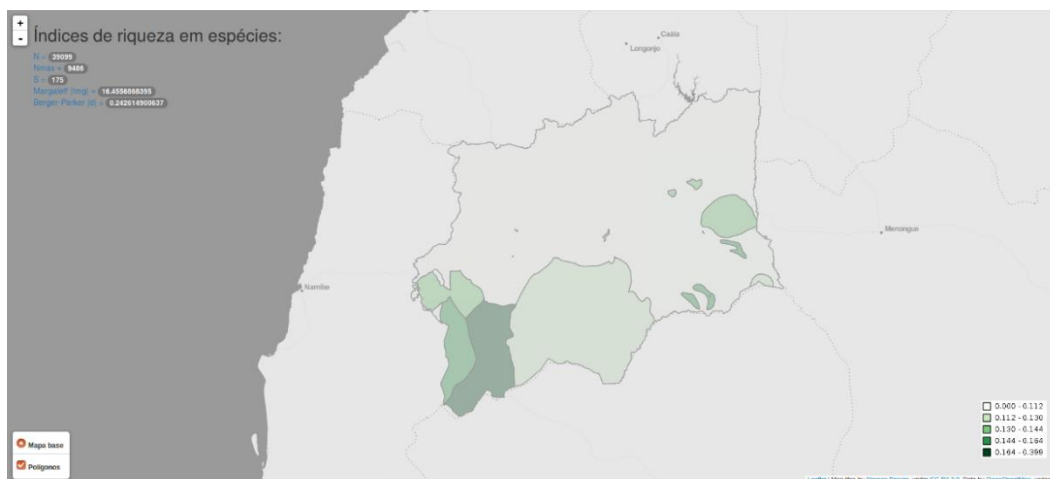


Figura 28 - Diversidade de Simpson com base nas unidades geológicas da província da Huíla.

#### 4.3.3. Parque Nacional do Bicuar

O Parque Nacional do Bicuar, compreende aos municípios da Matala e do Quipungo e os seus limites geográficos estão rigorosamente marcados em tom preto e com a respetiva designação no interior do mesmo. O seu layer está publicado no Geoserver com a descrição “parque\_nacional\_bicuar”.



Figura 29 - Seleção do tema do Parque Nacional do Bicuar e do índice de Shannon.

Com valores que variam entre 2.3-3.2, a **diversidade de Shannon** é representada em duas classes distintas, sendo a menor diversidade representada em tom mais claro e a maior em tom mais escuro. A diversidade de Shannon para o Parque Nacional do Bicuar representada na Figura 28, mostra menor variação de espécies dentro do parque quando comparada com toda área fora do mesmo, com valores a variarem entre 2.3-2.8. Este resultado justifica-se, se tivermos em conta que toda área ao redor do parque é significativamente maior.

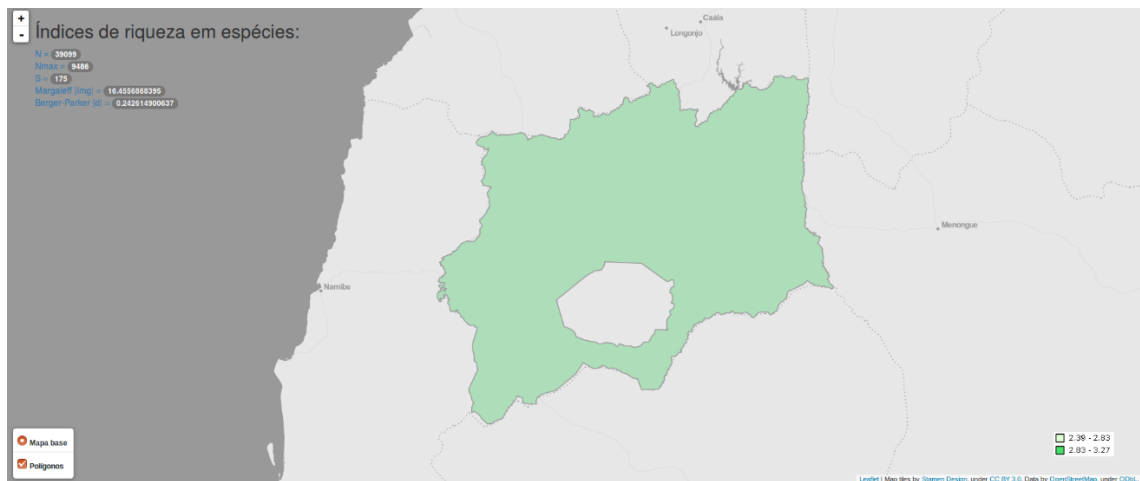


Figura 30 - Diversidade de Shannon com base nos limites geográficos do Parque Nacional do Bicular e da província da Huíla.

Apesar da **diversidade de Simpson** para o Parque Nacional do Bicular apresentar valores baixos, quando comparada com toda área correspondente à província, nota-se que há maior diversidade de Simpson dentro do parque embora não haja grande diferença nos seus valores. Tendo em conta os resultados obtidos (Figura 31), os valores variam entre 0.09-0.14, sendo que, a diversidade fora do parque varia entre 0.09-0.11 e dentro do mesmo varia entre 0.11-0.14 respetivamente.

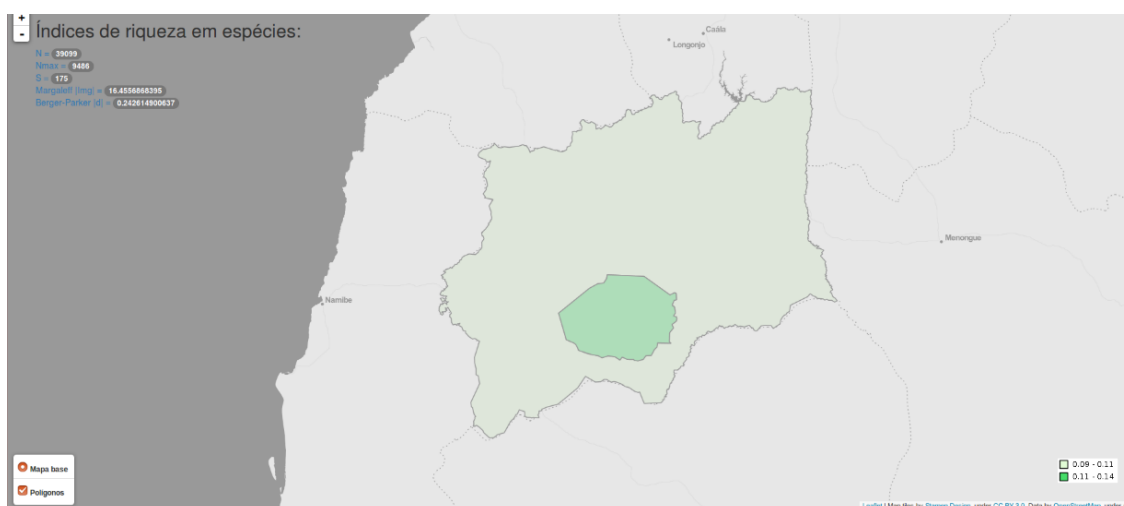


Figura 31 - Diversidade de Simpson com base nos limites geográficos do Parque Nacional do Bicular e da província da Huíla.

#### 4.3.4. Grelha cartográfica

Na grelha cartográfica designada no servidor de mapas por “grelha\_huila”, estão representadas áreas em quadrículas rigorosamente definidas pelos limites geográficos da província, que serão preenchidas com tonalidades distintas da cor verde tendo em conta a diversidade de espécies; ou seja, as quadrículas serão preenchidas tendo em conta a diversidade onde, quanto maior a diversidade, maior será a intensidade da cor da quadrícula.

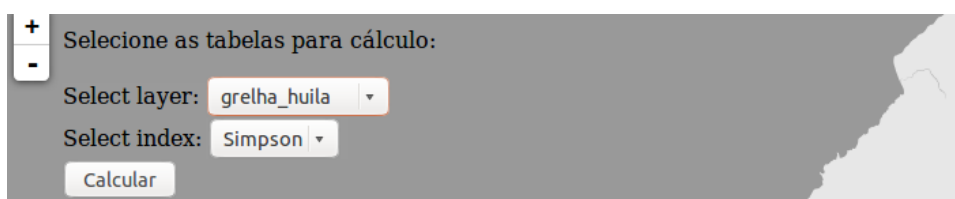


Figura 32 - Seleção do tema da grelha cartográfica e do índice de Shannon

Foram criadas cinco classes para analisar a **diversidade de Shannon** tendo como base a grelha cartográfica da província. Os seus valores variam entre 0.00-3.2 (Figura 33), notando-se claramente que a variação da diversidade não é uniforme ao longo de toda extensão territorial. Os maiores valores de diversidade registam-se na região centro-norte da província. Os valores de zero representados nesta classificação, devem-se ao fato de não ser possível fazer levantamentos em todas as áreas do território, razão pela qual, nalgumas regiões não se existem registos.

O município do Chipindo apresenta maior diversidade de espécies em quase toda sua extensão territorial, seguida pelos municípios da Cacula, Norte de Quilengues e Chibia com valores entre 2.3-3.2. Os municípios do Kuvango, Jamba e Matala também registam áreas com valores de diversidade máxima. As menores diversidades de Shannon registam-se nos municípios mais a sul da província, principalmente nos municípios da Matala, Sul de Quilengues, do Kuvango e dos Gambos, tendo em conta as limitações histórico-políticas em cada área. Contudo, de uma forma geral, as maiores diversidades de Shannon registam-se nos municípios mais a norte da província, com particular realce para a Chibia que também apresenta elevados índices de diversidade de espécies.

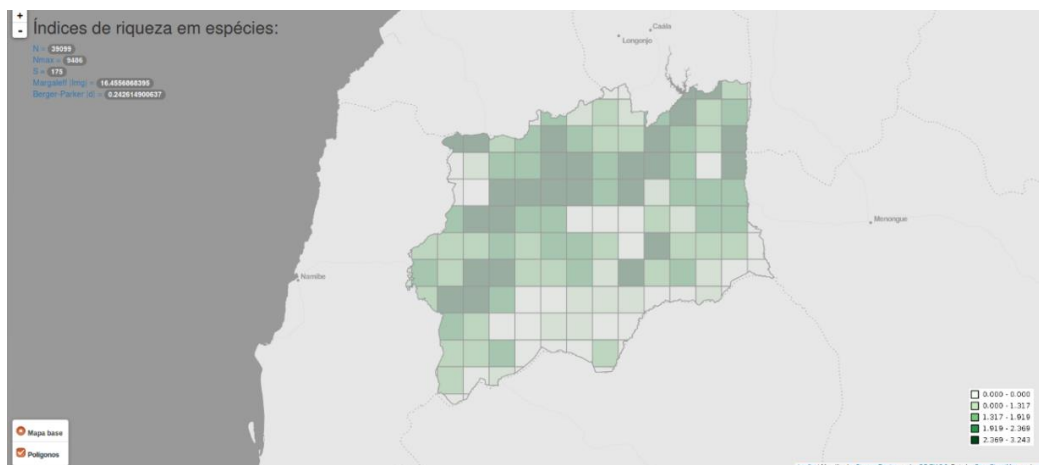


Figura 33 - Diversidade de Shannon com base na grelha cartográfica da província da Huíla.

Em relação à **diversidade de Simpson**, os valores variam entre 0.00-1.00 e estão distribuídos tendo em conta a dominância de cada espécie dentro das quadrículas. Nota-se que a diversidade varia ao longo de toda província, mas as maiores áreas compreendem os municípios da Matala e Caconda, seguidos de pequenas quadrículas nos restantes municípios (Figura 34). Em toda extensão da província, a diversidade de espécies é relativamente alta, verificando-se que apenas um pequeno número de áreas apresentam um tom de cor verde claro ou branco. Desta forma, é possível afirmar que a análise da diversidade de espécies tendo em conta a grelha cartográfica demonstra melhor os níveis de diversidade por se tratar de áreas mais pequenas e com melhor representação dos índices.

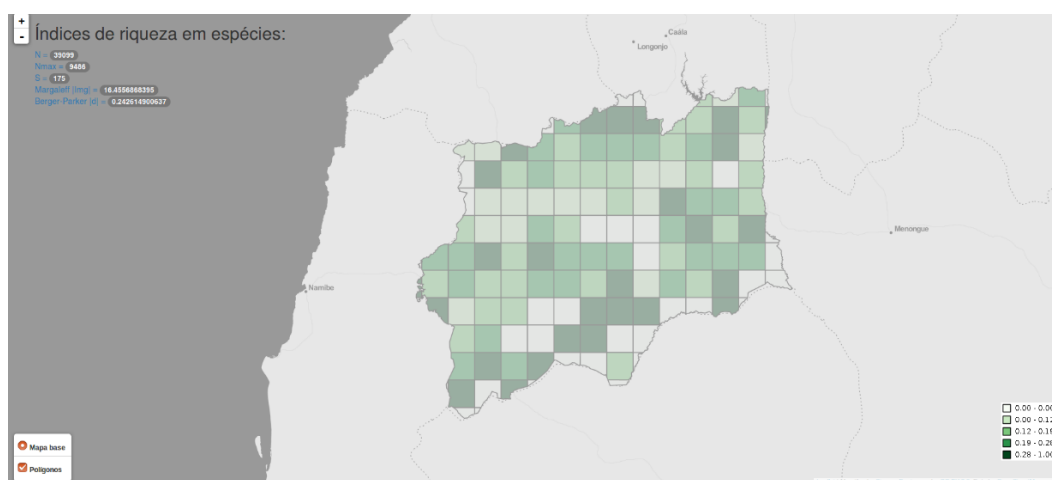


Figura 34 - Diversidade de Simpson com base na grelha cartográfica da província da Huíla.

#### 4.4. Validação dos resultados

Para avaliar se a diferença entre os valores de diversidade das áreas é ou não estatisticamente significativa considerou-se útil a integração no WebSIG de um módulo de validação estatística suportado pelo teste t de *student*, por permitir analisar as diferenças entre duas amostras independentes com distribuição e homogeneidade normais em suas variações (Turcios, 2015).

$$t = \frac{H^1 - H^2}{\sqrt{\text{Var } H^1 + \text{Var } H^2}}$$

Onde:

- T- Teste de hipóteses;
- H<sup>1</sup>- Diversidade de Shannon para a área 1;
- H<sup>2</sup>- Diversidade de Shannon para a área 2;
- VarH<sup>1</sup>- Variância da diversidade de Shannon na área 1;
- VarH<sup>2</sup>- Variância da diversidade de Shannon na área 2.

Por limitação de tempo no desenvolvimento do WebSIG, o teste foi implementado em Excel e apenas para o tema da grelha cartográfica. Assim, nos Quadro 8 e Quadro 9 estão representados os valores do teste t da diversidade de espécies dentro e fora do parque, sendo 135 áreas representadas em quadrículas de tamanhos iguais, com 17 quadrículas correspondentes ao Parque Nacional do Bicuar e 117 à toda área fora do parque, para os índices de Shannon e Simpson respetivamente.

A probabilidade para a qual se aceita que há ou não há diferença é de 0,05 com as seguintes hipóteses:

H<sub>0</sub>- A média da diversidade de espécies é igual dentro e fora do parque.

H<sub>1</sub>- A média da diversidade de espécies é diferente dentro e fora do parque.

No Quadro 8 estão os resultados do teste t para o índice de Shannon, onde verifica-se diferenças entre os valores médios dentro e fora do parque. O valor de

Shannon no interior do parque é de aproximadamente 1,44 e no exterior do parque é de aproximadamente 2,02. O valor de  $t$ , (-2,66),  $p=0,018$ , significando que as diferenças são significativas, rejeitando-se a  $H_0$ , ou seja, conclui-se que existem diferenças significativas da diversidade de espécies para o índice de Shannon.

Quadro 8 - Teste  $t$  de duas amostras independentes (Shannon).

	Interior do Parque	Exterior do Parque
Média	1,442289743	2,025515759
Variância	0,57285773	0,323512653
Observações	13	84
Hipótese de diferença de média	0	
gl	14	
Stat $t$	-2,664346023	
$P(T \leq t)$ bi-caudal	0,018503265	
$t$ crítico bi-caudal	2,144786688	

No Quadro 9 estão os resultados do teste  $t$  para o índice de Simpson, com diferenças entre os valores médios no interior e exterior do parque. O valor médio do índice de Simpson no interior do parque é de aproximadamente 0,38 e no exterior do parque é de aproximadamente 0,23. O valor de  $t$ , (2,22),  $p=0,044$ . Portanto, há diferenças significativas, rejeitando-se a  $H_0$  e concluindo-se que existem diferenças significativas da diversidade de espécies para o índice de Simpson.

Quadro 9 - Teste  $t$  de duas amostras independentes (Simpson).

	<i>Interior do Parque</i>	<i>Exterior do Parque</i>
Média	0,387824423	0,232450904
Variância	0,060903256	0,017767631
Observações	13	84
Hipótese de diferença de média	0	
gl	13	
Stat $t$	2,220440858	
$P(T \leq t)$ bi-caudal	0,044782447	
$t$ crítico bi-caudal	2,160368656	

## 5. CONCLUSÕES

A utilização de ferramentas WebSIG, com particular realce para o vasto universo *open source* e com recurso a ferramentas de SIG, é uma abordagem importante para divulgar a informação geográfica na internet, revelando-se muito interessante pela capacidade de agregar os dados e visualizar a informação, bem como pela facilidade de manusear tais ferramentas, respondendo desta forma aos requisitos funcionais e não funcionais da aplicação. Por outro lado, a criação do WebSIG “Landscape metrics” como ferramenta para disponibilizar informação geográfica sobre a diversidade da vegetação na província da Huíla, para além de contribuir no enriquecimento de estudos realizados no âmbito dos WebSIG em Angola, permite não só visualizar informação administrativa e litológica da província, como também a variação da diversidade de espécies tendo em conta os índices de Shannon e Simpson dentro das áreas selecionadas de forma fácil e rápida, mediante representação cartográfica através do servidor de mapas.

A utilização destas ferramentas permite também, que um maior número de utilizadores independentemente da sua área de formação, visualize a informação geográfica sobre a diversidade vegetal da província da Huíla e ainda, mediante a publicação desta informação numa plataforma online, facilita a visualização da informação por parte de outros indivíduos em qualquer parte do globo.

A aplicação para além de permitir a criação de mapas de diversidade com base nos índices de Shannon e Simpson para diferentes temas de polígonos, facilita o acesso e a consulta de mapas de diversidade vegetal aos *stakeholders* do projeto.

As ferramentas da aplicação foram vantajosas ao representar a diversidade da vegetação na secção casos de uso, onde tendo em conta fatores como a desflorestação, a prática intensiva da agricultura, a existência de engenhos explosivos em algumas áreas da província, a distribuição da precipitação e as condições do terreno, ao demonstrarem satisfatoriamente e com alguma coerência, como está distribuída a diversidade de Shannon e Simpson na província da Huíla respetivamente.

Com base nos layers de comparação é possível notar que as diversidades variam ao longo de toda província e que a grelha cartográfica representa melhor essa variação, por se tratarem de áreas mais pequenas e de tamanhos iguais. Os resultados obtidos para os limites geográficos dos municípios da província, demonstram que os valores são superestimados várias vezes, tendo em conta extensão territorial. Quanto aos limites geográficos do Parque Nacional do Bicuar e das unidades litológicas, nota-se claramente o problema da unidade de área modificada, e faz sentido afirmar que em áreas com maiores dimensões exista mais diversidade de espécies tendo em conta o número de espécies amostradas.

Assim, tendo em conta as distintas vantagens que a aplicação oferece, é possível afirmar que a metodologia utilizada foi eficaz, tendo em conta os objetivos estabelecidos.

Contudo, apesar das diversas vantagens que a aplicação oferece e tendo em conta as dificuldades da área de estudo, a Landscape metrics compreende muito mais informação que pode ser tratada e modelada com relação a atual. Em futuros desenvolvimentos e novas versões prevê-se a introdução de novas ferramentas de gestão e visualização da informação como a introdução da ferramenta “identify” na aplicação; a introdução da ferramenta de impressão na aplicação; o desenvolvimento de outros índices de diversidade de espécies; a introdução de novos temas de polígonos dos limites administrativos do país e a disponibilização do projeto num servidor de internet público.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adamczyk, J., & Tiede, D. (2017). ZonalMetrics - a Python toolbox for zonal landscape structure analysis. *Computers and Geosciences*, 99(August 2015), 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.11.005>
- Agafonkin, V. (2018). Leaflet: an open-source JavaScript library for mobile-friendly interactive maps. Retrieved January 29, 2018, from <http://leafletjs.com/index.html>
- Baker, W. L. (2001). The r.le Programs A set of GRASS programs for the quantitative analysis of landscape structure, (307), 1–60. Retrieved from [https://grass.osgeo.org/gdp/landscape/r\\_le\\_manual5.pdf](https://grass.osgeo.org/gdp/landscape/r_le_manual5.pdf)
- Barbosa, L. A. G. (1970). *Carta Fitogeográfica de Angola*. (ASSESCA-PLP, Ed.) (Fac-símila). Instituto de Investigação Científica de Angola.
- Barthlott, W., Linsenmair, K. E., & Porembski, S. (1999). BIODIVERSITY: STRUCTURE AND FUNCTION. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, 1, 14. Retrieved from <http://www.eolss.net/sample-chapters/c09/e4-27.pdf>
- Biondi, D., & Bobrowski, R. (2014). Utilização De Índices Ecológicos Para Análise Do Tratamento Paisagístico Arbóreo Dos Parques Urbanos De Curitiba-Pr. In *Enciclopédia Biosfera* (Vol. 10, pp. 3006–3017). Centro Científico Conhecer.
- Biota-Africa. (2008). BIOTABase. Retrieved August 8, 2018, from [http://www.biota-africa.de/biotabase\\_ba.php](http://www.biota-africa.de/biotabase_ba.php)
- Brower, J. E., & Zar, J. H. (1998). *Field and laboratory methods for general ecology*. w.m.c brown company. Retrieved from [http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB\\_ECOLOGIA/Ecologia\\_de\\_Poblaciones\\_y\\_Comunidades\\_files/GeneralEcology.pdf](http://www.sisal.unam.mx/labeco/LAB_ECOLOGIA/Ecologia_de_Poblaciones_y_Comunidades_files/GeneralEcology.pdf)
- Brown, E. D., & Williams, B. K. (2016). Ecological integrity assessment as a metric of biodiversity: are we measuring what we say we are? *Biodiversity and Conservation*, 25(6), 1011–1035. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1111-0>
- Cabral, A. I. (2003). Cartografia de coberto do solo para o território Angolano utilizando imagens de satélite Modis. *Estudos Regionais*. Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional. Retrieved from [uri:http://hdl.handle.net/10316.2/24676%0D](http://hdl.handle.net/10316.2/24676%0D)
- Cadman, M., Chavan, V., King, N., Willoughby, S., Rajvanshi, A., Mathur, V., ... Hirsch, T. (2011). Publicação de dados primários sobre a Biodiversidade, relacionados com AIA : Guia de Boas Práticas do GBFI-IAIA. *Edições Especiais*, 7, 1–6. Retrieved from [http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/SP7\\_pt.pdf](http://www.iaia.org/publicdocuments/special-publications/SP7_pt.pdf)
- Carli, E., Frondoni, R., Pinna, M. S., Bacchetta, G., Fenu, G., Fois, M., ... Blasi, C. (2017). Spatially assessing plant diversity for conservation: a Mediterranean case study. *Journal for Nature Conservation*. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2017.11.003>

- CESO. (2010). *Estudo de mercado sobre a Província de Huíla*. Lisboa. Retrieved from [http://www.ceso.pt/upload/pdf/content\\_intelligence/QHA3Fe8R/EstudodeMercado\\_AIP\\_Luanda.pdf](http://www.ceso.pt/upload/pdf/content_intelligence/QHA3Fe8R/EstudodeMercado_AIP_Luanda.pdf)
- CESO. (2015). *Estudo Sobre As Rochas O \_ Estudo " Rochas Ornamentais ."* Lisboa. Retrieved from <http://www.ceso.pt/pdfs/RochasOrnamentaisAngola.pdf>
- Chen, X., Ye, X., Carroll, M. C., & Li, Y. (2014). Online Flood Information System. *International Journal of Applied Geospatial Research*, 5(2), 1–10. <https://doi.org/10.4018/ijagr.2014040101>
- Cherniavskii. (2017). Leaflet. Retrieved January 29, 2018, from <https://www.npmjs.com/package/leaflet>
- Chiarucci, A., Bacaro, G., & Scheiner, S. M. (2011). Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366(1576), 2426–2437. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0065>
- Chisingui, A. V., Gonçalves, F. M. P., Tchamba, J. J., Luís, J. C., Rafael, M. F. F., & Alexandre, J. L. M. (2018). Vegetation survey of the woodlands of Huíla Province Biodiversity. *Biodiversity & Ecology*, 6.
- Chissingui, V., Gonçalves, F. M. P., Tchamba, J. J., Luís, J. C., Rafael, M. F. F., & Revermann, R. (2018). Environmental factors influencing tree species diversity in the Miombo Woodlands of the Huila Province, southwestern Angola. *SASSCAL RESEARCH*, 3(1), 13.
- Coulloudon, B., Eshelman, K., Gianola, J., Habich, N., Hughes, L., Johnson, C., ... Willoughby, J. (2010). *Sampling vegetation Attributes*. Colorado. Retrieved from [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044175.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044175.pdf)
- Davydov, D., & Weber, S. (2016). A simple characterization of the family of diversity indices. *Economics Letters*, 147, 121–123. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.08.036>
- FAO. (2009). Atlas dos municípios de Angola. Retrieved January 22, 2018, from [http://dwms.fao.org/atlases/angola/overview\\_pt.htm](http://dwms.fao.org/atlases/angola/overview_pt.htm)
- Fidelibus, M. W., & Aller, R. T. F. Mac. (1993). Methods for Plant Sampling. Retrieved January 5, 2018, from <http://www.sci.sdsu.edu/SERG/techniques/mfps.html>
- Fiske, J. (1985). La teoría de la comunicación. *Introducción Al Estudio de La Comunicación*, 1–17. Retrieved from <https://idolotec.files.wordpress.com/2012/02/modelo-de-shannon-y-weaver1.pdf>
- FLEP, & OFRI. (2010). Leap II. Retrieved December 13, 2017, from [https://wiki.52north.org/AI\\_GEOSTATS/SWLeap](https://wiki.52north.org/AI_GEOSTATS/SWLeap)
- Foot, K. E., & Kirvan, A. P. (2008). *WebGIS*. Texas at Austin, USA. Retrieved from [http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u133/u133\\_f.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u133/u133_f.html)
- Frehner, M., & Brändli, M. (2006). Virtual database: Spatial analysis in a Web-based

- data management system for distributed ecological data. *Elsevier. Environmental Modelling and Software*, 21(11), 1544–1554. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.05.012>
- Freitas, W. K., & Magalhães, L. M. S. (2012). Métodos e Parâmetros para Estudo da Vegetação com Ênfase no Estrato Arbóreo. *Floresta e Ambiente*, 19(4), 520–540. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.054>
- Galati, S. R. (2006). *Geographical information systems demystified*. (U. S. L. of C. E, Ed.). Norwood: ARTECH HOUSE e British Library.
- García, O. A. J. (2013). MODELO DE SHANNON Y WEAVER. Retrieved December 16, 2017, from <http://loquemepidiomiprofesora.blogspot.pt/2013/03/modelo-de-shannon-y-weaver.html>
- GeoServer. (2014). *GeoServer User Manual — GeoServer 2.6.x User Manual* (Vol. 899). Retrieved from <http://docs.geoserver.org/stable/en/user/>
- Gotelli, J. N., & Colwell, K. R. (2004). *Biological Diversity Frontiers in Measurement and Assessment*. (A. E. Magurran & B. J. McGill, Eds.) (First publ). New York: Blackwell Publishing Company. Retrieved from <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0632056339.html>
- Gu, R. (2017). Multiscale Shannon entropy and its application in the stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 484, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.04.164>
- Gustafson, E. J. (2007). Quantifying Landscape Spatial Pattern : What Is the State of the Art ? *JSTOR*, 1(2), 143–156. Retrieved from <http://links.jstor.org/sici?sici=1432-9840%28199803%2F04%291%3A2%3C143%3AQLSPWI%3E2.0.CO%3B2-%23>
- Gutierrez, F. R. S. (2014). *Universidade de Lisboa*. Universidade de Lisboa. Retrieved from <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/15603>
- Higgins, K. F., Dakota, S., Clambey, G. K., University--fargo, N. D. S., Uresk, D. W., States, U., ... Naugle, D. E. (2012). *Vegetation Sampling and Measurement*. (R. Klaver, Ed.), *SelectedWorks*. SelectedWorks. Retrieved from <https://works.bepress.com/robert-klaver/69/>
- Hijmans, R. J., Guarino, L., Cruz, M., & Rojas, E. (2001). Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data : 1 . DIVA-GIS. *Plants Genetic Resources Newsletter*, 127, 15–19. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.10.018>
- INE. (2014). *Resultados definitivos Recenseamento geral da população*. Luanda. Retrieved from <http://censo.ine.gov.ao>
- Jung, M. (2016). LecoS - A python plugin for automated landscape ecology analysis. *Ecological Informatics*, 31, 18–21. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.11.006>
- Kropla, B. (2005). *Beginning MapServer - Open Source GIS Development*. (J. Gilmore, Ed.), *Source*. New York: Kinetic Publishing Services, LLC. <https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0053-6>
- Kuchma, T., Tarariko, O., & Syrotenko, O. (2013). Landscape Diversity Indexes

- Application for Agricultural Land Use Optimization. *Procedia Technology*, 8(Haicta), 566–569. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.080>
- Lang, S., & Tiede, D. (2003). vLATE Extension für ArcGIS – vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse. *ESRI European User Conference 2003 Innsbruck*, (1986), 1–10. Retrieved from <http://downloads2.esri.com/campus/uploads/library/pdfs/68464.pdf>
- Larsen, R., Holmern, T., Prager, S. D., Maliti, H., & Roskaft, E. (2009). Using the extended quarter degree grid cell system to unify mapping and sharing of biodiversity data. *Journal Compilation*, 382–392.
- McGarial, K., & Marks, B. (1995). FRAGSTAT: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *United States Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station*, (August), 120 pages. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:1\(94\)CE](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(94)CE)
- MinistériodoAmbiente. (2016). Parque Nacional do Bicular. Retrieved January 12, 2018, from <http://www.biodiversidade-angola.com/area/parque-nacional-do-bicular/>
- Minua. (2006). *Relatório do Estado Geral do Ambiente em Angola*. Luanda. Retrieved from <http://www.ecolex.org/server2.php/libcat/docs/LI/MON-083704.pdf>
- Moro, M. F., & Martins, F. R. (2011). *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos*. (J. M. Felfili, P. V. Eisenlohr, M. M. da R. F. de Melo, L. A. de Andrade, & J. A. A. Meira Neto, Eds.).
- Mucanza, G. G. (2015). *WEBSIG NW-ANGOLA Sistema de Informação Geológica do NW de Angola Gomes Guenge Mucanza*. NOVA Information Management School.
- Muche, G., Schmiedel, U., & Finckh, M. (2014). BIOTABase - a data base software for biodiversity monitoring (p. 21200200). Retrieved from [http://www.biota-africa.de/downloads/biotabase/Poster\\_IVAS20050725.pdf](http://www.biota-africa.de/downloads/biotabase/Poster_IVAS20050725.pdf)
- Nagendra, H. (2002). Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity. *Applied Geography*, 22(2), 175–186. [https://doi.org/10.1016/S0143-6228\(02\)00002-4](https://doi.org/10.1016/S0143-6228(02)00002-4)
- NBSAP. (2006). *Primeiro Relatório Nacional para a Conferência das Partes da Convenção da Diversidade Biológica – Angola Terceiro Relatório Nacional para a Conferência das Partes da Convenção da Diversidade Biológica Dezembro de 2005 Luanda – Ango*. Luanda, Angola. Retrieved from <https://www.cbd.int/doc/world/ao/ao-nr-01-pt.pdf>
- Neteler, M., Bowman, M. H., Landa, M., & Metz, M. (2012). GRASS GIS: A multi-purpose open source GIS. *Environmental Modelling and Software*, 31, 124–130. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.11.014>
- Nicholas, G. J., & Chao, A. (2013). Measuring and Estimating Species Richness, Species Diversity, and Biotic Similarity from Sampling Data. *Encyclopedia of Biodiversity*, 5, 195–211. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00424-X>
- OGC. (2017). OGC® Standards and Supporting Documents. Retrieved October 23, 2017,

from <http://www.opengeospatial.org/ogc>

- Oliani, L. O., Paiva, C., & Antunes, A. F. B. (2012). Utilização de softwares livres de geoprocessamento para gestão urbana em municípios de pequeno e médio porte. *IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias Da Geoinformação*, 1–8.
- ONU. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- OpenGeo. (2009). *The OpenGeo Architecture*. Retrieved from <http://opengeo.org/publications/opengeo-architecture/opengeo-architecture.pdf>
- Peng, Zhong-Ren & Ming-Hsiang, T. (2003). *Internet GIS*.
- Pla, L. (2006). Biodiversidad: *Inferencia*, 31, 583–590. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/339/33911906.pdf>
- Ponte, H. F. de P. C. (2006). Breve Monografia Angolana: Hidrografia. Retrieved December 21, 2017, from <http://5---breve-monografia-angolana.blogspot.com/2006/08/55-hidrografia.html>
- Porta, C., & Spano, L. D. (2017). GRASS GIS. Retrieved November 17, 2017, from <https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/r.li.html>
- Rocchini, D., Bacaro, G., Chirici, G., Da Re, D., Feilhauer, H., Foody, G. M., ... Rugani, B. (2017). Remotely sensed spatial heterogeneity as an exploratory tool for taxonomic and functional diversity study. *Ecological Indicators*, 85(June 2017), 983–990. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.055>
- Rocchini, D., Delucchi, L., Bacaro, G., Cavallini, P., Feilhauer, H., Foody, G. M., ... Neteler, M. (2012). Calculating landscape diversity with information-theory based indices: A GRASS GIS solution. *Elsevier*, (17), 82–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.04.002>
- Rodrigues, C. W. (2015). *DivEs- Diversidade de Espécies*. Retrieved from <http://dives.ebras.bio.br>
- Santini, L., Belmaker, J., Costello, M. J., Pereira, H. M., Rossberg, A. G., Schipper, A. M., ... Rondinini, C. (2017). Assessing the suitability of diversity metrics to detect biodiversity change. *Biological Conservation*, 213, 341–350. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.024>
- Santos, E. (1969). Contexto Geográfico da República de Angola. In E. Estampa (Ed.), *Univerddade Aberta* (p. 19). Lisboa: Universidade Aberta. Retrieved from <https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/436/1/ANGOLA-Trilhos31-105.pdf.pdf>
- SASSCAL. (2017). <http://www.sasscal.org>. Retrieved October 14, 2017, from [http://www.sasscal.org/?page\\_id=172](http://www.sasscal.org/?page_id=172)
- Scolforo, J. R., Oliveira, A. D. de, Filho, A. C. F., & Mello, J. M. de. (2008). *Diversidade, Equabilidade e similaridade no domínio Caatinga. Project - Forest Inventory of*

Minas Gerais.

- Shabanimofrad, M., Yusop, M. R., Saad, M. S., Megat Wahab, P. E., Biabanikhanehkahdani, A., & Latif, M. A. (2011). Diversity of physic nut (*Jatropha curcasi*) in Malaysia: Application of DIVA-geographic information system and cluster analysis. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 361–368. Retrieved from [http://www.cropj.com/raffi\\_5\\_4\\_2011\\_361\\_368.pdf](http://www.cropj.com/raffi_5_4_2011_361_368.pdf)
- Shannon, C. E., & Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication. The mathematical theory of communication* (Board of T, Vol. 27). Library of Congress Catalog. <https://doi.org/10.2307/3611062>
- Singh, H., Garg, R. D., Karnatak, H. C., & Roy, A. (2017). Spatial landscape model to characterize biological diversity using R statistical computing environment. *Journal of Environmental Management*, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.055>
- Subburayalu, S., & Sydnor, T. D. (2012). Assessing street tree diversity in four Ohio communities using the weighted Simpson index. *Landscape and Urban Planning*, 106(1), 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.004>
- Sun, Q. (1992). Quantifying Species Diversity of Streetside trees in our cities. *Journal Of Arboriculture*, 18(March), 91–93. Retrieved from file:///C:/Users/Marina Rafael/Downloads/p0091-0093.pdf
- Tiede, D. (2012). Vector-based Landscape Analysis Tools (Extension for ArcGIS 10) 2.0 beta: V-LATE 2.0 beta. Retrieved December 14, 2017, from <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=36f9728a895e4f5386bdec68be6d08ac>
- Tiede, D., & Adamczyk, J. ZonalMetrics - a python toolbox for calculating landscape metrics in user defined zones (2015).
- Torres, M. L. de L., González, R. D. M., & Yago, F. J. M. (2017). WebGIS and Geospatial Technologies for Landscape Education on Personalized Learning Contexts. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(11), 350. <https://doi.org/10.3390/ijgi6110350>
- Turcios, R. A. S. (2015). T-Student. Usos y abusos. *Revista Mexicana de Cardiología*, 26(1), 59–61.
- Uramoto, K., Walder, J. M. M., & Zucchi, R. A. (2005). Quantitative Analysis and Distribution of the Population of Species in the Genus *Anastrepha* (Diptera: Tephritidae) on Luiz de Queiroz Campus, Piracicaba, SP, Brazil. *Neotropical Entomology*, 34(1), 33–39. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000100005>
- VVAA. (2000). Contexto Geográfico da República de Angola. In Trinova (Ed.), *Univerddade Aberta* (p. 18). Lisboa. Retrieved from <https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/436/1/ANGOLA-Trilhos31-105.pdf.pdf>
- Wade, T. G., Wickham, J. D., Nash, M. S., Neale, a C., Riitters, K. H., & Jones, K. B. (2003). A Comparison of Vector and Raster GIS Methods for Calculating landscape

- metrics Used in Environmental Assessments. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(12), 1399–1405. <https://doi.org/10.14358/PERS.69.12.1399>
- Yang, C., Wong, D. W., Yang, R., Kafatos, M., & Li, Q. (2005). Performance-improving techniques in web-based GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 19(3), 319–342. <https://doi.org/10.1080/13658810412331280202>
- Zanzini, A. C. da S. (2005). *DESCRITORES QUANTITATIVOS DE RIQUEZA E DIVERSIDADE DE ESPÉCIES*. Lavras. Retrieved from [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.acszanzini.net/wp-content/uploads/material/livros/Descritores%2520Quantitativos%2520de%2520Riqueza%2520e%2520Diversidade%2520de%2520Esp%25C3%25A9cies.doc&gws\\_rd=cr&dcr=0&ei=Jd6nWseGFImTU9n5no](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://www.acszanzini.net/wp-content/uploads/material/livros/Descritores%2520Quantitativos%2520de%2520Riqueza%2520e%2520Diversidade%2520de%2520Esp%25C3%25A9cies.doc&gws_rd=cr&dcr=0&ei=Jd6nWseGFImTU9n5no)
- Zaragozí, B., Belda, A., Linares, J., Martínez-Pérez, J. E., Navarro, J. T., & Esparza, J. (2012). A free and open source programming library for landscape metrics calculations. *Environmental Modelling and Software*, 31, 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.10.009>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1: Código Python da aplicação Landscape metrics. Um exemplo para o Parque Nacional do Bicuar

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import os.path

from bottle import route, run, request, template, static_file, get

@route('/parque_shannon', methods=['POST'])
def calcula():
    import psycopg2
    import sys
    import math
    con = None
    try:
        con = psycopg2.connect("dbname='huila' user='postgres' host='127.0.0.1' password='postgres123'")
        cur = con.cursor()
        cur.execute("select count (especie) FROMISTRADO.""especies"" as N;")
        N = cur.fetchone()
        cur.execute("SELECT MAX(count) FROM (select count(especie) fromISTRADO.""especies"" group
by especie order by especie) as Nmax;")
        Nmax = cur.fetchone()
        cur.execute("select count (especie) from (select distinct (especie) fromISTRADO.""especies""
group by especie order by especie) as S;")
        S = cur.fetchone()
        lmg = (S[0]-1)/math.log(N[0])
        d = float(Nmax[0])/float(N[0])
        #print "Berger: %s" %(d)
    cur.execute("SELECT id FROMISTRADO.""parque_bicuar"" ORDER BY id;")
    rows = cur.fetchall()
    for row in rows:
        id_pol = row[0]
        print "Polígono: %s" %(id_pol)
        cur.execute("SELECT SUM(PIxLNPI) * -1 from (SELECT especie, COUNT (especie), (SELECT
COUNT (*) FROMISTRADO.""parque_bicuar"" points INNER JOINISTRADO.""parque_bicuar"" polys ON
ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {}) as total, ln(COUNT (especie)::decimal /
```

```
(SELECT COUNT (*) FROM mestrado.""especies"" points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar"" polys
ON ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {}) * (COUNT (especie)::decimal / (SELECT
COUNT (*) FROM mestrado.""especies"" points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar"" polys ON
ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {})) as PlxLNPI FROM mestrado.""especies""
points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar"" polys ON ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE
polys.id = {} GROUP BY especie ORDER BY especie) as
ShannonWeaver;"'.format(id_pol,id_pol,id_pol,id_pol))
```

```
rows = cur.fetchall()
```

```
for row in rows:
```

```
    print "Shannon-Weaver: %s" % (row)
```

```
    cur.execute("UPDATE mestrado.""parque_bicuar"" set shannon={} WHERE
id={};".format(row[0],id_pol))
```

```
    con.commit()
```

```
#return "<h1>Tabela de polígonos atualizada!</h1>"
```

```
    output = template('resultado_shannonparque', N=N, Nmax=Nmax, S=S, lmg=lmg, d=d)
```

```
    return output
```

```
except psycopg2.DatabaseError, e:
```

```
    print 'Error %s' % e
```

```
    sys.exit(1)
```

```
finally:
```

```
    if con:
```

```
        con.close()
```

```
@route('/parque_simpson', methods=['POST'])
```

```
def calcula():
```

```
    import psycopg2
```

```
    import sys
```

```
    import math
```

```
    con = None
```

```
    try:
```

```
        con = psycopg2.connect("dbname='huila' user='postgres' host='127.0.0.1' password='postgres123'")
```

```
        cur = con.cursor()
```

```
        cur.execute("select count (especie) FROM mestrado.""especies"" as N;")
```

```
        N = cur.fetchone()
```

```
        cur.execute("SELECT MAX(count) FROM (select count(especie) from mestrado.""especies"" group
by especie order by especie) as Nmax;")
```

```
        Nmax = cur.fetchone()
```

```
        cur.execute("select count (especie) from (select distinct (especie) from mestrado.""especies""
group by especie order by especie) as S;")
```

```

S = cur.fetchone()
lmg = (S[0]-1)/math.log(N[0])
d = float(Nmax[0])/float(N[0])
#print "Berger: %s" %(d)

cur.execute("SELECT id FROM mestrado.""parque_bicuar"" ORDER BY id;")

rows = cur.fetchall()

for row in rows:

    id_pol = row[0]

    print "Polígono: %s" %(id_pol)

    cur.execute("SELECT SUM(Ds) from (SELECT especie, COUNT (especie), (SELECT COUNT (*) FROM
mestrado.""especies"" points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar"" polys ON
ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {}) as total,(COUNT (especie)::decimal*(COUNT
(especie)::decimal-1))/((SELECT COUNT (*) FROM mestrado.""especies"" points INNER JOIN
mestrado.""parque_bicuar"" polys ON ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id =
{})*(SELECT COUNT (*) FROM mestrado.""especies"" points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar""
polys ON ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {})-1)) as Ds FROM
mestrado.""especies"" points INNER JOIN mestrado.""parque_bicuar"" polys ON
ST_Within(points.geom,polys.geom) WHERE polys.id = {} GROUP BY especie ORDER BY especie) as
Simpson;".format(id_pol,id_pol,id_pol,id_pol))

    rows = cur.fetchall()

    for row in rows:

        print "Simpson: %s" %(row)

        cur.execute("UPDATE mestrado.""parque_bicuar"" set simpson={} WHERE
id={};".format(row[0],id_pol))

        con.commit()

    #return "<h1>Tabela de polígonos atualizada!</h1>"

    output = template('resultado_simpsonparque', N=N, Nmax=Nmax, S=S, lmg=lmg, d=d)

    return output

except psycopg2.DatabaseError, e:

    print 'Error %s' % e

    sys.exit(1)

finally:

    if con:

        con.close()

# Static Routes

@route('/dist/<filepath:path>')

def server_static(filepath):

    return static_file(filepath, root='/home/mestrado/huila/venv/huilawebsig/dist')

run(host='0.0.0.0', port=8181)

```

Anexo 2: Códigos para a configuração dos temas, do zoom e das coordenadas do centro da província da Huíla no ficheiro html listatabpol

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="en">
<head>
  <meta charset="utf-8">
  <title>Huila Landscape metrics</title>
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <meta name="description" content="">
  <meta name="author" content="">
  <style>
    body {
      margin: 0;
      padding: 0;
    }
    #map {
      width: 100%;
      height: 600px;
    }

    .leaflet-tile-pane {
      opacity: 0.3;
    }

    div.leaflet-control-legend {
      max-height: 200px;
    }

    .options {
      position: absolute;
      top: 8px;
      left: 46px;
      z-index: 20000;
    }

    .span3 {
```

```

position: absolute;

top: 8px;

right: 46px;

z-index: 20000;

}

.info {

padding: 6px 8px;

font: 14px/16px Arial, Helvetica, sans-serif;

background: white;

background: rgba(255,255,255,0.8);

box-shadow: 0 0 15px rgba(0,0,0,0.2);

border-radius: 5px;

}

.gitButton{

padding:15px 30px;

background-color: #47a230;

text-decoration: none;

font-weight: 900;

color: white;

text-transform:uppercase;

transition: background-color .5s;

border: none;

border-radius: 2px;

cursor: pointer;

}

.gitButton:hover {background-color: #1d7806}

.gitButton:visited {color: white;}

.manualButton {

padding:15px 30px;

background-color: #308ba2;

margin-left: 40px;

text-decoration: none;

font-weight: 900;

color: white;

text-transform:uppercase;

```

```

        transition: background-color .5s;
        border: none;
        border-radius: 2px;
        cursor: pointer;
    }
</style>
<link rel="stylesheet" href="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.7.5/leaflet.css" />
<link rel="stylesheet" href="http://humangeo.github.com/leaflet-dvf/dist/css/dvf.css" type="text/css"
media="screen" />
</head>
<body>
<div class="options">
    %#template to generate a HTML table from a list of tuples (or list of lists, or tuple of tuples or ...)
    <p>Selecione as tabelas para cálculo:</p>
    <form>
    Select layer:
    <select id="myTable" name="optionpol" width="600px">
    %for row in rows:
        <option value="{{ row[0] }}" SELECTED>{{ row[0] }}</option>
    %end
    </select>
    </form>
    <form>
    Select index:
    <select id="mySelect">
        <option value="shannon">Shannon</option>
        <option value="simpson">Simpson</option>
    </select>
    </form>
    <button type="button" onclick="myFunction()">Calcular</button>
    <script>
    function myFunction() {
        tabelaselecionada = document.getElementById("myTable").value;
        indiceselecionado = document.getElementById("mySelect").value;
        //alert(indiceselecionado + tabelaselecionada);
    }
    </script>

```

```

    if (tabelaseleccionada == "municipios" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/municipios_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "municipios" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/municipios_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "litologia" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/litologia_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "litologia" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/litologia_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "grelha_huila" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/grelha_huila_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "grelha_huila" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/grelha_huila_shannon";
    } else if (tabelaseleccionada == "parque_bicuar" && indiceseleccionado == "simpson") {
        window.location="http://localhost:8181/parque_simpson";
    } else if (tabelaseleccionada == "parque_bicuar" && indiceseleccionado == "shannon") {
        window.location="http://localhost:8181/parque_shannon";
    }
}
</script>
</div>

<div id="map"></div>
<script src="dist/bundle.js"></script>
<script src="http://d3js.org/topojson.v1.min.js"></script>
<script src="L.tileLayer.wms.js"></script>
<script type="text/javascript" src="http://cdn.leafletjs.com/leaflet-0.7.5/leaflet.js"></script>
<script type="text/javascript" src="http://code.jquery.com/jquery-1.9.1.min.js"></script>
<script type="text/javascript" src="../../dist/leaflet-dvf.js"></script>
<script type="text/javascript" src="http://maps.stamen.com/js/tile.stamen.js?v1.2.4"></script>
<script type="text/javascript" src="../../lib/jsts/javascript.util.js"></script>
<script type="text/javascript" src="../../lib/jsts/jsts.js"></script>
<script type="text/javascript">

var baseLayer = new L.StamenTileLayer('toner', {
    detectRetina: true

});

```

```

var wmsLayer = L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/huila/wms?', {
  layers: 'huila:municipios_huila',
  tiled: true,
  format: 'image/png',
  transparent: true,
});
  var wmsLayer2 = L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/huila/wms?', {
  layers: 'huila:grelha_huila',
  tiled: true,
  format: 'image/png',
  transparent: true,
});
  var wmsLayer3 = L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/huila/wms?', {
  layers: 'huila:litologia_huila',
  tiled: true,
  format: 'image/png',
  transparent: true,
});
  var wmsLayer4 = L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/huila/wms?', {
  layers: 'huila:parque_nacional_bicuar',
  tiled: true,
  format: 'image/png',
  transparent: true,
});
  var wmsLayer5 = L.tileLayer.wms('http://localhost:8080/geoserver/huila/wms?', {
  layers: 'huila:especies_huila',
  tiled: true,
  format: 'image/png',
  transparent: true,
});
var map = L.map('map', {
  center: [-14.7966797,14.4298239],
  zoom:8
,
  layers: [baseLayer,wmsLayer,wmsLayer2] // last baselayer is the one checked

```

```

});
var resize = function () {
    var $map = $('#map');
    $map.height($(window).height());
    if (map) {
        map.invalidateSize();
    }
};
$(window).on('resize', function () {
    resize();
});
resize();
var baseLayers = {
    "Layers": baseLayer
};
var overlays = {
    "Municípios da Huíla": wmsLayer, "Grelha cartográfica": wmsLayer2, "Litologia
da Huíla": wmsLayer3, "Parque Nacional do Bicular": wmsLayer4, "Dados das espécies": wmsLayer5,
};
L.control.layers(baseLayers, overlays, {position: 'bottomleft', collapsed: false}).addTo(map);
layerControl.addTo(map);
</script>
</body>
</html>

```