PAULO VENANCIO LOPES

UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE REDES DE INTERAÇÕES
POLINIZADORES-PLANTAS APLICADA
AO PORTAL IABIN-PTN

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciência.

São Paulo

2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de junho de 2012

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

Lopes, Paulo Venancio

**Uma ferramenta para análise de rede de interações
polinizadores – plantas aplicado ao portal IABIN-PTN / P.V.
Lopes. --ed.rev-- São Paulo, 2012.
109 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e
Sistemas Digitais.**

**1. Ferramenta 2. Grafo 3. Redes de interações 4. Polinizador
5. Biodiversidade IABIN-PTN 6. Abelhas I. Universidade de São
Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Com-
putação e Sistemas Digitais II. t.**

UMA FERRAMENTA PARA ANÁLISE DE REDES DE INTERAÇÕES
POLINIZADORES-PLANTAS APLICADA
AO PORTAL IABIN-PTN

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciência.

Área de Concentração: Sistemas Digitais

Orientador: Prof. Dr. Antonio Mauro Saraiva

São Paulo

2011

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr, Antonio Mauro Saraiva, que é um amigo muito querido e muito me ajudou nesta árdua jornada.

Ao Prof. Dr. Pedro Luiz Pizzigatti Corrêa, que me incentivou e me ajudou quando preciso e ao Prof. Dr. André Riyuiti Hirakawa e ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Cugnasca por grande ajuda em forma de criticas aos trabalhos apresentados em reuniões do LAA

Aos colegas e amigos do LAA, em especial, Diogo, Etienne, Pablo, Juan, Leandro, Jorge, Edson, Bruna e Juliana, que sempre me ajudaram.

A minha família (Mãe, Pai, Irmãos, Esposa e Filhos) que foram minha inspiração e força.

Agradeço a meus ancestrais, pois sem eles seria impossível chegar até aqui, a sua força.

RESUMO

O planeta está perdendo rapidamente sua biodiversidade, e isto se dá em boa medida pelo crescimento da população humana. Com ela cresceu a demanda por alimentos e matérias primas, e por consequência, aumentou a quantidade de terras usadas para sua produção. Esta demanda por terras aráveis e a busca por minérios fez com que a natureza entrasse em crise e a perda dos polinizadores, principalmente as abelhas, sem dúvida merece destaque. Isto por que estas espécies são responsáveis por um importante serviço de ecossistemas, a polinização, tanto para produção de alimentos quanto nas áreas naturais. Para encontrar soluções para o declínio dos polinizadores, os pesquisadores coletam dados sobre as ocorrências de espécies que auxiliem na conservação e no uso sustentado da biodiversidade. A manipulação da grande quantidade de dados coletados demanda o apoio da computação e ensejou a criação de uma nova área denominada informática para biodiversidade (*biodiversity informatics*), que se dedica à pesquisa e desenvolvimento de ferramentas que cobrem desde a digitalização até a análise dos dados. Uma categoria importante de dados de biodiversidade é a dos dados sobre as interações entre as espécies, pois permite entender as inter-relações e dependências. Nos últimos anos essa abordagem sobre interações vem se intensificando, principalmente sob a forma de redes de interações e desta forma a construção de novas ferramentas com esta abordagem se faz necessária para auxiliar as análises. Este trabalho apresenta uma ferramenta para análise de redes de interações desenvolvida para operar sobre a base de dados de interações do portal da Rede Temática de Polinizadores da Rede Interamericana de Informação sobre Biodiversidade IABIN-PTN. Ela se baseia em conceitos computacionais como teoria dos grafos e sistemas complexos para realizar cálculos e apresentar gráficos para análise de redes de interações biológicas, como os índices de tamanho da rede, quantidade de espécies, número total de ligações, conectância, grau médio de espécies, grau presença-ausência, grau quantitativo, coeficiente de agregação e força da espécie. Para visualização da topologia da rede são disponíveis com cinco tipos de gráficos: Balão, Circular, Orgânico, Cíclico Hierárquico e Radial, além dos gráficos da matriz adjacência, matriz presença, grafo bipartido, interações, coeficiente de agregação,

distribuição e probabilidade. A ferramenta permite analisar os dados diretamente a partir do portal de dados, dispensando a exportação para outras ferramentas, aumentando o valor da Rede Temática de Polinizadores e contribuindo para o trabalho os pesquisadores.

Palavras chave: Interação, Rede de Interações, Interações Biológicas.

ABSTRACT

The planet is rapidly losing its biodiversity, and this is due to mankind demographic expansion. With an increased population, the demand for food has also increased and, consequently, an increase in land used for agriculture also occurred. This demand for tillable land and the search for minerals have disrupted nature and the loss of pollinators, particularly bees, is undoubtedly the most damaging of all. This is because these species generate high value in their ecological services, in the process of pollination for food production and the maintenance of natural areas. To find solutions, researchers are collecting information on the occurrences of species that can assist in the conservation and sustainable use of biodiversity in their search for answers. But with all this information, its treatment has become very slow, expensive and difficult to manipulate. Hence, biodiversity informatics, a branch of computer science, came to solve these and other issues, storing this information in databases and creating computational tools to analyze all that information. In recent years, the approach to interactions has intensified, especially in interaction networks and thus the construction of new tools with this approach is required. This work proposes a tool for analyzing interaction networks to be connected to IABIN-PTN portal interaction database. This tool will perform calculations and graphics for analyzing the biological interactions network and calculations are presented as indices of network size, number of species, total number of links, connectance, average degree of species, presence-absence degree, quantitative degree, aggregation coefficient, and species strength. Visualization will show the topology network with five types: Ballon, Circular, Organic, Hierarchical Cyclic and Radial, and graphics for adjacency matrix, presence matrix, bipartite graph, interactions, aggregation coefficient, distribution and probability. The tool allows analyzing the data directly from the IABIN PTN portal without the need to export the data to other tools, increasing the value of IABIN-PTN and contributing to the work of the researchers.

Keywords: Interaction, Interactions Network, Biological Interactions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de grafo direto de u para v (a) e um grafo indireto (b), compreendendo dois nós e uma aresta.	11
Figura 2 – Grafo direto (c), indireto (b) e suas matrizes de adjacência direta (d) e indireta (a).	12
Figura 3 – Representação do caminho, de largura 4, ente os nós u e v.	13
Figura 4 - Representação de grafos para análises de redes com dados geográficas.	14
Figura 5 - Comparação do grafo aleatório (a) e uma rede sem escala (b) (LESNE, 2006).	15
Figura 6 – Representa as seis possibilidades de triângulos (a) e dois dos seis possíveis triângulos (b) baseada em Lesne (2006).	16
Figura 7 - Representação de uma matriz de presença/ausência e de freqüência de interações.	18
Figura 8 - Representação da matriz de rede bipartida colorida baseado em Dormann <i>et. al.</i> (2009).	18
Figura 9 – Representações de matrizes de presença-ausência (BASCOMPTE, JORDANO 2007).	19
Figura 10 - Representação de uma rede bipartida (a) e de uma rede unipartida (Baseado em Guillaume; Latapy, 2004)	19
Figura 11 - Gráfico bipartido. (Baseado em Dormann; Gruber; Fründ, 2008).	20
Figura 12 - Representação de rede bipartida com topologia circular (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007).	21
Figura 13 – Rede bipartida com topologia hierárquica (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007).	21
Figura 14 – Representação da distribuição de freqüências (a) e da probabilidade (b) de uma espécie interagindo com K espécies. (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007). .	22
Figura 15 - Visão dos casos de uso principais.	27
Figura 16 - Visão dos casos de uso que tratam a visualização dos índices, das matrizes e gráficos.	28
Figura 17 – Arquitetura: Visão geral dos módulos.	29

Figura 18 – Visão geral de alto nível da ferramenta.....	30
Figura 19 – Visão das camadas da ferramenta.....	33
Figura 20 – Mostra como o portal IABIN-PTN está implantado no servidor Linux.....	34
Figura 21 - Portal IABIN-PTN e a ferramenta implantada no servidor Linux.	35
Figura 22 – Tela de entrada.	38
Figura 23 – Tela inicial com a barra de menu com seus itens.....	39
Figura 24 – Tela de filtragem da rede, mostrando a entrada de espécies de polinizadores.	39
Figura 25 - Tela de filtragem da rede, mostrando a entrada de espécies de plantas.....	40
Figura 26 – <i>InputText</i> que é também um auto completar.	40
Figura 27 – Menu principal com seus itens e subitens.	41
Figura 28 – Topologia com representação de Balões.	43
Figura 29 - Topologia com representação circular.	44
Figura 30 – Topologia com representação Orgânica.	44
Figura 31 - Topologia com representação Ciclo Hierárquico.....	45
Figura 32 – Topologia com representação Radial.....	45
Figura 33 - Componentes para mudanças de visão da topologia.	46
Figura 34 – Índices da rede de interações. a) Índices da rede. b) Índices do nó (táxon).	46
Figura 35- Matriz presença.....	49
Figura 36 - Matriz Adjacência.....	50
Figura 37 - Grafo Bipartido	51
Figura 38 - Gráfico de Interações por espécie	52
Figura 39 – Gráfico do Coeficiente de Agregação.....	53
Figura 40 - Gráfico de Distribuição de Frequências	54
Figura 41 - Gráfico de probabilidades	55
Figura 42 - Matriz Adjacência frequência interação.	56
Figura 43 - Grafo bipartido Quantitativo	57
Figura 45 - Modelo de dados da IABIN-PTN com 4 tabelas e uma view.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies envolvidas na rede.....	89
Tabela 2 - Lista de interações	89
Tabela 3 - Matriz adjacência presence-ausência.	92
Tabela 5 - Distribuição de frequência espécie 1.....	94
Tabela 6 - Distribuição de frequência espécie 2.....	94
Tabela 7 - Índices da rede.....	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCD - *Access to Biological Collection Data*

BI - *Biodiversity Informatics* (Informática para Biodiversidade).

BioCAsE - *Biological Collection Access Services*

DIGIR - *Distributed Generic Information Retrieval*

DWC - *Darwin Core*

FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação.

GBIF - Global Biodiversity Information Facility.

HTTP - *Hypertext Transfer Protocol*

IABIN - Rede Interamericana de Informação sobre Biodiversidade.

IABIN-PTN - Rede Temática de Polinizadores da IABIN

ITIS - *Integrated Taxonomic Information System*.

TAPIR - *TDWG Access Protocol for Information Retrieval*

TCS - *Taxonomic Concept Transfer Schema*

TDWG - *Biodiversity Information Standards*.

XML - *Extensible Markup Language*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo.....	3
1.2	Justificativa.....	3
2	REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	Informática para Biodiversidade	5
2.1.1	Entidades e Iniciativas internacionais.....	6
2.1.2	Protocolos.....	8
2.1.3	Esquemas de dados	8
2.2	Biodiversidade	9
2.2.1	Interações biológicas	10
2.3	Rede de Interações	10
2.3.1	Teoria dos Grafos.....	11
2.3.2	Teoria dos Grafos em Biologia	13
2.3.3	Modelos Matemáticos em Redes de Interação	14
2.3.4	Rede de Interações em Biodiversidade	17
2.3.5	Representação de Estrutura da Rede de Interações	17
2.3.6	Índices da Rede Bipartida	22
3	DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA.....	26
3.1	Descrição	26
3.1.1	Descrição do problema	26
3.1.2	Descrição dos <i>stakeholders</i>	26
3.2	Requisitos.....	26
3.3	Casos de Uso	27
3.3.1	Casos de uso principais.....	27
3.3.2	Casos de uso estendidos do principal.....	28
3.4	Arquitetura.....	28
3.4.1	Visão geral	29
3.4.2	Visão de alto nível.....	29
3.4.3	Visão das Camadas	32

3.4.4	Visão da implementação	33
3.4.5	Visão de implantação.....	34
3.4.6	Modelo de Dados.....	36
3.4.7	Recursos utilizados	36
4	RESULTADO: DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO IMPLEMENTADO	37
4.1	Descrição	37
4.2	Tela inicial	38
4.3	Tela entrada.....	38
4.4	Tela de Filtros	39
4.5	Menu Principal	41
4.6	Topologia da rede	43
4.7	Índices.....	46
4.7.1	Índices da rede.....	47
4.8	Gráficos	48
4.8.1	Gráficos dos Índices Presença-Ausência.....	48
4.8.2	Gráfico de Probabilidades.....	55
4.8.3	Gráficos dos Índices Frequência de Interação	55
5	PROVA DE CONCEITO	58
5.1	Filtragem dos dados usando script SQL	58
5.1.1	Desenhar os gráficos.....	58
5.1.2	Comparação entre os cálculos do Excel e os dados da ferramenta	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
6.1	Contribuições.....	62
6.2	Conclusões	62
6.3	Trabalhos Futuros.....	63
7	REFERÊNCIAS	65
8	APÊNDICES.....	70
8.1	APÊNDICE A	70
8.1.1	Caso de uso “Filtrar dados”	70
8.1.2	Visualizar índices.....	71
8.1.3	Visualizar Matrizes.....	72

8.1.4	Caso de uso “Visualizar gráficos”	73
8.2	APÊNDICE B	74
8.2.1	Caso de uso “Calcular índices gerais”	74
8.2.2	Caso de uso “Calcular índices do táxon”	74
8.2.3	Caso de uso “Montar matriz presença/ausência”	75
8.2.4	Caso de uso “Montar matriz frequência de interação”	76
8.2.5	Caso de uso “Gráfico bipartido”	76
8.2.6	Caso de uso “Montar gráfico bipartido presença/ausência”	77
8.2.7	Caso de uso “Montar gráfico bipartido frequência de interação”	78
8.2.8	Caso de uso “Montar gráfico via <i>Kap Lab</i> ”	78
8.2.9	Caso de uso “Montar gráfico presença/ausência”	79
8.2.10	Caso de uso “Visualizar Gráfico de Interações e Coeficiente de Agregação”	80
8.2.11	Caso de uso “Visualizar Gráfico de Distribuição de Frequência e Probabilidade”	80
8.2.12	Caso de uso “Modificar propriedades dos gráficos via <i>Kap Lab</i> ”	81
8.3	APÊNDICE C	82
8.3.1	Modelo de Dados.....	82
8.4	APÊNDICE D	86
8.4.1	Adobe Flex	86
8.4.2	Swiz Framework.....	86
8.4.3	MySQL.....	86
8.4.4	SpringFramework.....	87
8.5	APÊNDICE E	89
8.5.1	Formatação dos dados em tabelas.....	89
8.5.2	Tabela de espécies.....	89
8.5.3	Tabela de interações das espécies/espécimes	89
8.5.4	Tabela matriz adjacência presença-ausência	91
8.5.5	Tabela matriz adjacência quantitativa.....	92
8.5.6	Cálculos dos índices feitos com planilha Excel	93
8.5.7	Distribuição de frequência.....	94
8.5.8	Índices da rede.....	94

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o planeta vem perdendo sua biodiversidade rapidamente. Wilson (1998) previu que a maioria das florestas tropicais seria devastada e mesmo outros biomas ricos em espécies, principalmente os recifes de corais tropicais, antigos lagos e zonas úmidas costeiras, também corriam o mesmo perigo. As florestas tropicais cobrem apenas 7% da superfície terrestre do planeta, mas contém mais da metade das espécies da biota do mundo inteiro (WILSON 1998).

De acordo com Myers (1979), o mundo perdeu uma espécie por dia na década de 70, e na década de 80 a perda aumentou para cerca de uma espécie por hora. Lugo (1988) previu a perda de 20% a 50% das espécies do planeta até o final do século XX. A maioria das perdas de diversidade biológica, para não falar nas de serviços de ecossistemas, estão muito além da capacidade humana de reparo porque muitas espécies estão sendo extintas rapidamente, com consequências imprevisíveis para as outras. Além disso, a manutenção das espécies num congelador, em cativeiro, ou em pequenos refúgios fragmentados oferece pouco para a Terra na forma de serviços ecossistêmicos básicos. Contudo, cuidados intensivos e a biotecnologia podem preservar alguma diversidade que fora perdida (CONWAY, 1988).

Até agora, no pensamento e discussões sobre a conservação da diversidade biológica em geral, a ênfase tem sido a preservação do que ainda se tem. Isto faz sentido pois preservação, obviamente, tem um papel fundamental a desempenhar na conservação da diversidade. Ao mesmo tempo, no entanto, é evidente que por si só a preservação não é uma estratégia adequada para a conservação da diversidade. Na melhor das hipóteses, a conservação só pode manter o que já existe e, em um mundo em mudança, precisa-se mais do que isso. Em última análise, precisa-se de uma forma não só de salvar o que se tem, mas também de colocar os pedaços juntos novamente, quando algo for alterado, danificado ou mesmo destruído. Além disto tem se dado muita importância ao reflorestamento das áreas perdidas e ainda muito pouca importância para a reintrodução de espécies de animais (JORDAN; GILPIN; ABER, 1990).

Os seres humanos são basicamente os causadores dessas perdas, porque no

processo de garantir sua sobrevivência as pessoas tendem a modificar o seu meio ambiente. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 2011) declarou 2011 como ano internacional das florestas com o objetivo de conscientização, conservação e desenvolvimento de todos os tipos de florestas. Ela estima que são perdidas 13 milhões de m² de florestas por ano a um custo entre 2,5 e 4,5 trilhões de dólares. Pesquisas estimam que a produção de alimento precise crescer 70% até 2050 para alimentar a população, mas apenas 10% desta produção deverá ter sua procedência de terras desmatadas.

Em um ecossistema muitos processos ocorrem simultaneamente e, portanto estudar o efeito da biodiversidade em um processo específico, com uma função conhecida pode oferecer melhores resultados do que tentar compreender os efeitos sobre o ecossistema todo. Um serviço de ecossistema muito importante é a polinização, que é um processo que envolve duas espécies ou comunidades (plantas e polinizadores), onde duas espécies podem se beneficiar mutuamente uma da outra. Insetos e outros animais visitam flores para obter alimento, usualmente na forma de pólen ou néctar. Este é um lado de um relacionamento de benefício mútuo, a planta obtém em retorno o serviço ecossistêmico de polinização em carregar pólen de uma flor para outra (MEMMOTT, 1999 apud PROCTOR, 1996). Seja em ambientes terrestres ou aquáticos, a polinização e os polinizadores rendem serviços ecossistêmicos e econômicos vitais na manutenção da vida no planeta Terra. Por exemplo, plantas dependem da polinização para se transformarem em alimento que os seres humanos e outros animais dependem pra sobreviver (NWF, 2001). Para entender o processo de polinização os pesquisadores coletam informações nos mais diversos ambientes da terra formando uma grande massa de informações que são guardadas em pedaços de papel, planilhas eletrônicas e base de dados computacionais. Estas informações para cumprirem seu papel fundamental devem ser disponibilizadas para a comunidade científica e para que elas possam ser armazenadas, tratadas e disponibilizadas, desenvolveu-se um ramo da computação chamado informática para biodiversidade. Certos padrões foram criados para que pesquisadores desta área possam criar ferramentas que facilitem o armazenamento, tratamento e a disponibilização destas informações. Para garantir o armazenamento, tratamento e disponibilização de

informações sobre biodiversidade foram criadas entidades internacionais, tais como:

- GBIF - *Global Biodiversity Information Facility* que disponibiliza informações sobre biodiversidade para pesquisadores, políticos, empresas, leigos, educadores e etc.
- TDWG – *Biodiversity Information Standards* que estabelece colaboração internacional entre projetos de bancos de dados biológicos desenvolvendo padrões para troca de dados biológicos/biodiversidade.
- IABIN - *Inter American Biodiversity Information Network* é um fórum que promove colaboração técnica, coordenação e educação para o desenvolvimento sustentável nas Américas.
- IABIN-PTN - *IABIN Pollinators Thematic Network* é uma das seis redes temáticas da IABIN que se concentra apenas em polinizadores.
- *Catalog of Life* (COL) é um catálogo que lista as espécies conhecidas no planeta.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem por objetivo propor uma ferramenta para análise de redes de interações que tem como finalidade facilitar os cálculos de diversos índices de interesse e a visualização das redes em forma gráfica também segundo vários formatos. A ferramenta foi aplicada ao banco de dados da Rede Temática de Polinizadores da IABIN, Rede Interamericana de Informações sobre Biodiversidade.

1.2 Justificativa

A análise de redes de interações tem sido usada nas ciências sociais desde os anos 30, como uma forma de processamento de dados complexos. Em 1990 o interesse pela análise de rede começou a crescer rapidamente e se espalhou por todas as outras disciplinas científicas incluindo a biologia e a biodiversidade. Para que a conservação da biodiversidade se concretize se faz necessário entender cada vez mais o seu funcionamento e para isto certas perguntas precisam ser pensadas e respondidas. tais como:

- A conectância e níveis de ligação de plantas e insetos são afetados pela riqueza de espécies?
- Qual é o mínimo de diversidade de insetos para a polinização de uma comunidade vegetal?
- Qual é o mínimo de diversidade da comunidade vegetal, para manter todos os polinizadores necessários?
- Qual o tipo de espécies de plantas que mais irão sofrer com a perda de espécies?.

Muitas outras perguntas estão sendo feitas por pesquisadores e que para serem respondidas se faz necessário a criação de ferramentas que possam facilitar a análise dos dados sobre ocorrências de espécies pelo planeta. Este trabalho tem a finalidade de propor uma ferramenta para facilitar as pesquisas em biodiversidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Informática para Biodiversidade

Informações coletadas sobre espécies estão sendo armazenadas em locais diversos tais como cadernos, planilhas eletrônicas e base de dados bem estruturadas em servidores de banco de dados de última geração. As informações sobre a biodiversidade que existem hoje no planeta, possuem um alto valor econômico e representam bilhões de dólares em investimentos em todo o planeta (COTTER; BAULDOCK, 2000). Para que estes dados sigam um padrão mínimo de qualidade e possam ser compartilhados, através de protocolos e processos únicos, foram criadas entidades internacionais tais como *Biodiversity Information Standards* (TDWG, 2011), *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2011), *Inter American Biodiversity Information Network* (IABIN, 2011) e outros. Estas entidades desenvolvem padrões que estão sendo usados na informática para biodiversidade (Biodiversity Informatics - BI) para manipular e disponibilizar estes dados. Estas iniciativas quando aplicadas em ferramentas de coleta de dados via computador garantem um primeiro passo na qualidade dos dados, já que podem garantir que certos parâmetros mínimos serão atendidos.

BI é um campo emergente que se aplica a ferramentas de informação para a gestão e análise de espécies, dados de ocorrência, dados taxonômicos, e imagens. E com o desenvolvimento e implementação de padrões formais de intercâmbio de dados e protocolos de consulta, será possível integrar coleções de dados a partir da coleta destes em todo o planeta (JOHNSON, 2007).

Edwards (2007) mostra que existem várias definições de informática para biodiversidade (BI) e aborda sete definições, mas neste trabalho foram escolhidas três delas. A primeira diz: “A aplicação de tecnologias da informação para a gestão, exploração algorítmica, análise e interpretação dos dados primários sobre a vida, particularmente no nível de organização de espécies (SOBERÓN; PETERSON, 2004 apud EDWARDS, 2007)”. A segunda: “O estudo dos problemas de dados onde

aquisição de informação, análise, compartilhamento e colaboração são obrigados a responder a perguntas gerais sobre a biodiversidade (HEIDORN, 2007 Apud EDWARDS, 2007)” e a terceira: “Aplicação de ferramentas de TI e de tecnologia para informações sobre biodiversidade, nomeadamente ao nível orgânico, e portanto, lida com captura de informações, armazenamento, fornecimento, recuperação e análise, com foco em organismos individuais, populações, e táxon, e sua interação. Abrange a informação gerada pelos campos da sistemática (incluindo sistemática molecular), biologia evolutiva, biologia populacional, ciências do comportamento, e campos sinecológico que vão da biologia à população e fitossociologia (BERENDSOHN, 2001 apud EDWARDS, 2007)”.

2.1.1 Entidades e Iniciativas internacionais

Nesta seção serão mostradas entidades internacionais que buscam coletar, tratar e distribuir dados sobre biodiversidade para que pesquisadores, tomadores de decisão, professores e leigos possam consumi-los de forma adequada.

2.1.1.1 GBIF

Global Biodiversity Information Facility que disponibiliza via web, gratuitamente e com acesso aberto, dados sobre biodiversidade. É uma iniciativa entre vários países para tornar os dados, sobre biodiversidade, disponíveis para pesquisadores, políticos voltados à conservação ambiental, empresas interessadas em desenvolvimento sustentável, leigos, educadores e etc. Ela surgiu em 1996 de uma recomendação do fórum de mega ciência da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

2.1.1.2 TDWG

TDWG – antigamente conhecido como *Taxonomic Database Working Group* e hoje como *Biodiversity Information Standards* é um órgão, sem fins lucrativos, filiado a *International Union of Biological Sciences*. Ela foi formada para estabelecer colaboração internacional entre projetos de bancos de dados biológicos. Promete larga e efetiva distribuição de informações sobre o patrimônio mundial de organismos

biológicos, desenvolvendo padrões para troca de dados biológicos/biodiversidade.

2.1.1.3 IABIN

IABIN – *Inter American Biodiversity Information Network* é um fórum, que promove colaboração técnica, coordenação entre países e educação, para promover o desenvolvimento sustentável na região.

Metas:

1. Construir uma infra-estrutura para a troca de informações sobre biodiversidade.
2. Fortalecer a capacidade técnica para troca de informações e conhecimentos sobre biodiversidade além das fronteiras políticas, lingüísticas e institucionais.
3. Fornecer acesso à informação úteis sobre biodiversidade para os tomadores.
4. Aumentar a capacidade de armazenar, utilizar e distribuir de forma cientificamente correta e atualizada das informações sobre biodiversidade.
5. Produzir ou adaptar produtos de informação para tomadores de decisão (ferramentas para tomada de decisão) para que eles possam formular políticas eficazes de gestão ambiental e promover o desenvolvimento sustentável na região.

2.1.1.4 IABIN-PTN (IABIN Pollinators Thematic Network)

É uma das seis redes temáticas da IABIN que trata exclusivamente de polinizadores e apoiará a monitorização e gestão bem sucedida de populações de polinizadores em todo o Hemisfério Ocidental.

2.1.1.5 Catálogo da vida (COL)

O *Catalog of Life*, é um programa global para elaborar um "catálogo da vida", usando redes distribuídas na Internet. Ele tem o objetivo de criar um índice uniforme e validado para as espécies conhecidas do planeta, para uso como uma ferramenta prática no inventário e monitoramento da biodiversidade mundial. Dois outros programas se

fundiram para criar o COL, o *species2000* e o *Integrated Taxonomic Information System - ITIS*.

2.1.2 Protocolos

Quando se transfere informações, ambos quem manda e recebe, devem falar a mesma língua, ou seja, precisam estabelecer um protocolo de comunicação. Nesta seção será mostrada uma pequena descrição do protocolo TAPIR, usado como protocolo de comunicação para transferência de dados sobre a biodiversidade.

2.1.2.1 TAPIR - TDWG Access Protocol for Information Retrieval

TAPIR especifica um padrão, *stateless*, de solicitações HTTP baseadas em esquema XML. É um protocolo de resposta para acesso a dados estruturados que podem ser armazenados em qualquer base de dados distribuída. TAPIR combina e estende os recursos dos protocolos BioCAsE e DiGIR para criar um novo meio, e mais genérico, de comunicação entre aplicações cliente e provedores de dados de biodiversidade usando a Internet. TAPIR foi desenvolvido para uso com a biodiversidade e coleta de dados das ciências naturais, mas é uma ferramenta genérica aplicável a outros domínios (TAPIR, 2011).

2.1.3 Esquemas de dados

Quando se transfere informações sobre biodiversidade existe a necessidade de um padrão nas informações, de tal forma que se possa entendê-las em qualquer lugar e para isto foram criados esquemas de dados para facilitar este entendimento. Estes esquemas de dados estão descritos abaixo.

2.1.3.1 Darwin Core

O *Darwin Core* (DWC) é um padrão para facilitar a troca de informações sobre as ocorrências geográficas das espécies e da existência de espécimes em coleções. Extensões para o Darwin Core fornecem um mecanismo para compartilhar informações

adicionais, que pode ser de disciplinas específicas, ou para além do comumente acordado no âmbito do núcleo do Darwin (DWC, 2011).

2.1.3.2 ABCD - Access to Biological Collection Data

O objetivo do ABCD é promover a acessibilidade a dados existentes e emergentes em bancos e coleções biológicas internacionais pelo desenvolvimento e manutenção de um esquema global para registros de coleções biológicas (ABCD, 2011).

2.1.3.3 TCS - Taxonomic Concept Transfer Schema

O esquema TCS foi concebido para permitir a representação de conceitos taxonômicos, como definido na publicação de classificações taxonômicas, revisões e bancos de dados. Como tal, ela especifica uma estrutura de documento XML para ser usado para a transferência de conceitos definidos (TCS, 2011).

2.1.3.4 Georreferenciamento

Uma das tarefas críticas na captura de dados é o processo de georreferenciamento, ou seja, a conversão de descrições de locais em que as espécimes foram coletados em um sistema de coordenadas comuns a todos (JOHNSON, 2007). Ocorrências de espécies são dados brutos utilizados para gerar muitos diferentes pontos de vista sobre a biodiversidade (GUARALNICK; HILL, 2009). Um produto essencial gerado a partir de ocorrências de espécies são os mapas de distribuição das espécies. Estes mapas documentam onde as espécies estão presentes e ausentes em todo planeta e muitas vezes são usados como entrada para medir a sua biodiversidade (GURALNICK; HILL, 2009).

2.2 Biodiversidade

O *Millennium Ecosystem Assessment* (MA, 2011), comissão da ONU responsável por avaliar as mudanças feitas pelo homem, define Biodiversidade como sendo a diversidade de organismos vivos em ambiente terrestre, marinho e outros ecossistemas aquáticos e os complexos ecológicos dos quais fazem parte. Nela estão inclusas a

diversidade de espécies e a diversidade de ecossistemas. A MA (2011) realça que a biodiversidade é fundamental para o funcionamento do ecossistema e que o ecossistema tem propriedades específicas que são determinados pelos fatores extrínsecos (abiótico) e intrínsecos (bióticos). Os fatores extrínsecos são: Clima, Condições Geofísicas, e etc. Os fatores intrínsecos são: Abundância, Distribuição, Dinâmica e Variação funcional entre os componentes da biodiversidade.

2.2.1 Interações biológicas

As interações biológicas podem ser classificadas em harmônicas e desarmônicas, onde as harmônicas são interações onde pelo menos uma das espécies é beneficiada sem prejudicar a outra e podem ser da mesma espécie (Colônias e Sociedades) ou de espécies diferentes (Mutualismo, Protocooperação, Comensalismo e Inquilinismo). As interações desarmônicas são as que uma espécie, necessariamente, é sempre prejudicada pela ação de outra e podem ser: Competição, Canibalismo, Parasitismo, Predatismo, Amensalismo e Neutralismo.

2.3 Rede de Interações

Bondy; Murty (1976) mostram que num mundo real as interações entre humano-humano, humanos-animais, animais-animais, e outras podem ser convenientemente desenhadas como diagramas de conjunto de pontos unidos, em pares, com linhas e que a abstração matemática destas situações é a teoria dos grafos.

As redes estão à nossa volta e as pessoas fazem parte, como indivíduos, de uma rede de relações sociais de diferentes tipos e, como os sistemas biológicos, o resultado de uma delicada rede de reações bioquímicas. As redes podem ser objetos tangíveis no espaço euclidiano, como redes de energia elétrica, a Internet, estradas ou sistemas de metrô, e redes neurais. Ou podem ser entidades definidas em um espaço abstrato, como redes de conhecidos ou colaborações entre os indivíduos.

As redes de interações que são baseadas na teoria dos grafos têm os seus primeiros relatos feitos por Leonhard Euler sobre o título de “Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis, Commetarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae (1741)”.

2.3.1 Teoria dos Grafos

A base para a teoria das redes complexas é a teoria dos grafos e em termos matemáticos uma rede é representada por um grafo (RÉKA; BARABÁSI, 2002). Um grafo tem pelo menos dois significados em matemática. Em matemática elementar é referência a gráficos de funções e em terminologia matemática um grafo ou rede, pode ser definido como sendo uma quantidade de pontos chamados de vértices (nó) unidos por linhas chamadas de arestas. Mason; Verwoerd (2007) definem formalmente, um grafo direto, G , como um conjunto de vértice ou nós $V(G) = \{V_1, \dots, V_n\}$, junto com um conjunto de arestas $\varepsilon(G) \subseteq V(G) \times V(G)$ e que cada aresta $(u, v) \in \varepsilon(G)$ podendo ser uma conexão que começa em u e termina v ou vice versa. Eles também definem um grafo indireto (Figura 1b) como sendo um conjunto de vértices e um conjunto de arestas, mas sem direção. E grafo direto como sendo um conjunto de vértices e um conjunto de arestas, agora com uma direção (Figura 1a).

Figura 1 - Exemplo de grafo direto de u para v (a) e um grafo indireto (b), compreendendo dois nós e uma aresta.

Mason; Verwoerd (2007) definem grau do nó para um grafo indireto como sendo a quantidade de arestas deste nó (Figura 1a). Para grafo direto aparece o conceito de grau de entrada e de saída, onde o grau de entrada de um nó é a quantidade de arestas que tem um sentido de entrada para o nó. E o grau de saída do nó é a quantidade de arestas que tem sentido de saída do nó (Figura 2c). E o conceito de matriz de adjacência (Figura 2a e 2d) que é a matriz que indica com 1 a presença de uma interação que acontece na linha e na coluna de intersecção entre as duas espécies e caso contrário 0.

A matriz adjacência é definida como:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } v_i v_j \in \mathcal{E}(G) \\ 0 & \text{if } v_i v_j \notin \mathcal{E}(G) \end{cases}$$

Os exemplos de grafos e suas respectivas matrizes de adjacência estão na Figura 2.

Figura 2 – Grafo direto (c), indireto (b) e suas matrizes de adjacência direta (d) e indireta (a).

A matriz adjacência de um grafo indireto é simétrica (Figura 2a), enquanto que a do grafo direto geralmente não (Figura 2d). Na figura são mostrados o grau do nó “u”, quantidade de arestas que estão associadas ao nó, igual a 3 para o grafo indireto (Figura 2b) e o grau de entrada do nó, quantidade de arestas que tem sentido de entrada ao nó, igual 1, e o grau de saída do nó, quantidade de arestas que tem sentido de saída do nó, igual a 2 para o grafo direto (Figura 2c). Mason; Verwoerd (2007) definem também caminho como sendo a sequência de arestas que saem do nó “u” e chegam a “v” onde:

$u = v_1, v_2, \dots, v_k = v$, sendo que para $i = 1, \dots, k - 1$:

(i) $v_i v_{i+1} \in \mathcal{E}(G)$;

(ii) $v_i \neq v_j$ for $i \neq j$

(i) e (ii) são conhecidos como caminho de largura k-1 de “u” para “v” e a Figura 3 mostra um caminho de largura 4.

Figura 3 – Representação do caminho, de largura 4, ente os nós u e v.

A distância geodésica, ou simples distância $\delta(u, v)$, de u para v é a menor caminho de “u” até “v” e se o caminho não existe $\delta(u, v) = \infty$

Se para cada par de vértices, $u, v \in V(G)$, existir algum caminho de “u” para “v”, então se diz que G está conectado. A distância média e diâmetro de um grafo G são definidos como sendo o valor médio e o máximo de $\delta(u, v)$, respectivamente assumindo todos os pares de distintos nós, u, v em $V(G)$ que são conectados por pelo menos um caminho.

Mason; Verwoerd (2007) ainda definem Coeficiente de agrupamento como sendo:

$$C_u = \frac{2e}{k(k-1)}, \text{ onde “u” é um nó de grau “k”, ou seja, vizinhos com “e” arestas.}$$

2.3.2 Teoria dos Grafos em Biologia

A Teoria dos Grafos é uma teoria amplamente aplicada em trabalhos de geografia, tecnologia da informação, lógica, ciência da computação (GROSS; YELLEN, 1999 apud BUNN; URBAN; KEITT, 2000) e na sociologia e ecologia (MASON ; VERWOERD, 2007). Bunn; Urban; Keitt (2000) definem um grafo para análise geográfico de dados biológicos (Figura 4) como sendo duas estruturas, uma que descreve seus nós e outra que descreve o tamanho de sua aresta (x, y, s).

Figura 4 - Representação de grafos para análises de redes com dados geográficas.

2.3.3 Modelos Matemáticos em Redes de Interação

Erdos; Renyi (1959) introduziram o conceito clássico de grafos aleatórios para modelos irregulares em redes complexas e pode ser pensado como um conjunto de nós, $\{v_1, \dots, v_n\}$, e um número real p com $0 \leq p \leq 1$, então para cada par de nós, v_i, v_j , uma aresta é colocada entre v_i e v_j com probabilidade p . A probabilidade de um grafo de “ m ” nós ocorrer é dado por $p^m(1 - p)^{n-m}$ (MASON; VERWOERD, 2007). Bascompte; Jordano (2007) caracterizam os grafos aleatórios biológicos como grafos que têm seu grau de distribuição seguindo uma distribuição de Poisson ou exponencial quando cresce o número de nós. A primeira propriedade estudada por Erdos; Renyi (1959) foi o aparecimento de sub-grafos. Uma importante característica da rede é o grau de distribuição $P(k)$, que descreva a probabilidade que um nó tem para ser diretamente conectado para “ k ” outros nós (LESNE, 2006), isto é a distribuição de frequência do numero de arestas por nó (BASCOMPTE; JORDANO, 2007).

$$P(k) = \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!} \quad \text{com} \quad \lambda = \langle k \rangle$$

Figura 5 - Comparação do grafo aleatório (a) e uma rede sem escala (b) (LESNE, 2006).

O primeiro, grafo aleatório, (Figura 5a) é homogêneo com grau de distribuição $P(k)$ com o pico em torno de k e decrescimento rápido com uma lei exponencial ($e^{-k \log k}$). O segundo, rede sem escala (Figura 5 b) tem uma grande estrutura heterogênea, exibindo altos graus de nós e também baixo grau de nós (ex: $k = 1$), com uma lei de potência da grande cauda de grau de distribuição $P(k) \sim k^{-\gamma}$ com $\gamma > 1$ (LESNE, 2006).

Grande parte das pesquisas recentes sobre a estrutura bio-molecular e de outras redes reais concentrou-se em determinação da forma de distribuição do seu grau, $P(k)$, $k = 0, 1, \dots$, que mede a proporção dos nós da rede com grau k . Formalmente:

$P(k) = \frac{n_k}{n}$, onde n_k é o numero de nós na rede de grau “ k ” e “ n ” é o tamanho da rede.

O grau de distribuição da internet e a *world wide web* são descritos pela lei de potência da grande cauda da figura 5b (MASON; VERWOERD, 2007).

Mason; Verwoerd (2007) definem diâmetro como a distância média entre dois nós, isto é, a média de todos os caminhos entre um par de nós e Albert; Barabási (2002) definem diâmetro de um grafo como sendo a máxima distância entre qualquer par de nós. Lesne (2006) define coeficiente de agrupamento como a fração de arestas presentes comparada com o número máximo entre os vizinhos de um dado nó (Figura 6).

Figura 6 – Representa as seis possibilidades de triângulos (a) e dois dos seis possíveis triângulos (b) baseada em Lesne (2006).

Para se calcular o coeficiente de agrupamento, como Lesne (2006) define, será analisada a rede da figura 6a. Os círculos pretos (ponto 5 das Figuras 6a e 6b) serão o alvo do cálculo do coeficiente de agrupamento. Na figura 6a quatro triângulos são vistos claramente, 1-3-5, 3-4-5, 1-2-5 e 2-4-5 e outros dois triângulos são vistos, indiretamente, de 1-4-2 e de 4-1-3 passando fora do nó 5. Estes triângulos mostram como os nós 1, 2, 3 e 4, que são vizinhos do nó 5, interagem. Neste caso se têm, no máximo, 6 possíveis interações entre os vizinhos do nó 5. Já na Figura 6b são apresentados dois 2 triângulos, vindos das interações observadas, 3-4-5 e 1-4. Para Lesne (2006) coeficiente de agrupamento (c) é igual à divisão do número de triângulos observados (o) pelo número máximo de possíveis triângulos (p).

$$c = \frac{o}{p} = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

2.3.4 Rede de Interações em Biodiversidade

Uma rede como apresentado nas seções anteriores pode ser interpretada com um grafo e no caso da biologia como um grafo indireto baseado em grafos aleatórios. Matematicamente um grafo é visto como um conjunto de pontos chamados de nós e semi-retas entre os nós chamados de arestas. Em biologia um grafo pode ser pensado como um conjunto de espécies (pontos ou nós) e interações entre elas (semi-retas ou arestas) (DORMANN; GRUBER; FRUND, 2008), (BASCOMPTE; JORDANO, 2007), (WOODWARD *et. al.*, 2005). Dentro de um ecossistema, espécies são ligadas uma a outra via uma rede de interações específicas e fluxos de energia ou materiais (WOODWARD *et. al.*, 2005).

As redes de interações estão sendo aplicadas em estudos de cadeias alimentares, sistemas hospedeiro-parasitóide e redes de mutualismo (polinização e dispersão semente-planta). Quando se estuda uma rede de interações se faz necessário calcular índices que são importantes para a análise destas redes. Vários estudos em ecologia e biodiversidade são direcionados a apenas dois níveis tróficos¹ e por isto estas redes são chamados de bipartido, isto é, todo membro de um nível trófico é somente conectado com membros do outro nível trófico. Interações diretas entre espécies do mesmo nível trófico são desconsideradas (DORMANN; GRUBER; FRÜND, 2008).

2.3.5 Representação de Estrutura da Rede de Interações

Quando se trata de redes bipartidas as interações são representadas de duas formas:

1. Representar como uma matriz de presenças/ausências onde se tem o valor 1 para a presença de interação entre um par de espécies e 0 para a ausência (Figura 7a).

¹ nível trófico é o nível de uma espécie dentro da cadeia alimentar

2. Representar as frequências de interações, mas onde se representava presença/ausência (1 ou 0) agora se representa a quantidade de interações ocorridas entre o par de espécies, ou 0 caso não haja interações (Figura 7b).

Figura 7 - Representação de uma matriz de presença/ausência e de frequência de interações.

A organização das espécies na matriz adjacência segundo Dormann; Gruber; Fründ (2008) segue o formato da Figura 8:

1. As espécies de menor nível trófico ficam nas linhas e as outras espécies do maior nível trófico ficam nas colunas.
2. Matrizes com frequências de interações têm a representação do grau dos nós por cores que saem das claras, para valores pequenos, indo para as cores mais escuras, com o aumento do grau do nó. (Figura 8).

Figura 8 - Representação da matriz de rede bipartida colorida baseado em Dormann *et. al.* (2009).

Pode-se ainda representar uma matriz presença-ausência como na Figura 9, que tem a presença de uma interação com um retângulo azul e as ausências sem marca.

A Figura 9a mostra uma matriz, com uma sub-rede de um mundo ideal, onde as plantas 1, 2, 3, 4 e 5 interagem com os animais 1, 2, 3, 4 e 5 e vice-versa. Já a Figura 9b mostra uma rede e sub-redes que se aproximam das normais.

Figura 9 – Representações de matrizes de presença-ausência (BASCOMPTE, JORDANO 2007).

Depois que se tem a representação da rede em forma de matriz o próximo passo é fazer uma representação da topologia da rede. A representação topológica pode levar em conta uma rede com somente uma parte que mostra as interações entre espécies do mesmo nível trófico (Figura 10b). No caso de uma rede bipartida se representa a topologia de duas espécies de nível trófico diferente (Figura 10a).

Figura 10 - Representação de uma rede bipartida (a) e de uma rede unipartida (Baseado em Guillaume; Latapy, 2004)

A Figura 11 mostra uma representação de uma rede bipartida que tem a quantidade de interações representadas pela largura das linhas que representam as interações. As Figuras 12 e 13 mostram mais duas formas de representação da topologia de uma rede; a Figura 12 mostra as espécies distribuídas organizadamente, verde para as espécies de menor nível trófico e laranja para espécies de nível trófico maior, em um círculo, e cada linha azul representa uma interação. A segunda forma se encontra na Figura 13 onde as espécies de menor nível trófico são representadas por retângulos verdes, à esquerda, e as espécies de maior nível trófico são representadas pelos retângulos laranja, à direita, e as interações com linhas pretas.

Figura 11 - Gráfico bipartido. (Baseado em Dormann; Gruber; Fründ, 2008).

Duas representações importantes em redes de interações são:

1. Distribuições das frequências de interações pelo número de interações por nó, onde o eixo “x” indica o número de interações que uma espécie tem, grau do nó, e “y” a frequência de ocorrência daquele grau, Figura 14a.
2. Representação das probabilidades de uma espécie interagir com ‘K’

espécies. Sendo que no eixo “x” está sendo representada a quantidade de interações e no eixo “y” a probabilidade da ocorrência das interações, Figura 14b.

Figura 12 - Representação de rede bipartida com topologia circular (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007).

Figura 13 – Rede bipartida com topologia hierárquica (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007).

Figura 14 – Representação da distribuição de freqüências (a) e da probabilidade (b) de uma espécie interagindo com K espécies. (Baseado em Bascompte; Jordano, 2007).

2.3.6 Índices da Rede Bipartida

Nesta seção são identificados os índices que podem ser calculados em uma rede de interação:

1. Tamanho da rede
2. Ligações por nó ou Espécie, grau do nó ou da espécie, conectividade;
3. Densidade de conexões ou ligações por espécies;
4. Grau médio;
5. Conectância;
6. Coeficiente de aglomeração;
7. Assimétrica da Rede;
8. Número de compartimentos;
9. Inclinação da Extinção;
10. Distribuição do Grau;

Para as equações abaixo são definidas algumas variáveis, segundo Dormann *et al* (2009):

- L – número de ligações realizadas numa rede;

- I - número de espécies de menor nível trófico (ex: plantas, presas);
- J - número de espécies de maior nível trófico (ex: polinizadores, parasitóides);
- m – número total de interações para todas as espécies;
- a_{ij} – número de interações de espécies i de baixo nível trófico e espécies j de alto nível trófico;
- A_i – número total de interações de espécies i de um baixo nível trófico, então

$$A_i = \sum_{j=1}^J a_{ij}$$

- A_j – número total de interações de espécies j de um alto nível trófico, então

$$A_j = \sum_{i=1}^I a_{ij}$$

- Em média, o número de interações por par de espécies é $\overline{a_{ij}} = m / (IJ)$.
E é referenciado como “densidade de observação”

2.3.6.1 Tamanho da rede

O tamanho da rede é dado pela quantidade de pontos, nós ou espécies da rede. Característica fundamental que reflete o número de elementos de um sistema.

2.3.6.2 Ligações por nó ou espécie, grau do nó ou da espécie, conectividade

Este índice tem vários nomes e os seus significados são:

- A quantidade de arestas que se conectam em um ponto.
- A quantidade de ligações que uma espécie tem com as outras.
- A quantidade de links que um dado nó tem com os outros nós.
- O numero de interações que diferentes espécies têm com uma delas (BASCOMPTE; JORDANO, 2007).

Doravante será usado o termo interação quando se quiser indicar uma ligação, ou link, ou aresta de uma rede. O termo espécie será usado quando se quiser indicar o ponto ou nó.

2.3.6.3 Densidade de conexões ou ligações por espécies

Densidade de conexões é a proporção do número de interações presentes na rede pelo número total de espécies.

$$D = L/(I + J)$$

2.3.6.4 Grau médio

Grau médio é o número médio de interações que uma espécie tem dentro de uma rede.

2.3.6.5 Conectância

Conectância é a proporção do número de interações presentes na rede pelo número total de interações possíveis na rede e tem diferentes definições dependendo do enfoque dado, por exemplo:

$C = L/(IJ)$ – Forma usada em análise de co-ocorrência (DORMANN *et al.*, 2009).

$C = L/N^2$ com $N = I + J$ – Probabilidade de duas espécies estarem conectadas em uma cadeia alimentar binária (WOODWARD *et al.*, 2005).

$C = 2L/N^2$ com $N = I + J$ – Probabilidade de duas espécies estarem conectadas (Rede em equilíbrio).

$C = L/N(N-1)$ com $N = I + J$ – Número de interações diretas dividido pelo número de possíveis interações, mas com as interações sendo representadas por uma única espécie (WARREN, 1990).

$C = 2L/N(N-1)$ com $N = I + J$ – Número de interações diretas dividido pelo número de possíveis interações, mas com as interações sendo representadas por um par de espécies (WARREN, 1990).

2.3.6.6 Assimétrie da Rede

A assimetria da rede é a indicação do balanço entre os dois níveis tróficos, sendo que um número positivo significa que há mais espécies de nível trófico enquanto que um número negativo significa que há mais espécies do outro nível trófico.

$$W = (I - J)/(I + J)$$

2.3.6.7 Coeficiente de agregação do ponto

O coeficiente de agregação do ponto é a proporção da quantidade de interações de uma espécie com suas espécies vizinhas sobre todas as suas possíveis interações. Então $C_a = 2E/v(v-1)$, onde “v” é o número de vizinhos e “E” o número de conexões entre k vizinhos;

2.3.6.8 Número de compartimentos

Compartimentos são subconjuntos de redes os quais não estão conectados (quer através de maior ou menor nível trófico) com outros compartimentos. Se vários compartimentos existem, pode-se computar diversos compartimentos como medida de sua heterogenidade.

2.3.6.9 Distribuição do Grau

Distribuição do grau é a probabilidade de que uma espécie escolhida ao acaso possua um número de interações (k). Se o número de espécies for pequeno usa-se a distribuição cumulativa

3 DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA

Procura-se neste capítulo descrever a ferramenta proposta que tem como finalidade calcular índices e criar gráficos que auxiliam na análise das redes de interações biológicas em biodiversidade. Esta ferramenta será incorporada ao portal de polinizadores da IABIN-PTN.

3.1 Descrição

Esta ferramenta é uma aplicação para web que pode ser utilizada por pessoas em todos os lugares onde a internet for acessível. Inicialmente selecionam-se os táxons em dois grupos, táxons do tipo 1 e táxons do tipo 2. Em seguida o sistema filtra as interações que cada táxon do tipo 1 tem com os táxons do tipo 2 e vice-versa. De posse dos dados das interações são criadas as matrizes de presença/ausência e frequência de interação e a montagem das tabelas para o desenho das topologias. O último passo é o usuário pedir para a ferramenta mostrar os dados na tela.

3.1.1 Descrição do problema

O problema a ser resolvido é a necessidade de uma ferramenta de software que faça cálculos de índices e gere gráficos usando a base de dados IABIN-PTN e ajude na análise das interações desta base em forma de redes complexas.

3.1.2 Descrição dos *stakeholders*

Os *stakeholders* desta ferramenta são divididos em dois grupos:

- 1) Desenvolvedores: Pesquisadores, Professores e Alunos
- 2) Usuários finais: Pesquisadores em biodiversidades, Professores, Alunos e demais interessados.

3.2 Requisitos

Kontoya; Sommerville (1998) mostram que os requisitos do sistema devem definir o

que o sistema deve fazer e quais são as restrições as suas operações. Seus tipos são:

- Requisitos muito gerais, que definem em geral o que o sistema vai fazer;
- Requisitos funcionais, que definem as funcionalidades do sistema;
- Requisitos de implementação, que dizem como o sistema deve ser implementado;
- Requisitos de desempenho, que definem um mínimo desempenho aceitável para o sistema;
- Requisitos de usabilidade, que especificam o máximo tempo aceitável para demonstrar o uso do sistema.

Chung; Leite (2009) define um sistema de software como sendo a soma de suas funcionalidades com suas características não funcionais tais como usabilidade, flexibilidade, interoperabilidade e segurança.

3.3 Casos de Uso

Os casos de uso principais identificados para a ferramenta são mostrados na Figura 15; suas descrições detalhadas estão no apêndice A. Os casos de uso principais são os referentes à seleção das espécies, à visualização de índices e à visualização dos gráficos. Os casos de uso estendidos detalham os casos de uso principais e estão na Figura 16 e suas descrições estão no apêndice B.

3.3.1 Casos de uso principais

Na Figura 15 os casos de uso mostram como o usuário pode interagir com os módulos da ferramenta.

Figura 15 - Visão dos casos de uso principais.

Eles estão relacionados à entrada de dados para a filtragem das interações e às interfaces para visualização dos índices, matrizes e gráficos

3.3.2 Casos de uso estendidos do principal

Os casos de uso estendidos complementam os principais, refinando-os nas diversas funcionalidades da ferramenta, Figura 16.

Figura 16 - Visão dos casos de uso que tratam a visualização dos índices, das matrizes e gráficos.

3.4 Arquitetura

A ferramenta utiliza os dados sobre interações da base de dados da IABIN-PTN

filtrando as espécies selecionadas, calculando os índices e gerando os gráficos para a análise da rede de interações.

3.4.1 Visão geral

A ferramenta pode ser descrita como contendo três módulos (Figura 17). Um externo, com a base de dados já povoada com os dados sobre as interações das espécies. Um segundo que faz a comunicação com o módulo de base de dados, os cálculos e a montagem dos gráficos. E um terceiro que tem as telas de visualização das ferramentas.

Figura 17 – Arquitetura: Visão geral dos módulos.

3.4.2 Visão de alto nível

Nesta visão são mostrados os módulos da ferramenta com seus detalhes (Figura 18), no qual são explicadas as funcionalidades do sistema. A ferramenta está dividida em 4 pacotes:

- 1) Interface com usuário;
- 2) Busca/Filtro de dados de interação;
- 3) Cálculos;
- 4) Montagem de gráficos.

Figura 18 – Visão geral de alto nível da ferramenta.

3.4.2.1 Pacote Interface com usuário

Este pacote tem as funções de entrada e saída de dados da ferramenta. As entradas são formadas por duas telas de entrada de dados:

- 1) Tela que recebe os dados sobre espécies para a filtragem;
- 2) Componentes de entrada de parâmetros, na tela principal, para as mudanças das propriedades da topologia da rede.

As saídas são formadas por dez telas:

- 1) Tela de apresentação de índices gerais;
- 2) Tela de apresentação de índices de espécies;

- 3) Tela de apresentação da topologia da rede;
- 4) Tela de apresentação da matriz presença-ausência e frequência de interação;
- 5) Tela de apresentação da matriz adjacência;
- 6) Tela de apresentação do grafo bipartido e frequência de interação;
- 7) Tela de apresentação das interações e o coeficiente de agregação;
- 8) Tela de apresentação da distribuição da frequência e da probabilidade.

3.4.2.2 Pacote Busca/Filtro de dados de interação

Este pacote tem a função de filtrar as espécies cadastradas na tela de filtro.

A filtragem é feita sobre uma *view* criada na base de dados, nela estão os registros que representam uma matriz adjacência com registros com os pares de espécies do tipo 1 pelas espécies do tipo 2 e a quantidade de interações deste par.

3.4.2.3 Pacote Cálculos

Este pacote tem a função de calcular os índices e preparar os dados para montagem dos gráficos. Ele recebe os dados do pacote “Serviço Busca/Filtro de dados de interação” e faz o cálculo dos índices abaixo:

- Tamanho da rede;
- Ligações por Espécie;
- Ligações por espécies;
- Grau médio;
- Conectância;
- Assimétrica da Rede;
- Coeficiente de agregação do nó;
- Distribuição dos Graus.

Depois de calculado os índices é montada as tabelas com os dados necessários para a construção dos gráficos da rede.

3.4.2.4 Pacote Montagem de gráficos

Este pacote tem a função de montar os gráficos da rede que serão visualizados pelos usuários, os gráficos são:

- Topologia da rede;
- Matriz presença-ausência e frequência de interação;
- Matriz adjacência;
- Gráfico grafo bipartido e frequência de interação;
- Gráfico de interações e coeficiente de agregação;
- Gráfico da distribuição de frequência e probabilidade;
- Matriz presença-ausência.

3.4.3 Visão das Camadas

A ferramenta está dividida em quatro camadas (Figura 19) que se comunicam para executarem todas as funcionalidades propostas nos requisitos funcionais.

1. A camada de dados faz a interface entre a base de dados da IABIN-PTN e a camada de serviços que faz a busca das espécies disponíveis na base de dados para o recurso de auto-completar implementado na tela de filtro.
2. A camada de serviço se comunica com a camada web e se encarregada de calcular os índices e a montagem dos dados necessários para se desenhar os gráficos da rede.
3. A camada web se comunica com a camada cliente e tem a função de preparar as telas de entradas de dados, saída dos índices e dos gráficos.
4. A camada cliente mostra as telas preparadas pela camada web e recebe os dados de entrada da ferramenta.

Figura 19 – Visão das camadas da ferramenta.

A visão geral dos módulos e a visão das camadas da ferramenta estão relacionadas e podem ser implementadas pelo padrão arquitetural Model-View-Controller MVC de Gamma *et al.* (1994).

O módulo *base de dados* está relacionado com a *camada de dados* e pode ser implementado como a *camada de modelo* (MVC) junto com os cálculos e a montagem dos gráficos. O módulo *comunicação* se relaciona com a *camada de serviço* e pode ser implementado como a *camada controle* (MVC) e o módulo *visualização* com a *camada de Web* e sua implementação será feita pela *camada visão* (MVC).

3.4.4 Visão da implementação

A interface com o usuário foi desenvolvida em Adobe Flex 4, por sua alta produtividade, qualidade dos componentes e desacoplamento da parte de negócio. Para trabalhar com a base de dados que neste caso é o servidor de banco de dados MySQL 5 (mas pode ser qualquer gerenciador de banco de dados) uma API deve ser construída e aqui foram usados os frameworks Spring ORM e Hibernate.

Os serviços foram todos construídos em objetos Java e disponibilizados com o protocolo Adobe AMF, que os serializa e os envia, via framework Spring Flex do servidor (Camada de controle) para as telas (camada de visão).

Os padrões “Command” e “Chain of Responsibility” foram usados para construir um fluxo de processos (workflow) onde os processos são implementados como serviços e coordenados por fluxos descritos neste workflow. O padrão *Data Access Object* foi usado para a busca dos dados na base de dados com o filtro especificado. Para disponibilizar os serviços com protocolo AMF foi usado o padrão Facade. Todos os padrões desta seção foram retirados de Gamma *et. al.* (1994).

Para o uso do Adobe Flex 4 deve-se usar como boa prática o padrão MVC de Gamma *et al.* (1994) na camada de visão. Neste trabalho foi usado o framework SWIZ (2011) que facilita a integração entre as tecnologias.

3.4.5 Visão de implantação

Nesta seção serão mostrados os detalhes da implantação da ferramenta no portal da IABIN-PTN e sua base de dados. A Figura 20 mostra como está implantado o portal da IABIN-PTN dentro de um servidor Linux antes da implantação da ferramenta e a Figura 21 como ficou o servidor depois que a ferramenta foi implantada.

Figura 20 – Mostra como o portal IABIN-PTN está implantado no servidor Linux.

O servidor Linux (UBUNTU, 2011) é a versão 10.x sem o módulo gráfico e nele estão instalados o servidor HTTP Apache versão 2.X (APACHE, 2011) e o servlet container Tomcat versão 5.X (TOMCAT, 2011) em tunelamento. Quando o usuário quer visualizar dados do portal IABIN-PTN o browser faz requisições para o mesmo e as requisições entram pela APACHE, instalado na porta 80 do servidor Linux, e são redirecionadas para o TOMCAT, instalado na porta 8080 do servidor Linux, que responde para o APACHE que responde para o browser que mostra os dados para o usuário.

Figura 21 - Portal IABIN-PTN e a ferramenta implantada no servidor Linux.

A Figura 21 mostra como ficou a implantação da ferramenta no Tomcat. Pode-se ver que os dois módulos trabalham paralelamente e se um usuário quiser visualizar dados da ferramenta basta apenas fazer uma requisição ao *browser* que faz requisições para o mesmo e as requisições entram pelo APACHE e são redirecionadas para o TOMCAT que responde para o APACHE, que responde para o browser, que exibe para o usuário. Pode-se ver que não existe qualquer vínculo da ferramenta com o portal IABIN-PTN.

3.4.6 Modelo de Dados

A base de dados é formada de 85 tabelas e duas *views*, mas para a ferramenta só serão necessárias 4 tabelas. Os detalhes sobre o modelo de dados são mostrados no apêndice C. Para uso pela ferramenta foi criada uma *view*, que é uma tabela dinâmica que é carregada de acordo com um filtro para os dados de interação, formando uma matriz adjacência de todas as interações da base de dados.

3.4.7 Recursos utilizados

Um protótipo da ferramenta foi construído e para sua implementação foram necessários vários recursos auxiliares que facilitassem este intento, pois com eles houve melhoria na busca de dados e no controle de transações. Ganhou-se em qualidade visual das telas de entrada de dados, topologias e gráficos. Os recursos utilizados nesta ferramenta, e descritos no apêndice D, são:

- Adobe Flex 4;
- Swiz framework;
- Kap Lab
- Spring framework;
 - Beans
 - ORM
 - Flex
- Hibernate;
- Tomcat 6;
- MySQL 5

4 RESULTADO: DESCRIÇÃO DO PROTÓTIPO IMPLEMENTADO

Brooks (1987) define um protótipo como sendo um software que simula as interfaces importantes e implementa as principais funções do sistema e as principais tarefas, mas não manipula tarefas excepcionais. O seu propósito é tornar real um conceito para que os usuários possam testar suas consistências e usabilidades.

Com o objetivo inicial de prover uma ferramenta com as funcionalidades básicas e que possa com o tempo aumentar o seu número de funcionalidades este trabalho apresenta, inspirado em Brooks (1987), um protótipo, que aqui é chamado de versão alfa, para que os pesquisadores possam fazer testes de aceitação das funcionalidades e que assim se possa evoluir para a versão beta e com o aprimoramento até chegar à versão final.

4.1 Descrição

A ferramenta tem uma tela inicial com um logotipo e um link de entrada. Depois que o link é acionado entra-se na tela de entrada onde se tem um menu com dois itens: “Início” e “Filtro”, onde “Início” retorna a tela inicial e “Filtro” chama um *pop-up* de filtragem dos táxons. Neste *pop-up* selecionam-se os táxons que são divididos em dois grupos. O primeiro grupo, por exemplo, pode conter táxons de maior nível trófico (polinizadores). E o outro grupo pode conter os táxons de menor nível trófico (plantas). Mas a escolha dos táxons é livre e o usuário é quem define. Após a escolha de uma lista de táxons a ferramenta filtra e constrói a matriz adjacência das interações destas espécies e os dados para construção dos gráficos. Em seguida é mostrado na tela principal a topologia da rede com um *combobox* e três botões para manipulação, das propriedades, desta topologia e no menu são acrescentado mais dois itens: “Índices Presença/Ausência” e “Índices Frequência de Interação”. O *combobox* tem opção de modificar o algoritmo de geração da topologia. O grupo de botões começa com um botão de ajuste automático da topologia na tela e o segundo e terceiro são os de zoom in e zoom out. Se se quiser movimentar a topologia aciona-se o botão esquerdo do

mouse e o direciona-se para a região que for de melhor visualização. Os cálculos dos índices são mostrados de duas formas: Barra lateral que se esconde ou aparece à esquerda da tela e Tooltip que aparece quando se coloca o mouse na espécie escolhida na topologia. Por último, no menu pode-se selecionar os gráficos entre os de presença-ausência e de frequência interação.

4.2 Tela inicial

A versão alfa tem uma tela de entrada (Figura 24) para mostrar que a ferramenta foi ativada. Esta tela tem uma ilustração interessante, retirada de Bascompte (2007), que mostra como padrões biológicos podem ser representados como rede de interações.

Figura 22 – Tela de entrada.

Um link chamado “Entrar”, na parte inferior da tela, leva a tela de entrada.

4.3 Tela entrada

Nesta tela é mostrada uma barra de menu com dois itens:

1. “Início” que tem um subitem “Sair” (Figuras 25 a, b) que faz a ferramenta voltar para a tela de entrada (Figuras 24).
2. “Filtro” com um subitem “Filtro” (Figuras 25 a, c) que faz a ferramenta entrar na

tela de filtragem;

Figura 23 – Tela inicial com a barra de menu com seus itens.

4.4 Tela de Filtros

A tela de filtros (Figura 26 e 27) tem a função de receber os táxons que a ferramenta fará a filtragem, os cálculos e a geração dos gráficos. Ela está dividida em duas partes:

- 1) A entrada dos táxons do tipo 1, que podem ser polinizadores (Figuras 26).
- 2) A entrada dos táxons tipo 2, que podem, por exemplo, ser plantas (Figuras 27).

Figura 24 – Tela de filtragem da rede, mostrando a entrada de espécies de polinizadores.

Figura 25 - Tela de filtragem da rede, mostrando a entrada de espécies de plantas.

Como se vê nas Figuras 26 e 27 existe um “*ListBox*” em cada uma delas onde estão os táxons selecionados e que podem ser removidas quando se seleciona um item ou mais e se aciona o botão “Remove”. Existe também um campo *InputText* com a frase “Entre Taxon Name” que é um “auto completar” (Figura 26 e 27), que se abre quando duas ou mais letras são digitadas. A ferramenta procura em sua base e traz os táxons que se aproximam do que foi digitado no *InputText*, fazendo assim um controle da qualidade, que satisfará o que foi escrito sempre da esquerda para direita (Figura 28).

Figura 26 – *InputText* que é também um auto completar.

Na tela de filtragem existem ainda os botões “Filtrar”, “Buscar Dados”, “Salvar Dados” e “Limpar Seleções”. O botão “Filtrar” aciona o servidor para que verifique se existem interações entre as espécies do tipo 1, e as do tipo 2 para montar a matriz adjacência e fazer os cálculos dos índices e a montagem dos gráficos. As interações são verificadas tanto para gêneros como para espécies, onde espécie é a representação de um único indivíduo e suas interações. O gênero é a representação de um grupo de espécies, que são ramos do gênero dentro da árvore taxonômica, e suas interações. O botão “Salvar Dados” salva os dados da entrada do táxon tipo 1 e 2 em um arquivo no formato e extensão XML com o nome escolhido pelo usuário.

O botão “Buscar Dados” vai buscar os dados da entrada do táxon que foi salvo pelo usuário dando a opção de navegar entre as pastas do computador para achar o arquivo procurado. Por último o botão “Limpar Seleções” apaga todos os táxons que estão dentro do *listBox* de seleções de cada tipo.

4.5 Menu Principal

Depois que a ferramenta reconhece todas as interações do filtro ela calcula os índices, monta a matriz adjacência, e monta os gráficos que aparecerão na tela e que são mostrados no menu principal (Figura 29).

Figura 27 – Menu principal com seus itens e subitens.

O menu principal tem quatro itens sendo que “Início” e “Filtro” foram apresentados na figura 25 e nesta seção serão vistos os itens “Índices Presença/Ausência” e “Índices Freqüência Interação”. O item “Índices Presença/Ausência” tem como finalidade mostrar os links para as telas dos gráficos para análises presença/ausência da rede.

Os subitens são:

- 1) Matriz Presença – Mostra uma matriz que representa as presenças através de um retângulo de cor azul clara e as ausências sem cor (Figura 37).
- 2) Matriz Adjacência – Mostra uma matriz que representa as presenças através do número “1” e as ausências com o “0” (Figura 38).
- 3) Grafo Bipartido – Mostra um gráfico com duas colunas, uma com espécies do tipo 1 (retângulos amarelos) e a outra do tipo 2 (retângulos verdes), e suas interações sendo representadas por linhas claras (Figura 39).
- 4) Gráficos de Interações e Coeficiente de Agregação – São dois gráficos em uma única tela onde o primeiro mostra o número de interações, representada por um número, pela espécie (Figura 40). O segundo mostra o coeficiente de agregação, representada por um número, pela espécie (Figura 41).
- 5) Gráfico de Distribuição de Freqüência e Probabilidade – São dois gráficos em uma única tela também onde o primeiro mostra a distribuição de freqüência pelo grau(k), onde grau(k) é o grau da espécie ou número de interações (Figura 42). O segundo mostra a distribuição de probabilidade pelo grau(k) (Figura 43).

O item “Índices Freqüência de Interação” tem como finalidade mostrar os links para as telas dos gráficos para análises que levam em conta a freqüência de interações. Os subitens são:

- 1) Matriz Adjacência – Mostra uma matriz que representa as quantidades de interações das espécies (Figura 44).
- 2) Matriz Bipartida – Mostra um gráfico com duas colunas, uma com espécies do tipo 1 (retângulos amarelos) e a outra do tipo 2 (retângulos verdes). Suas interações são representadas por linhas claras e a largura desta linha é proporcional ao número de interações feitas (Figura 45).

4.6 Topologia da rede

Após colocar o menu principal na tela o sistema desenha no centro da tela, baseado no framework Kalileo da Kap Lab (KAPLAB, 2011), a topologia da rede que inicialmente tem o algoritmo circular (Figura 31) e pode variar entre 5 tipos de visões da topologia.

- 1) Balão – Algoritmo que procura colocar os nós (táxons) filhos como um círculo tendo os nós (táxons) pais como centro (Figura 30).

Figura 28 – Topologia com representação de Balões.

- 2) Circular – Algoritmo que coloca todos os nós (táxons) no formato circular (Figura 31).

Figura 29 - Topologia com representação circular.

- 3) Orgânico - Algoritmo que procura simular os nós (táxons) como um sistema químico (átomos) para melhorar sua visualização (Figura 32).

Figura 30 – Topologia com representação Orgânica.

- 4) Cíclico Hierárquico – Algoritmo que coloca os nós em dois grupos horizontalmente paralelos (Figura 33).

Figura 31 - Topologia com representação Ciclo Hierárquico

- 5) Radial – Algoritmo que tenta colocar os nós em disposição radial como anéis concêntricos centrados em um nó principal, calculado de acordo com seu posicionamento (Figura 34).

Figura 32 – Topologia com representação Radial.

Para que se possam mudar a visão da topologia existe um conjunto de componentes no lado esquerdo abaixo da tela com todas as mudanças possíveis da topologia (Figura 35). Na Figura 35a é mostrado um *combobox* para escolha do algoritmo de desenho da topologia, um botão para que a topologia se enquadre na tela. Em seguida dois botões,

um de zoom out e outro zoom in.

Figura 33 - Componentes para mudanças de visão da topologia.

A Figura 35b mostra os possíveis algoritmos de representação da topologia.

4.7 Índices

A esquerda desta tela existe uma barra lateral que mostra os nomes e valores dos índices da rede (Figura 36a). Os índices de um táxon são mostrados quando se coloca o mouse em cima do táxon que se quer ver e um *tooltip* será aberto com as informações (Figura 36b).

Figura 34 – Índices da rede de interações. a) Índices da rede. b) Índices do nó (táxon).

4.7.1 Índices da rede

Os índices da rede são calculados para toda a rede e são usados para a análise geral da mesma. Na Figura 36a são mostrados os 12 índices que são:

- 1) Tamanho da rede (N) – Número total de nós (táxons) da rede.
- 2) Qtde Espécies 1 (A) – Quantidade de táxons do tipo 1 que foram selecionados na tela da Figura 26.
- 3) Qtde Espécies 2 (P) – Quantidade de táxons do tipo 2 foram selecionados na tela da Figura 27.
- 4) Número total de ligações Presença-Ausência (E) – Número total de ligações, interações, que todas as espécies efetuaram, sendo que neste caso computa-se apenas uma única ligação, interação, por combinação binária de espécies sem repetição.
- 5) Número total ligações Freqüência Interação – Número total de ligações, interações, que todas as espécies efetuaram, sendo que neste caso computam-se agora todas as ligações, interações, por combinação binária de espécies com repetição.
- 6) Conectância tipo 1 (E/N^2) – Proporção de ligações, interações, observadas (E) pelo número de ligações possíveis (N^2).
- 7) Conectância tipo 2 ($2E/N^2$) – Proporção de ligações, interações, observadas (2E) pelo número de ligações possíveis (N^2).
- 8) Conectância tipo 3 ($2E/N(N-1)$) – Proporção de ligações, interações, observadas (E) pelo número de ligações possíveis ($N(N-1)$).
- 9) Conectância tipo 4 (E/AP) – Proporção de ligações, interações, observadas (E) pelo número de ligações possíveis (AP).
- 10) Grau médio espécies 1 (E/A) – Quantidade de ligações, interações, médias dos táxons 1.
- 11) Grau médio espécies 2 (E/A) – Quantidade de ligações, interações, médias dos táxons 2.
- 12) Grau médio espécies (E/N) – Quantidade de ligações, interações, médias de todos os táxons.

Os índices de um táxon são índices que levam em conta somente o táxon selecionado, e são:

- 1) Grau Presença-Ausência – Quantidade de ligações, interações, que a táxon selecionado tem com as outras, mas somente uma interação por espécie.
- 2) Grau Quantitativo – Quantidade de ligações, interações, que a táxon selecionado tem com as outras, agora levando em conta todas as interações entre as espécies.
- 3) Coeficiente Agregação – Coeficiente que indica a proporção da quantidade de ligações, interações, de um táxon com suas espécies vizinhas sobre todas as suas possíveis interações.
- 4) Força da espécie – Soma de todas as dependências deste táxon.

4.8 Gráficos

Os gráficos são telas que mostram os dados da rede em forma de matriz, de gráfico bipartido e gráficos estáticos comuns. Os gráficos podem ser divididos em dois grupos:

- 1) Índices Presença-Ausência
 - a. Matriz Presença;
 - b. Matriz Adjacência;
 - c. Grafo bipartido;
 - d. Gráfico de Interações e Coeficiente de Agregação;
 - e. Gráfico de Distribuição de Freqüências e probabilidades.
- 2) Índices Freqüência de Interação
 - a. Matriz Adjacência;
 - b. Grafo bipartido

4.8.1 Gráficos dos Índices Presença-Ausência

Estes gráficos estão preocupados em dar informações sobre as interações entre espécies verificando sua presença ou ausência. Sendo que a apresentação destas informações pode variar de acordo com a análise que se quer fazer da rede. Para efeito de visualização dos gráficos os táxons do tipo 1 (Figura 26) serão representados

por retângulos amarelos com uma numeração de identificação e seus respectivos nomes escritos. E os táxons do tipo 2 (Figura 27) serão representados por retângulos verdes com seus respectivos nomes escritos.

4.8.1.1 Matriz Presença

Mostra o gráfico da matriz de presença da rede (Figura 37), que mostra os táxons do tipo 1 como linhas no lado esquerdo do gráfico e os táxons do tipo 2 são mostrados como colunas no alto do gráfico. As interações são representadas com retângulos azuis claros.

Figura 35- Matriz presença.

Esta matriz tem a função de mostrar visualmente como estão organizadas as

interações e a sua simetria.

4.8.1.2 Matriz Adjacência

A matriz Adjacência (Figura 38) mostra os táxons do tipo 1 ao lado esquerdo e os táxons do tipo 2 como colunas ao alto do gráfico.

Esta matriz tem a função de mostrar a rede como forma de uma matriz presença-ausência onde as interações são representadas por “1” e a falta dela por “0”. Esta representação mostra também as suas marginais, aqui definidas como “Soma”, onde se vê as somatórias das interações. De posse destes dados pode-se calcular a maioria dos índices mostrados neste trabalho.

Matriz Adjacência																		
		Vernonia	Vernonia diffusa	Vernonia discolor	Vernonia nitidula	Vernonia petiolaris	Vernonia polyanthes	Vernonia puberula	Vernonia quinqueflora	Vernonia scorpioides	Vernonia westiniana	Vespidae	Solanum	Solanum concinnum	Solanum topiro	Solanum umbellatum	Aloe	Soma
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Apis mellifera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	15
Augochlora semiramis	2	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	4
Agapostemon	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	3
Agapostemon semimelleus	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Anthophora	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Apidae	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Soma		3	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	25

Figura 36 - Matriz Adjacência

4.8.1.3 Grafo bipartido

O grafo bipartido (Figura 39) é a forma de representação que mostra os táxons do tipo 1 (Figura 26) como linhas no lado esquerdo e os táxons do tipo 2 (Figura 27) como linhas e no lado direito do gráfico. Nesta representação as interações são mostradas como linhas que só representam uma interação com um par de táxons, diferentemente do mesmo gráfico com frequência de interação. Este gráfico mostra claramente a simetria ou assimetria da rede onde uma simetria é vista quando se tem todas as linhas saindo proporcionalmente entre os táxons. E a assimetria é vista quando se tem poucos táxons com muitas interações e muitas táxons com poucas interações.

Figura 37 - Grafo Bipartido

4.8.1.4 Gráfico de Interações

Este gráfico (Figura 40) mostra o número de interações pelos táxons que neste caso estão sendo representadas pelos seus respectivos números.

Figura 38 - Gráfico de Interações por espécie

4.8.1.5 Coeficiente de Agregação

O gráfico da Figura 41 mostra o coeficiente de agregação dos táxons que neste caso estão sendo representadas pelos seus respectivos números.

Figura 39 – Gráfico do Coeficiente de Agregação

4.8.1.6 Gráfico de Distribuição de Frequências e probabilidades

O gráfico da Figura 42 mostra a distribuição de frequência pelo grau(k), onde distribuição de frequência mostra quantas vezes um numero de interações aconteceu. Por exemplo, se três táxons interagiram duas vezes então para um grau(K) = 3 se tem frequência de 2.

Figura 40 - Gráfico de Distribuição de Frequências

O grau(K) indica quantidade de interações de uma espécie, ou seja, grau do nó.

4.8.2 Gráfico de Probabilidades

O gráfico da Figura 43 mostra a distribuição das probabilidades dos táxons se interagirem com outras, ou seja, táxons com maior grau de nó, maior número de interações, tem maior probabilidade de interação com outras táxons.

Figura 41 - Gráfico de probabilidades

4.8.3 Gráficos dos Índices Frequência de Interação

Estes gráficos mostram informação sobre as interações entre táxons verificando a quantidade de interações feitas pelos táxons e sua representação seguem os mesmos procedimentos do item 4.8.2.

4.8.3.1 Matriz Adjacência

Este gráfico da matriz Adjacência da rede (Figura 44) segue as mesmas características do gráfico do item 4.8.1.2 sendo que as interações agora são mostradas pela frequência de interação, ou seja, para um par de espécies/espécimes são computadas todas as interações que aconteceram entre elas.

Matriz Adjacência Quantitativa																		X
		Vernonia	Vernonia diffusa	Vernonia discolor	Vernonia nitidula	Vernonia petiolaris	Vernonia polyanthes	Vernonia puberula	Vernonia quinqueflora	Vernonia scorpioides	Vernonia westiniana	Vesplidae	Solanum	Solanum concinnum	Solanum topiro	Solanum umbellatum	Aloe	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Soma
Apis mellifera	1	2	1	1	7	1	17	2	1	1	1	0	2	1	1	1	1	40
Augochlora semiramis	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	9
Agapostemon	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	6
Agapostemon semimelleus	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Anthophora	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Apidae	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	3
Soma		4	1	1	7	1	19	2	1	3	2	6	3	6	1	1	2	60

Figura 42 - Matriz Adjacência frequência interação.

4.8.3.2 Grafo bipartido

Este grafo bipartido (Figura 45) Segue as mesmas características que o gráfico do item 4.8.1.3 e sua representação das interações mostram a espessura das linhas proporcionalmente a quantidade de interações entre elas.

Figura 43 - Grafo bipartido Quantitativo

5 PROVA DE CONCEITO

A ferramenta faz cálculos e apresenta gráficos que representam estes cálculos, por isso se faz necessário a garantia de que estes cálculos estão sendo feitos corretamente.

Neste capítulo são mostrados os cálculos de alguns testes feitos para verificar se os resultados dos cálculos e gráficos estão sendo feitos adequadamente. Os testes foram feitos de acordo com o seguinte processo:

- 1) Filtragem dos dados usando script SQL;
- 2) Formatar os dados em tabelas;
- 3) Fazer os cálculos;
- 4) Desenhar os gráficos e
- 5) Comparar os testes com os reais.

5.1 Filtragem dos dados usando script SQL

Para que os testes sejam feitos são necessários dados e estes foram retirados, pela ferramenta MySQL Query Browser, da base de dados da IABIN-PTN com o mesmo script SQL da aplicação da seção 10.1.1.1 do apêndice C. A busca de dados foi desenvolvida para levar em conta os táxons, ou seja, quando se busca um táxon será verificada se os táxons, filhos na árvore taxonômica, também estão interagindo. Desta forma quando se cadastra um táxon sua visualização também trará os táxons que estão envolvidos nas interações da rede.

5.1.1 Desenhar os gráficos

Os gráficos que podem ser vistos nas Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44 refletem os gráficos como se estes fossem feitos a mão ou por um software. O gráfico da Figura 39, Grafo bipartido, tem 6 táxons do lado esquerdo, pois são “Táxon tipo 1”, mas como é mostrada na Tabela 1 a filtragem foi pedida para 5 táxon. Os 6 itens resultantes vêm do fato de que “Agapostemon” é um gênero e “Agapostemon

semimelleus” é uma espécie. Do lado direito são mostrados 16 “Táxon tipo 2”, mas como mostrado na Tabela 3 a filtragem era para apenas 5 itens. Os 16 itens resultantes vêm do fato que:

- Vernonia é um gênero e os itens abaixo são espécies.
 - Vernonia diffusa
 - Vernonia discolor
 - Vernonia nitidula
 - Vernonia petiolaris
 - Vernonia polyanthes
 - Vernonia puberula
 - Vernonia quinqueflora
 - Vernonia scorpioides
 - Vernonia westiniana
- Solanum é um gênero e os itens abaixo são espécies.
 - Solanum concinnum
 - Solanum topiro
 - Solanum umbellatum

As ligações podem ser vistas na matriz adjacência da Tabela 3. O gráfico da Figura 45 é do mesmo tipo do gráfico da Figura 39 sendo que a única diferença está na largura das linhas que refletem as quantidades das interações que podem ser vistas na matriz adjacência da Tabela 4.

O gráfico da Figura 40 reflete o número de interações por espécie e que pode ser desenhado a partir das Tabelas 3 e 4. O gráfico da Figura 41 reflete o coeficiente de agregação por espécie e será desenhado a partir da Tabela 4.

O gráfico da Figura 42 reflete a distribuição de frequência pelo grau(k) e que pode ser desenhado a partir da Tabela 5 e 6. O gráfico da Figura 43 reflete a distribuição de probabilidade pelo grau(k) sendo desenhado também usando as Tabelas 5 e 6.

5.1.2 Comparação entre os cálculos do Excel e os dados da ferramenta

Primeiramente é necessário ter a máxima certeza que os dados Tabela 1 são os

mesmos que foram dados nas telas das Figuras 26 e 27. Certo que esta primeira premissa esteja correta verifica-se a consistência dos dados das matrizes adjacências da Tabela 3 e 4 com as das Figuras 38 e 44. O próximo passo é verificar se os cálculos dos índices estão corretos comparando a Tabela 7 com os dados da Figura 36 e por último verificar se os gráficos 40, 41, 42 e 43 estão de acordo com os dados das Tabelas 3, 4, 5 e 6.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposta e implementada uma ferramenta para análise de redes de interações que geram índices e gráficos sobre os dados da rede IABIN-PTN que inclui dados sobre ocorrências e interações sobre espécies visitantes florais (potenciais polinizadores) e plantas. Esta ferramenta deverá auxiliar os pesquisadores na análise e na possível formulação de conclusões que possam ajudar na preservação e uso sustentável da biodiversidade. Esta ferramenta tem sua base nos sistemas complexos que se baseiam na teoria dos grafos. Grafos de grandes dimensões, com grande número de pontos e arestas como pode ser o caso das redes de interações, necessitam cálculos e representações que possam facilitar a sua análise. Quando se pensa em ecologia um grafo pode ser pensado como um par de táxons, gêneros/espécies, com uma interação entre eles podendo ser harmônicas (Mutualismo, Protocooperação, Comensalismo e Inquilinismo) e desarmônicas (Competição, canibalismo, parasitismo, predatismo, amensalismo e neutralismo). Quando em uma análise ecológica os grafos são considerados como rede de interações e quando a complexidade das interações cresce temos as redes complexas tratadas como sistemas complexos. Uma rede de interações ecológicas é um grafo indireto baseado em grafos aleatórios onde pode ser unipartido ou bipartido. Numa rede unipartido os táxons de um mesmo tipo se interagem mutuamente, mas no caso de uma rede bipartido as interações acontecem entre os dois tipos de táxons. A representação redes bipartido são as mais comuns em ecologia e são mostradas aqui nas Figuras 37, 38, 39, 44 e 45. A análise da conectância tem um especial tratamento podendo ser visto de quatro formas diferentes:

- 1) Em análise de co-ocorrência;
- 2) Em cadeia alimentar binária;
- 3) Em Rede em equilíbrio;
- 4) Em rede onde a conectância é calculada levando em conta o tamanho da rede.

A ferramenta foi desenvolvida, dentro da filosofia *Open Source*, e Java com o servidor

de banco de dados MySQL e Adobe Flex 4 com Swiz framework. Os frameworks Java utilizados são o SpringFramework e o Hibernate.

6.1 Contribuições

A ferramenta tem como principal contribuição o fato de reunir muitas das funcionalidades utilizadas por pesquisadores da área nos últimos anos em uma só ferramenta. Suas principais funcionalidades são:

- Filtro com busca de espécies com auto-completar;
- Desenho de cinco tipos de topologias: Balão, Circular, Orgânico, Cíclico Hierárquico e Radial;
- Matriz adjacência presença/ausência e quantitativo;
- Matriz presença/ausência;
- Grafos bipartido;
- Distribuição de Frequências e probabilidades;
- Gráfico do coeficiente de agregação;
- Gráfico da probabilidade de interação das espécies.

Ela é baseada em tecnologia open source e mesmo o framework Kap Lab, de desenho da topologia, pode ser utilizado sem custo nenhum para aplicações científicas open source. Desta forma a ferramenta pode ser utilizada sem nenhum custo.

A ferramenta está associada à base de dados internacional da IABIN-PTN que tem dezenas de milhares de registros sobre interações e com possibilidade de crescimento contínuo dessa base de dados. Portanto, ela adiciona valor à rede IABIN-PTN a aos seus dados na medida em que facilita as análises diretamente na base de dados do portal..

6.2 Conclusões

Este trabalho construiu uma ferramenta para análise de redes de interação visitante-planta usando as informações armazenadas na base de dados do portal da IABIN-PTN. Usar esta base de dados é muito importante, pois possibilita as análises sobre os milhares de registros sobre interações de espécies de visitantes e plantas. Estas

informações são de vários provedores nacionais e internacionais (continente americano) e estão crescendo cada vez mais com a inclusão de novos provedores e novas coleções. A ferramenta também acrescenta valor a base de dados da IABIN-PTN no que tange à disponibilização de ferramentas para análise de dados, pois o simples fato de termos informações agrupadas numa base de dados não acrescenta muito para os pesquisadores se não for possível coletar e analisar as mesmas.

A ferramenta foi projetada e desenvolvida para ser integrada ao *Pollinator Data Portal* da IABIN-PTN, mas pode ser integrada a qualquer outra aplicação, que tenha estrutura de dados semelhante, com apenas dois ajustes.

1. A adequação dos nomes dos campos usados para filtragem de interações.
2. Implantação da *view* na base de dados.

Dentro da literatura estudada foram escolhidos os gráficos, índices e topologias mais utilizados para a implementação na ferramenta.

A ferramenta pode ajudar os pesquisadores na análise de rede de interações visitante-planta na verificação de teorias já formuladas ou na formulação de novas, na ajuda de formulação de políticas para preservação e reintrodução de espécies e na educação, ajudando estudantes a entender os fundamentos das redes de interações.

6.3 Trabalhos Futuros

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho outras oportunidades foram identificadas, mas que fugiam ao escopo da proposta original. Elas são agora apresentadas para servir de orientação da sequência deste trabalho. Elas são:

1. Importar dados externos para que se possam fazer comparações com os dados da base de dados da IABIN-PTN.
2. Gerar grupos de táxons cadastrados na base de dados IABIN-PTN formando uma rede com dados aleatórios.
3. Acrescentar novos índices, gráficos e topologias, pois não foi possível cobrir todas as opções encontradas na literatura estudada.
4. Gerar modelos nulos, redes geradas como referência, para comparação com as redes pesquisadas.

5. Acrescentar o algoritmo de cálculo de aninhamento do programa “ANINHADO” de Guimarães (2006).
6. Alerta sobre o número interações (máximo,, mínimo e um número escolhido).
7. Entrar com dados sobre espécies para filtragem das interações.
8. Verificar a temporalidade das interações.
9. Verificar as posições geográficas.

Com o aparecimento do HTML 5, e a decisão de grandes empresas em adotar esta tecnologia, a migração dos componentes se faz necessária. Sabe-se que esta transição vai levar um certo tempo, mas o início da pesquisa e construção de componentes deve começar o mais rápido possível para que a ferramenta não fique obsoleta tecnologicamente, impedindo o seu uso em equipamentos de grande uso no futuro tais como smartphones e tablets.

7 REFERÊNCIAS

ABCD **Access to Biological Collections Data**. Disponível em: <<http://www.tdwg.org/activities/abcd/>>. Acesso em 2011.

BASCOMPTE, J.; JORDANO, P. **Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity**. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics Vol. 38: 567-593, 2007.

BASCOMPTE, J **Disentangling the Web of Life**. *Science* 24 July 2009.

BONDY, J.A.; MURTY, U.S.R., **Graph Theory with Applications**, 5th printing, American Elsevier Publishing Co., Inc., 1976.

BUNN, A.G.; URBAN, D.L.; KEITT, T.H. **Landscape connectivity: A conservation application of graph theory**. Journal of Environmental Management, 59 (4), pp. 265-278. Cited 111 times, 2000.

CHUNG L.; LEITE J.D.P. **On Non-Functional Requirements in Software Engineering**. Lecture Notes in Computer Science, 2009.

COTTER, G. A.; BAULDOK, B. T. **Biodiversity Informatics Infrastructure: An Information Commons for the Biodiversity Community**, Proceeding VLDB '00 Proceedings of the 26th International Conference on Very Large Data Bases Morgan Kaufmann Publishers Inc. San Francisco, CA, USA 2000.

CONWAY, D. **Conceptualising contemporary patterns of Caribbean international mobility**. Caribbean Geography 2:145-63, 1988.

DWC **Darwin Core**. Disponível em: <<http://wiki.tdwg.org/twiki/bin/view/DarwinCore/WebHome>>. Acesso em 2011.

DORMANN, C.F.; GRUBER B.; FRÜND J. **Introducing the bipartite package**:
65

analysing ecological networks, *R News* 8, pp. 8–11, 2008.

DORMANN, C. F.; FRÜND, J.; BLÜTHGEN, N.; GRUBER, B. **Indices, Graphs and Null Models: Analyzing Bipartite Ecological Networks** *Open Ecology Journal*. Vol. 2, pp. 7-24. 2009.

EDWARDS J. **The future of biodiversity informatics**. GBIF, the Encyclopedia of Life and beyond., EOL GBIF Science Symposium Amsterdam 18 October 2007.

ERDOS, P.; RENYI A. **On random graphs**. *Publicationes Mathematicae* (Debrecen), Vol. 6 1959.

EULER, L. **Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis**. *Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae*, Vol. 8 (1741), pp. 128-140. Key: citeulike:9429152.

EHRLICH P. R.; WILSON E.O. **Biodiversity Studies: Science and Policy**. *Science* 16 August 1991: Vol. 253 no. 5021 pp. 758-762 DOI: 10.1126/science.253.5021.758

FAO. **Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação**. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/>> Acesso em 2011

GAMMA, E. *et al.* **Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software** Publisher: AddisonWesley Professional November 10, 1994

GBIF **Global Biodiversity Information Facility**. Disponível em <www.gbif.org>. Acesso em 2011

GUARALNICK, R.; HILL, A. **Biodiversity informatics: automated approaches for documenting global biodiversity patterns and processes** *Bioinformatics* (2009) 25(4): 421-428 first published online January 6, 2009.

GUILLAUME, J.L.; Latapy M. **Bipartite structure of all complex networks**. LIAFA, CNRS, Université Paris 7, 2 place Jussieu, 75005 Paris, France, 2004.

GUIMARÃES, P.R. **Estrutura e Dinâmica de Redes Ecológicas**. Disponível em: <<http://www.guimaraes.bio.br/nets.html>>. Acesso em 2011.

GUIMARÃES, P. R. , P. Guimarães. 2006. **Improving the analyses of nestedness for large sets of matrices**. Environmental Modelling and Software. 21: 1512-1513

IABIN **Inter American Biodiversity Information Network**. Disponível em: <<http://www.iabin.net/>>. Acesso em 2011.

IABIN-PTN **Pollinators Thematic Network**. Disponível em: <<http://pollinators.iabin.net/>>. Acesso em 2011.

JOHNSON N. F. **Biodiversity Informatics**, Annual Review of Entomology Vol. 52: 421-438, 2007.

JORDAN W.R.; GILPIN M.E., ABER J. D. **Restoration ecology: a synthetic approach to ecological research**. ed. Cambridge University Press, 1990.

KAP LAB **Flex data visualization components** Disponível em: <<http://lab.kapit.fr/display/kaplabhome/Home>>. Acesso em 2011.

KONTOYA. G; SOMMERVILLE. I **Requirements engineering with viewpoints**. BCS/IEEE Software Engineering Journal, 1998.

KRATOCHWIL, A.; SCHWABE, A. **Evolution, Coevolution, and Biodiversity**, 2001.

LESNE, A. **Complex network: from graph theory to biology**, Letters in Mathematical Physics Volume 78, Number 3, 235-262, 2006.

LUGO, A. E. **The future of the forest Ecosystem rehabilitation in the tropics**. Environment 30:16-20, 1988.

MA **Millennium Ecosystem Assessment** Disponível em: < <http://www.maweb.org/en/index.aspx> >. Acesso em 2011.

MASON O.; VERWOERD M. **Graph theory and networks in Biology**, Systems Biology, IET , vol.1, no.2, pp.89-119, March 2007 doi: 10.1049/iet-syb:20060038

MEMMOTT, J. **The structure of a plant-pollinator food web**. Ecology Letters Volume 2, Issue 5, pages 276–280, 1999.

MYERS, N. **The Sinking Ark**. Pergamon Press, New York, 1979.

NWF **National Wildlife Federation 2001**. Animal Tracks. (21 Mar 2001) Disponível em: <http://www.nwf.org/animaltracks/index.html> Acesso em 2011.

RÉKA, A.; BARABÁSI, A.L. **Statistical Mechanics of Complex Networks**, Reviews of Modern Physics 74, 47 (2002), DOI: 10.1103/RevModPhys.74.47

SOBERÓN ; PETERSON T. **Biodiversity informatics: managing and applying primary biodiversity data**. Philos. Trans. Royal Soc. Lond. B 359, 689–698, 2004.

TAPIR **TDWG Access Protocol for Information Retrieval**. Disponível em <http://www.tdwg.org/activities/tapir>. Acesso em 2011.

TCS **Taxonomic Concept Transfer Schema**. Disponível em: <http://www.tdwg.org/standards/117/>. Acesso em 2011.

TDWG **Biodiversity Information Standards**. Disponível em: <http://www.tdwg.org/>. Acesso em 2011.

WARREN P. H. **Variation in Food-Web Structure: The Determinants of Connectance** The American Naturalist, Vol. 136, No. 5 (Nov., 1990), pp. 689-700
Published by: The University of Chicago Press for The American Society of Naturalists.

WILSON, E.O. **Biodiversity** ed. Harvard University; National Academy of Sciences/Smithsonian Institution, 1988.

WOODWARD, G.; EBANMAN, B.; EMMERSON, M.; MONTTOYA, J. M.; OLESEN, J. M.
; VALIDO, A.; WARREN, P.H. **Body size in ecological networks**, **Trends in Ecology
& Evolution**, Volume 20, Issue 7, 2005.

8 APÊNDICES

8.1 APÊNDICE A

8.1.1 Caso de uso “Filtrar dados”

Este caso de uso demonstra quais os passos que o usuário fará para entrar com os dados do filtro de espécies para os cálculos da rede.

Curso normal:

- 1) Entra na tela de filtragem de espécies;
- 2) Entra com as espécies de polinizadores ou de plantas;
 - a. Somente será possível entrar com os táxons contidos na base de dados da IABIN-PTN.
- 3) Inicia o processo requisitando filtragem para o caso de uso “Filtrar interações”;
 - a. A filtragem só começará se pelo menos um táxon de cada grupo for selecionado.
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Sai do caso de uso antes de fazer qualquer item do curso normal.

Curso alternativo 2:

- 1) Faz os passos 1 e 2 do curso normal;
- 2) Sai do caso de uso.

Caso alternativo 3:

- 1) Faz os passos 1 e 2 do curso normal;
- 2) Salva os dados do filtro;
- 3) Sai do caso de uso.

Caso alternativo 4:

- 1) Faz os passos 1, 2 e 3 do curso normal;
- 2) Salva os dados do filtro;
- 3) Sai do caso de uso.

Caso alternativo 5:

- 1) Restaura os dados do filtro salvo;
- 2) Faz os passos 3 e 4 do curso normal.

8.1.2 Visualizar índices

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os índices.

Curso normal 1:

- 1) Recebe pedido para visualizar índices gerais;
- 2) Recebe as matrizes;
- 3) Requisita calcula dos índices;
- 4) Envia as matrizes recebidas;
- 5) Mostra os índices;
- 6) Sai do caso de uso.

Curso normal 2:

- 1) Recebe pedido para visualizar índices do táxon;
- 2) Recebe as matrizes;
- 3) Requisita calcula dos índices;
- 4) Envia as matrizes recebidas;
- 5) Mostra os índices;
- 6) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não requisita o cálculo dos índices;
- 3) Não envia as matrizes recebidas
- 4) Mostra mensagem de problema;
- 5) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Requisita o calculo dos índices;
- 3) Envia as matrizes recebidas;
- 4) Recebe mensagem de problema

- 5) Mostra mensagem de problema;
- 6) Sai do caso de uso

8.1.3 Visualizar Matrizes

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os índices.

Curso normal 1:

- 1) Recebe pedido para visualizar matriz presença/ausência;
- 2) Recebe as matrizes;
- 3) Requisita montagem da matriz;
- 4) Envia as matrizes recebidas;
- 5) Mostra a matriz;
- 6) Sai do caso de uso.

Curso normal 2:

- 1) Recebe pedido para visualizar matriz frequência de interação;
- 2) Recebe as matrizes;
- 3) Requisita montagem da matriz;
- 4) Envia as matrizes recebidas;
- 5) Mostra a matriz;
- 6) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não requisita montagem da matriz;
- 3) Não envia as matrizes;
- 4) Mostra mensagem de problema;
- 5) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Requisita o cálculo dos índices;
- 3) Envia as matrizes recebidas;
- 4) Recebe mensagem de problema
- 5) Mostra mensagem de problema;

6) Sai do caso de uso.

8.1.4 Caso de uso “Visualizar gráficos”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos da ferramenta.

Curso normal:

- 1) Recebe requisição do gráfico que pode ser:
 - a. Gráfico bipartido;
 - i. Presença/ausência;
 - ii. Frequência de interação.
 - b. Gráfico via *Kap Lab*;
 - c. Gráfico presença/ausência;
 - d. Gráfico de Interações e Coeficiente de Agregação;
 - e. Gráfico de Distribuição de Frequência e Probabilidade.
- 2) Envia requisição para montagem do gráfico conforme item 1;
- 3) Envia tabela para montagem do gráfico conforme item 1;
- 4) Recebe o gráfico correspondente;
- 5) Mostrar o gráfico pedido;
- 6) Sai do caso de uso.

8.2 APÊNDICE B

8.2.1 Caso de uso “Calcular índices gerais”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para calcular dos índices gerais da rede.

Curso normal:

- 1) Recebe dados das matrizes;
- 2) Calcula os índices gerais;
- 3) Envia os índices;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não calcula os índices;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Calcula os índices e ocorre um problema;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

8.2.2 Caso de uso “Calcular índices do táxon”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para calcular dos índices do táxon.

Curso normal:

- 1) Recebe dados das matrizes;
- 2) Calcula os índices do táxon;
- 3) Envia os índices;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não calcula os índices;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Calcula os índices e ocorre um problema;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

8.2.3 Caso de uso “Montar matriz presença/ausência”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos montar a matriz presença/ausência.

Curso normal:

- 1) Recebe dados das matrizes;
- 2) Monta a matriz;
- 3) Envia a matriz;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não monta a matriz;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Monta matriz e ocorre um problema;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

8.2.4 Caso de uso “Montar matriz frequência de interação”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos montar a matriz frequência de interação.

Curso normal:

- 1) Recebe dados das matrizes;
- 2) Monta a matriz;
- 3) Envia a matriz;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe as matrizes;
- 2) Não monta a matriz;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso

Curso alternativo 2:

- 1) Recebe as matrizes;
- 2) Monta matriz e ocorre um problema;
- 3) Retorna mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

8.2.5 Caso de uso “Gráfico bipartido”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos bipartidos que podem ser presença/ausência e frequência de interação.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico bipartido presença/ausência;
- 2) Envia requisição para montar o gráfico;
- 3) Recebe gráfico;
- 4) Envia o gráfico;
- 5) Sai do caso de uso.

Curso normal 2:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico bipartido frequência de interação;
- 2) Envia requisição para montar o gráfico;
- 3) Recebe gráfico;
- 4) Envia o gráfico;
- 5) Sai do caso de uso.

Curso alternativa 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.6 Caso de uso “Montar gráfico bipartido presença/ausência”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para montar gráfico bipartido de presença/ausência.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico bipartido presença/ausência;
- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativa 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.7 Caso de uso “Montar gráfico bipartido frequência de interação”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos de frequência de interação.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico bipartido frequência de interação;
- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativa 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.8 Caso de uso “Montar gráfico via *Kap Lab*”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos construídos via *Kap Lab* que pode ser de 5 tipos: Balão, Circular, Orgânico, Ciclo hierárquico e Radial. Os gráficos são selecionados pelo caso de uso “Propriedades da Topologia”.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico via *Kap Lab*;

- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativa 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.9 Caso de uso “Montar gráfico presença/ausência”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos presença/ausência.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico presença/ausência;
- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;

- 4) Sair do caso de uso.

8.2.10 Caso de uso “Visualizar Gráfico de Interações e Coeficiente de Agregação”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos de Interações e Coeficiente de Agregação.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico de Interações e Coeficiente de Agregação;
- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativo 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.11 Caso de uso “Visualizar Gráfico de Distribuição de Freqüência e Probabilidade”

Este caso de uso tem o objetivo de mostrar os passos para visualizar os gráficos de Distribuição de Freqüência e Probabilidade.

Curso normal 1:

- 1) Recebe a tabela referente ao gráfico de Distribuição de Freqüência e Probabilidade;
- 2) Monta o gráfico;
- 3) Envia o gráfico;

- 4) Sai do caso de uso.

Curso alternativa 1:

- 1) Não recebe a tabela;
- 2) Não monta o gráfico;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sai do caso de uso.

Curso Alternativo 2:

- 1) Recebe a tabela referente a este gráfico;
- 2) Monta o gráfico e ocorre problema;
- 3) Envia mensagem de problema;
- 4) Sair do caso de uso.

8.2.12 Caso de uso “Modificar propriedades dos gráficos via Kap Lab”

Este caso de uso descreve os passos para modificar as propriedades dos gráficos via Kap Lab.

Curso normal:

- 1) Visualize as propriedades na tela;
- 2) Selecione uma propriedade;
- 3) Modifique a propriedade;
- 4) Acione a modificação;
- 5) Visualize a modificação;
- 6) Se quiser modificar outra propriedade voltar ao item 3.

Sai do caso de uso.

8.3 APÊNDICE C

8.3.1 Modelo de Dados

A base de dados é formada de 85 tabelas e duas views, mas para a ferramenta só serão necessárias 4 tabelas (Figura 22).

Figura 44 - Modelo de dados da IABIN-PTN com 4 tabelas.

Para a ferramenta é importante verificar:

- As interações que estão na tabela interaction_record;
- O nome da gênero/espécie/espécime (Táxon) que está na tabela taxon_name

- E o tipo do táxon dado pela tabela táxon_concept.

Olhando o esquema da Figura 22 pode-se ver que os relacionamentos de todas essas informações só estarão completas se a tabela occurrence_record for utilizada para isto. Para facilitar a busca por informações e baseando-se nos conceitos de *datawarehouse* optou-se por criar uma view (Figura 23), chamada global_matrix_view, que só tem 5 campos que facilitam na busca das interações e seus dados principais.

Figura 45 - Modelo de dados da IABIN-PTN com 4 tabelas e uma view.

8.3.1.1 Busca de dados

A busca por dados sobre as interações será concentrada na view “global_matrix_view” da Figura 23 e se for necessário informações adicionais e só navegar pelo relacionamento entre as tabelas.

Para criar a view “global_matrix_view” foi usado o comando SQL:

```
CREATE VIEW create view global_matrix_view as
SELECT t1.canonical as canonical1, t2.canonical as canonical2, i.occurrence_id_1 as
occurrence1, i.occurrence_id_2 as occurrence2, count(*) as number_interaction
FROM interaction_record i
INNER JOIN occurrence_record o1 on o1.id = i.occurrence_id_1
INNER JOIN occurrence_record o2 on o2.id = i.occurrence_id_2
INNER JOIN taxon_name t1 on t1.id = o1.taxon_name_id
INNER JOIN taxon_name t2 on t2.id = o2.taxon_name_id
GROUP BY t1.canonical, t2.canonical
ORDER BY t1.canonical, t2.canonical
```

Para a busca dos táxons para preencher os auto-completar da Figuras 26, 27 e 28 foi usado o comando SQL:

```
SELECT DISTINCT canonical1 as canonical
FROM GLOBAL_MATRIX_VIEW m
WHERE m.canonical1 like :especieName
UNION
SELECT DISTINCT canonical2 as canonical
FROM GLOBAL_MATRIX_VIEW m
WHERE m.canonical2 like :especieName
ORDER BY canonical
```

Sendo que “especieName” é o nome do táxon que se procura. Antes da variável “especieName” ser preenchida a ferramenta adiciona ao final da palavra o caractere “%” que faz com que a busca seja feita para todas as espécies que começam com a palavra digitada. No caso da filtragem das espécie/espécimes para os cálculos será usado a o comando SQL:

```
SELECT occurrence1 as occurrence1, occurrence2 as occurrence2, canonical1 as  
canonical1, canonical2 as canonical2, number_interaction as numberInteraction  
FROM GLOBAL_MATRIX_VIEW m  
WHERE m.canonical1 LIKE :especieTipo1  
AND m.canonical2 LIKE : especieTipo2  
ORDER BY m.canonical1, m.canonical2
```

8.4 APÊNDICE D

Neste apêndice são apresentadas informações sobre os recursos utilizados na ferramenta.

8.4.1 Adobe Flex

Flex é uma ferramenta de desenvolvimento para a criação de aplicações ricas para internet na plataforma Flash. Os desenvolvedores escrevem código orientado a objetos que suportam um modelo de programação orientada a componentes que permite aos desenvolvedores montar aplicações facilmente a partir dos vários componentes nativos(ex: *DataGrids*, *Charts*, *Formatters*, *Validators*, etc), bem como componentes distribuídos pela internet e componentes criados pelo próprio desenvolvedor. As aplicações Flex são executadas no cliente em um navegador com Flash Player ou no desktop com Adobe AIR, ou em dispositivos móveis acessando banco de dados, serviços, servlets e outros *back ends* no servidor ou outras aplicações com uma API de rede que suportam desde simples XML, JSON, SOAP Web Services, e protocolos otimizados como AMF. Um código Flex (arquivos .mxml ou .as) é compilado para Flex bytecode (.swf) que é executado no lado do cliente pelo ActionScript Virtual Machine no Flash Player (FLEX).

8.4.2 Swiz Framework

Swiz (SWIZ, 2011) é um framework open source para o Adobe Flex e ActionScript(ADOBE FLEX, 2011), que visa trazer simplicidade completa para desenvolvimento de Aplicações Ricas para Internet (RIA). Swiz dispõe de:

- Inversão de Controle / Injeção de Dependência;
- Entrega de evento e mediação;
- Um ciclo de vida simples para métodos remotos assíncronos;
- Fácil integração com tecnologia Java.

8.4.3 MySQL

O MySQL é um sistema open source de gerenciamento de banco de dados (SGBD) de

alto desempenho, confiabilidade e de fácil uso, que utiliza a linguagem SQL.

O MySQL funciona em mais de 20 plataformas, incluindo Linux, Windows, Mac, Solaris, HP-UX, IBM AIX, e outras, ele tem suporte para:

- Um amplo subconjunto do SQL ANSI 99, bem como extensões
- suporte multiplataforma
- *Stored procedures*
- *Triggers*
- *Cursors*
- Suporte a varchar
- Esquema de informações

8.4.4 SpringFramework

SpringFramework é um framework open source para plataforma Java que é baseado nos padrões inversão de controle (IoC) e injeção de dependência. Seus módulos são:

- ***Inversion of Control container (IoC)***: configuram componentes de aplicação e gerenciam o ciclo de vida de objetos Java;
- ***Aspect-oriented programming***: habilita a construção de aplicações orientadas a aspecto;
- ***Data access***: trabalha com gerenciamento de sistemas com banco de dados relacionais na plataforma Java usando JDBC e ferramentas de mapeamento objeto-relacional;
- ***Transaction management***: Unifica várias APIs de gerenciamentos de transações e coordena transações para objetos Java;
- ***Model-view-controller***: um framework baseado em HTTP e Servlet;
- ***Remote Access framework***: framework que trabalha com RPC, RMI, CORBA e *webservice* (SOAP);
- ***Convention-over-configuration***: rápido desenvolvimento de aplicações Java;
- ***Batch processing***: framework para alto volume de processamento incluindo logging/tracing, gerenciamento de transações, processo estatísticos de tarefas, reinício de tarefas, e gerenciamento de recursos;

- ***Authentication and authorization***: processo de segurança configurável;
- ***Remote Management***: configure exposição e gerenciamento de objetos Java para local e remote configuração via JMX;
- ***Flex***: framework de comunicação de objetos Java com componentes Flex via protocolo AMF;
- ***Testing***: suporte a unidade de teste e testes de integração.

8.5 APÊNDICE E

8.5.1 Formatação dos dados em tabelas

Para uma melhor visualização os dados foram tabulados tabelas nas seguintes tabelas:

- 1) Tabela de táxons;
- 2) Tabela de interações dos táxons;
- 3) Tabela matriz adjacência presença-ausência e
- 4) Tabela matriz adjacência frequência interação.

8.5.2 Tabela de espécies

Na Tabela 1 estão os dados dos táxons envolvidos no teste da rede.

Tabela 1 - Espécies envolvidas na rede.

Táxon Tipo 1	Táxon Tipo 2
Apis mellifera	Vernonia
Augochlora Semíramis	Vernonia scorpioides
Agapostemon	Vespidae
Anthophora	Solanum
Apidae	Aloe

O “Táxon tipo 1” entram no sistema pela tela de filtro da Figura 26 e o “Táxon tipo 2” pela tela da Figura 27.

8.5.3 Tabela de interações das espécies/espécimes

A Tabela 2 mostra as interações dos táxons com suas totalizações.

Tabela 2 - Lista de interações

Grupo de Táxons			
Táxon	Interage com		
	Gênero	Espécie	Qtde
		Vernonia	2
		Vernonia diffusa	1
		Vernonia discolor	1

Apis mellifera	Vernonia	Vernonia nitidula		7
		Vernonia petiolaris		1
		Vernonia polyanthes		17
		Vernonia puberula		2
		Vernonia quinqueflora		1
		Vernonia scorpioides		1
		Vernonia westiniana		1
		Total		34
	Vernonia scorpioides			1
	Vespidae			0
	Solanum	Solanum		2
		Solanum concinnum		1
		Solanum topiro		1
		Solanum umbellatum		1
		Total		5
	Aloe			1
Total Apis mellifera				41
Augochlora semiramis	Vernonia	Vernonia		1
		Vernonia polyanthes		2
		Total		3
	Vernonia scorpioides			0
	Vespidae			0
	Solanum	Solanum concinnum		5
	Aloe			1
Total Augochlora semiramis				9
Agapostemon	Vernonia	Vernonia		1
		Vernonia scorpioides		2
		Total		3
	Vernonia scorpioides			2
	Vespidae			3
	Solanum			0
	Aloe			0
Total Agapostemon				8
Agapostemon semimelleus	Vernonia westiniana			1
Total Agapostemon semimelleus				1

Anthophora	Vernonia	0
	Vernonia scorpioides	0
	Vespidae	0
	Solanum	1
	Aloe	0
Total Anthophora		1
Apidae	Vernonia	0
	Vernonia scorpioides	0
	Vespidae	3
	Solanum	0
	Aloe	0
Total Apidae		3
Total Táxon		63

8.5.4 Tabela matriz adjacência presença-ausência

A Tabela 3 mostra a matriz adjacência presença/ausência da rede bem como a densidade e a densidade cumulativa.

Tabela 3 - Matriz adjacência presence-ausência.

	Vernonia	Vernonia diffusa	Vernonia discolor	Vernonia petiolaris	Vernonia polyanthes	Vernonia puberula	Vernonia nitidula	Vernonia quinqueflora	Vernonia scorpioides	Vernonia westiniana	Vespidae	Solanum	Solanum concinnum	Solanum topiro	Solanum umbellatum	Aloe	Marginal	Densidade	Densidade Cumulativa
Apis mellifera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	15	0,6	0,6
Agapostemon semimelleus	1				1								1			1	4	0,2	0,8
Agapostemon	1								1		1						3	0,1	0,9
Agapostemon semimelleus										1							1	0	0,9
Anthophora												1					1	0	1
Apidae											1						1	0	1
																	25	1	
Marginal	3	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	25		
Densidade	0,12	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,08	1		
Densidade Cumulativa	0,12	0,16	0,20	0,24	0,32	0,36	0,40	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,88	0,92	1,00			

8.5.5 Tabela matriz adjacência quantitativa

A Tabela 4 mostra a matriz adjacência frequência de interação da rede bem como a densidade e a densidade cumulativa.

Tabela 4 - Matriz adjacência quantitativa

	Vernonia	Vernonia diffusa	Vernonia discolor	Vernonia petiolaris	Vernonia polyanthes	Vernonia puberula	Vernonia nitidula	Vernonia quinqueflora	Vernonia scorpioides	Vernonia westiniana	Vespidae	Solanum	Solanum concinnum	Solanum topiro	Solanum umbellatum	Aloe	Frequência	Densidade	Densidade Cumulativa
Apis mellifera	2	1	1	1	17	2	7	1	1	1		2	1	1	1	1	40	0,67	0,67
Agapostemon semimelleus	1				2								5			1	9	0,15	0,82
Agapostemon	1								2		3						6	0,1	0,92
Agapostemon semimelleus										1							1	0,02	0,93
Anthophora												1					1	0,02	0,95
Apidae											3						3	0,05	1
																	60	1	
Frequência	4	1	1	1	19	2	7	1	3	2	6	3	6	1	1	2	60		
Densidade	0,07	0,02	0	0	0,3	0	0,1	0	0,1	0	0,1	0,1	0	0,02	0	0	1		
Densidade Cumulativa	0,07	0,08	0,1	0,1	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	1	0,95	1	1			

8.5.6 Cálculos dos índices feitos com planilha Excel

Nesta seção são mostrados os resultados dos cálculos feitos através de planilhas Excel para serem confrontados com os dados feitos pela ferramenta.

8.5.7 Distribuição de frequência

A distribuição das frequências (Tabela 5 e 6) foram feitas verificando a quantidade de interações de cada táxon e contando a quantidade de táxons que interagiram uma vez, duas e assim por diante.

Tabela 5 - Distribuição de frequência espécie 1

Distribuição Espécie 1	Freq	1	3	4	15			
	Qtde	3	1	1	1			
Totais		3	3	4	15			25
Densidade		0,12	0,12	0,16	0,6			

Tabela 6 - Distribuição de frequência espécie 2

Distribuição Espécie 2	Freq	1	2	3				
	Qtde	8	7	1				
Totais		8	14	3				25
Densidade		0,32	0,56	0,12				

8.5.8 Índices da rede

A Tabela 7 mostra os índices da rede.

Tabela 7 - Índices da rede

ÍNDICES	VALOR
Tamanho da rede (N)	22
Qtde Espécies 1 (A)	6
Qtde Espécies 2 (P)	16
No total de ligações Quantitativas	60
No total de ligações Presença/Ausência (E)	25
Conectância Tipo 1 (E/NN)	0,051653
Conectância Tipo 2 (2E/NN)	0,103306
Conectância Tipo 3 (2E/N[N-1])	0,108225
Conectância Tipo 4 (E/AP)	0,260417
Grau Médio Espécies 1 (E/A)	4,166667
Grau Médio Espécies 2 (E/P)	1,5625
Grau Médio Espécies (E/N)	1,136364