

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
PPG Biologia Vegetal
Ecologia Vegetal

A visão computacional como ferramenta de identificação vegetal na análise de órgãos foliares

Acadêmica: Deborah Ribeiro Bambil

Orientadora: Dra. Ieda Maria Bortolotto - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Coorientador: Dr. Hemerson Pistori - Universidade Católica Dom Bosco

Campo Grande - MS

(2015)

Resumo

A busca pela identificação de plantas através de caracteres morfológicos tem sido utilizada em sistemas de classificação desde Teofrasto. A integração de métodos convencionais de taxonomistas e herbários a sistemas computacionais é um grande desafio para a ciência contemporânea, o uso de métodos de visão computacional permite o desenvolvimento de técnicas de aferição e extração de informações de forma automatizada de órgãos foliares. Desta forma o objetivo do estudo será verificar a eficácia da visão computacional na análise de órgãos foliares para identificação de espécies arbóreas e arbustivas do Cerrado. A área de estudo pertence a Reserva Particular de Patrimônio Natural, da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, localizada no município de Campo Grande - MS. Essa reserva possui 40 ha, a vegetação é classificada como Cerrado, cerradão e mata de galeria. As coletas serão realizadas em uma parcela permanente de um hectare, em parcelas de 50 x 20m, um levantamento prévio de todas as árvores e arbustos já foram realizados. Serão coletadas 100 folhas de cinquenta espécies de árvores e arbustos. Para extração das informações, as folhas serão classificadas quanto a: *i.* textura foliar; *ii.* biometria; *iii.* nervação e *iv.* cor. Espera-se que com esta ferramenta os profissionais da área de biologia vegetal tenham um auxílio na identificação e diferenciação de espécies vegetais através das características morfológicas inseridas em um banco de dados que alimente um sistema de visão computacional.

Palavras- chaves: Identificação; Morfologia Vegetal; Sistema Computacional.

1. Introdução

A busca pela identificação de plantas acompanha a história da humanidade e caracteres morfológicos têm sido usados em sistemas de classificação desde Teofrasto (c. 370-285 AC), (Barroso 1978) alcançando um grande avanço com o trabalho proposto por Lineu (Kurmman & Hamsley 1999, Waggoner 2000). A integração de sistemas computacionais a herbários e taxonomistas é um grande desafio para a ciência contemporânea na busca de métodos e técnicas eficientes para auxiliar esse processo (Hofer et al. 2001). O uso de métodos de visão computacional está permitindo o desenvolvimento de técnicas de aferição e extração de informações de forma automatizada de órgãos foliares (Lee & Chen 2006), com técnicas que visam auxiliar os profissionais e não substituí-los.

As aplicações que utilizam visão computacional são, em sua maioria, oriundas de outras áreas de pesquisa, resolvendo problemas particulares de forma específica, e tais sistemas são conhecidos como sistemas especialistas, que necessitam de conhecimento específico para a solução de um determinado problema. (Milano e Honorato 2010)

Esse projeto de pesquisa tem como meta dispor de uma ferramenta de pesquisa capaz de fazer a identificação vegetal através de órgãos foliares, pois com a atual expansão de projetos de pesquisas de longa duração, com protocolos padronizados de amostragem em parcelas permanentes, houve um aumento de material estéril em herbários. Somando a este efeito, também houve aumento de amostragens em locais com pouco esforço de coleta, de modo que o contingente de material disponível para comparações também é escasso, sendo assim, os resultados deste projeto serão importantes para melhorar a resolução taxonômica em locais com grande riqueza de espécies. Vinculado ao grupo de pesquisa Estudos Multidisciplinares da Flora de Mato Grosso do Sul e, faz parte dos projetos do INOVISÃO, que é um Grupo de Pesquisa de Desenvolvimento e Inovação em Visão Computacional, que tem como objetivo a integração entre pesquisa, desenvolvimento e inovação para contribuir com o desenvolvimento do estado do Mato Grosso do Sul.

Os ambientes tropicais são os maiores contribuintes para elevada diversidade mundial (Myers et al. 2000). O Centro-Oeste brasileiro apresenta rica flora, sendo caracterizado como um mosaico de alta diversidade, o que se deve principalmente por ser composto de diferentes fitofisionomias que compõem o domínio geográfico do Cerrado (Eiten 1982). O Cerrado é caracterizado por formações campestres, savânicas e florestais (Simon et al. 2009), e apresenta variação nos fatores edáficos, tais como, profundidade e presença de concreções do solo,

proximidade do lençol freático, drenagem e fertilidade, que atuam na estrutura e composição da vegetação (Haridasan 2000).

No Cerradão são encontradas tanto áreas de floresta com a presença de árvores de 8-15m, como também áreas mais abertas com arbustos e sub-arbustos de até 3m, além de locais campestres com inúmeras gramíneas, algumas destas espécies de Cerradão também co-ocorrem no cerrado típico (Ribeiro e Walter 2008). A variação da presença de luz influencia diretamente no tamanho e forma de folhas, o que gera inúmeras dificuldades em torno da identificação dessas plantas (Joppa et al. 2010). Além disso, a ocorrência natural e sazonal de fogo no Cerrado (Castro & Kaufmann 1998, Fidelis et al. 2013), e a vegetação com algumas espécies espinescentes que dificultam o acesso a determinados locais (Prado 1993), são fatores atuam em conjunto dificultando o trabalho em levantamentos florísticos e aumentam a dificuldade de coletar frutos e flores para melhor resolução taxonômica (Kurmann & Hamsley 1999).

A identificação vegetal é uma importante tarefa em vários campos da pesquisa. Neste sentido, os herbários são a principal fonte de armazenamento de dados sobre a diversidade vegetal (Sakane 1984). A identificação pode ser feita pela observação manual com outros espécimes (Moreno 2007), através da comparação de flores, frutos e folhas (Waggoner 2000). Segundo Stern (1993) ca. de 275.000 espécies de plantas podem ser reconhecidas ou distinguidas apenas por suas folhas. O estudo foliar implica na coleta de inúmeros atributos como: a largura e o comprimento; a forma, a cor e a complexidade (Hickey 1973), as nervuras (Wing et al. 1999) e a textura (Brodatz 1966). Porém, a folha pode apresentar grande variação em seu padrão dentro de uma mesma espécie devido a suas estruturas e fatores ambientais, como solo e iluminação (Plotze et al. 2005), dificultando a taxonomia.

Desde o processo de aquisição do espécime até a comparação com amostras em herbários exigem um grande esforço do pesquisador. Pensando nisso, o reconhecimento de padrões de identificação e classificação de formas através da extração de características foliares pode ser feito por meio da análise de imagens (Sonka et al. 1999). Um sistema que vem sendo utilizado é o TreeVis, que pode atuar como um herbário digital inteligente, onde são armazenados dados para identificação das espécies através da análise sistemática dos órgãos foliares (Bruno & Costa 2001).

A possibilidade da identificação de plantas através da visão computacional vem despertando a atenção substancialmente de vários pesquisadores (e.g. Bockhoff 2001, Hofer et al. 2001, Lee & Chen 2006). Essa ciência desenvolve bases matemáticas e algorítmicas pelas quais informações do

ambiente ou objeto são extraídas de imagens para análise, processamento digital e reconhecimento de padrões por métodos analíticos e estatísticos (Forsyth & Ponce 2002).

A diversidade de espécies vegetais é um desafio para os sistemas computacionais (Lee & Chen 2006), principalmente pela morfologia foliar ~~das espécies apresentarem~~ grande variabilidade (Pádua et al. 2002). Até mesmo indivíduos de uma mesma espécie podem diferir quando situados em determinados ambientes (Bruno 2000). Diante deste preceito, o objetivo deste estudo será verificar a eficácia da visão computacional na análise de órgãos foliares para identificação de espécies arbóreas e arbustivas do Cerrado. Propomos responder às seguintes questões: a. Possíveis diferenças morfológicas não vistas pelo homem podem ser supridas por um sistema de visão computacional? b. É possível comparar este sistema com a identificação tradicional?

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Verificar a eficácia da visão computacional na análise de órgãos foliares para identificação de espécies arbóreas e arbustivas do Cerrado, desenvolver e testar uma metodologia computacional para identificação de espécies por meio da análise da textura, biometria, nervação e cor.

2.2. Objetivos Específicos

- ✓ Estudar e implementar métodos de análise de imagens e extração de características (atributos) capazes de identificar órgãos foliares;
- ✓ Identificar espécies com características extraídas a partir da análise da textura, biometria, nervação e cor;
- ✓ Criar um banco de dados com características foliares que podem ser utilizadas por futuras técnicas de processamento digital de imagens;
- ✓ Contribuir com herbários e taxonomistas para integração de áreas e técnicas que visem auxiliar a taxonomia atual;

3. Materiais e métodos

3.1. Área de estudo

O estudo será realizado na Reserva Particular de Patrimônio Natural (20°27'S, 54°37'W) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, localizada no município de Campo Grande.

Essa reserva possui área de 40 ha, a vegetação é classificada como cerrado, cerradão e mata de galeria (Bueno et al. 2013), o clima é tropical sub-úmido, temperatura média anual de 26°C (Köppen 1948). As coletas serão realizadas em uma parcela permanente de um hectare, em sub-parcelas de 50 x 20m, conforme Bueno et al. (2013) que fizeram a identificação das espécies arbóreas e arbustivas. Os dados coletados serão analisados no Laboratório de Botânica - UFMS com apoio de especialistas e com o grupo de pesquisa INOVISÃO, com o professor e coordenador Hemerson Pistori, no projeto VANTAGRO, para aplicação da visão computacional.

3.2. Coleta das informações foliares

Serão coletadas 40 folhas de cinquenta espécies de árvores e arbustos. Para extração das informações, as folhas serão classificadas quanto aos seguintes atributos: *i*) Textura foliar (agrupamento de similaridades em uma imagem, que engloba a luminosidade, uniformidade, densidade, aspereza, regularidade, frequência, fase, suavidade e granulação) (Brodatz 1966, Manjunath & Ma 1996); *ii*) Biometria; *iii*) Nervação (conjunto de nervuras - sistema de venação e esqueleto foliar) (Wing et al. 1999) e *iv*) Cor (Tabela 1).

Tabela 1. Informações extraídas das folhas que serão aplicadas na visão computacional.

Atributos	Características avaliadas
Textura foliar	Textura (frequência).
Biometria	Serão tomadas as medidas de comprimento e largura; forma e bordo do limbo.
Nervação	Reconhecer as categorias discretas, e classifica-las quanto a: nervuras primárias, nervuras secundárias e nervuras terciárias; número de bifurcações ou ramificações; ângulo das nervuras, espaçamento das nervuras; número das nervuras basais.
Cor	Escalas de cinza.

Todas as folhas coletadas terão ambas as faces digitalizadas e serão definidas como: exposta a luz solar direta e lado oposto. Além disso, uma região da folha será digitalizada de forma ampliada, pois será utilizada para análise da textura (Materka & Strzelecki 1998).

3.3. Sistema de visão computacional

Para elaboração do sistema computacional os atributos serão analisados e coletados seguindo metodologias já elaboradas por outros autores, para a:

Textura

Textura pode ser considerada um agrupamento de similaridades em uma imagem pois tem padrões visuais complexos compostos por sub padrões que possuem: brilho, cor, profundidade e tamanho, torna-se interessante analisar a extração de características possibilitando em uma imagem descrever suas propriedades de textura de forma numérica.

A extração deste atributo seguirá a técnica espectral e filtros de Gabor (Figura 1), que atuam na representação da imagem em um espaço cujo sistema de coordenadas tem uma interpretação relacionada à textura, conforme descrição de Materka & Strzelecki (1998), a partir das seguintes etapas:

1. Extração das características: possibilita em uma imagem digitalizada descrever suas propriedades de textura de forma numérica.
2. Discriminação: particionar em regiões a imagem texturizada, cada qual contendo uma percepção de textura homogênea;
3. Classificação: as classes serão determinadas a que uma textura pertence dentre um número de classes;
4. Reconstrução: reconstruídas as superfícies tridimensionais a partir das informações de textura;

Biometria

Será baseada na teoria da geometria fractal (forma geométrica que mostra um padrão de repetição apresentado em todas as escalas) desenvolvida por Mandelbrot (1977), onde uma forma de descrever fenômenos da natureza de forma matemática é utilizar figuras e objetos com dimensões fracionárias. Na geometria Euclidiana as dimensões são inteiras, um ponto possui dimensão 0 (0D), uma reta dimensão 1 (1D), um plano dimensão 2 (2D) e um sólido dimensão 3 (3D). Já a geometria fractal é diferente, os objetos são representados por dimensões intermediárias, ou seja, um objeto pode assumir dimensões com valores não inteiros.

Com base nessas informações, será utilizado o *Box-counting* uma metodologia para aplicação da dimensão fractal (Turner et al. 1998), esta técnica é baseada na divisão da imagem em caixas quadradas de tamanho ϵ e na contagem de número $N(\epsilon)$, de caixas que contenham pelo

menos uma porção do objeto em análise, quando o tamanho das caixas for alterado, quantidades distintas de caixas poderão ser computadas (Turner et al. 1998) (figura 2)

A análise vai partir da consequência de que quanto menor o número de caixas o tamanho de ϵ é maior, e quanto maior for o número de caixas menor o ϵ .

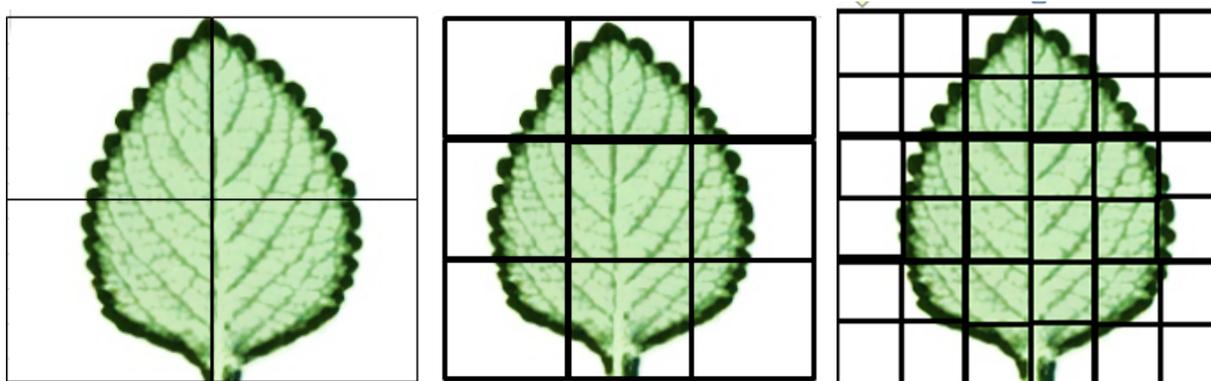
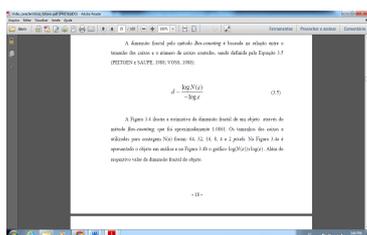


Figura 2. Imagem mapeada com diferentes tamanhos de caixa ϵ .

Logo, a dimensão fractal será baseada na relação ente o tamanho das caixas ($\log N(\epsilon)$) e o número de caixas contadas ($-\log \epsilon$) (Voss 1988), definida pela seguinte equação:



Nervação

Na taxonomia vegetal, fazer a análise de órgãos foliares por nervuras requer descrever características. Para isso existem três principais ordens das nervuras, sendo elas: nervuras primárias, nervuras secundárias e nervuras terciárias. Em muitas Magnólias e Eudicotiledôneas, as nervuras apresentam um padrão ramificado (Raven et al. 2000) com nervuras primárias (nervura mediana) que começam no pecíolona base da folha e, assim sua espessura vai diminuindo ao longo da área foliar até alcançar o topo (ao longo do maior eixo da folha); nervuras secundárias começam a partir da ramificação na base da folha; as nervuras terciárias ocupam ampla parte foliar, assim interligam as nervuras primárias e secundárias.

A nervação será baseada a partir de uma imagem inteira (figura 3a), que retém as principais características, e uma versão afinada chamada de esqueleto da folha (figura 3b), conforme Neusius & Olszewski (1994), Baja & Thiel (1996), Gonzalez & Woods (2002), este método pode ser descrito da seguinte forma. Os algoritmos de afinamento não-interativos irão extrair o esqueleto de

um objeto a partir de uma varredura da imagem (Neusius & Olszewski 1994), os algoritmos irão produzir o esqueleto do objeto diretamente em um único passo sem examinar individualmente todos os *pixels*. Dessa forma, irá gerar esqueletos que conservam as propriedades globais e irão manter a conectividade do objeto durante o processo de afinamento. Um exemplo é o algoritmo de *Hilditch* (Rutovitz 1966).

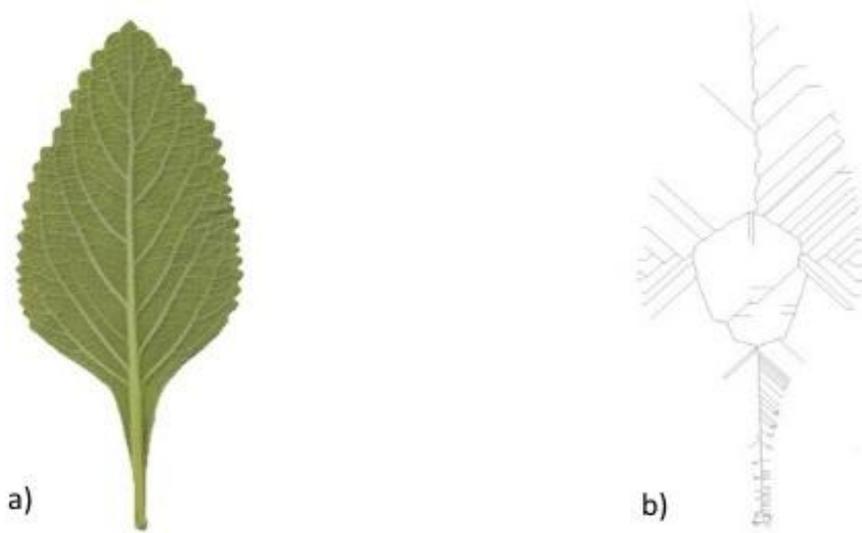


Figura 3. Exemplo do processo de esqueletonização a) imagem original b) imagem esqueletonizada.

Cor

Para análise da cor será seguida a metodologia de Costa & Cesar (2000): as folhas serão digitalizadas como imagens originais (figura 4a), assim como serão digitalizadas em escala de cinza (figura 4b), estas serão adquiridas em uma resolução de 600 dpi, para análise e extração das características, essas imagens serão transformadas em imagens binárias. Uma imagem binária β irá utilizar dois valores inteiros para representar seus pixels: zero (branco) ou preto (um), o valor 1 estará associado ao objeto de interesse (*foreground*) e o valor 0 corresponde ao fundo (*background*) da imagem.

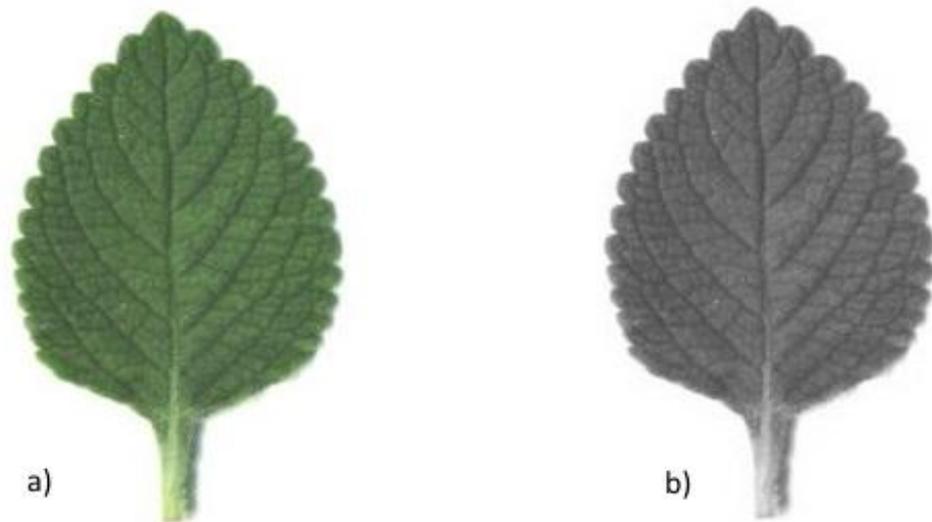


Figura 4. Exemplo do processo de escala de cinza para conversão em números binários, a) imagem original b) imagem em escala de cinza.

3.4. Sistema TreeVis

Após a extração das informações todos os atributos coletados serão empregados ao sistema de TreeVis. Segundo Plotze et al. (2005) esse sistema é baseado em informações que apresentam grande potencial para identificação das espécies, tais como:

- Exploração: sistemática das características das folhas através de um número de atributos;
- Sinergismo entre atributos: utilizar atributos de maneira combinada;
- Análise estatística: avaliar a qualidade dos atributos extraídos através de uma análise estatística dos dados;
- Metodologia de utilização: a necessidade do botânico que é essencial em todas as fases do reconhecimento das espécies através do sistema;

Para isto o TreeVis apresenta uma arquitetura composta por cinco módulos: 1. Estrutura de amostragem; 2. Controle central; 3. Extração de características; 4. Treinamento/identificação e 5. Base de dados (Plotze et al. 2005).

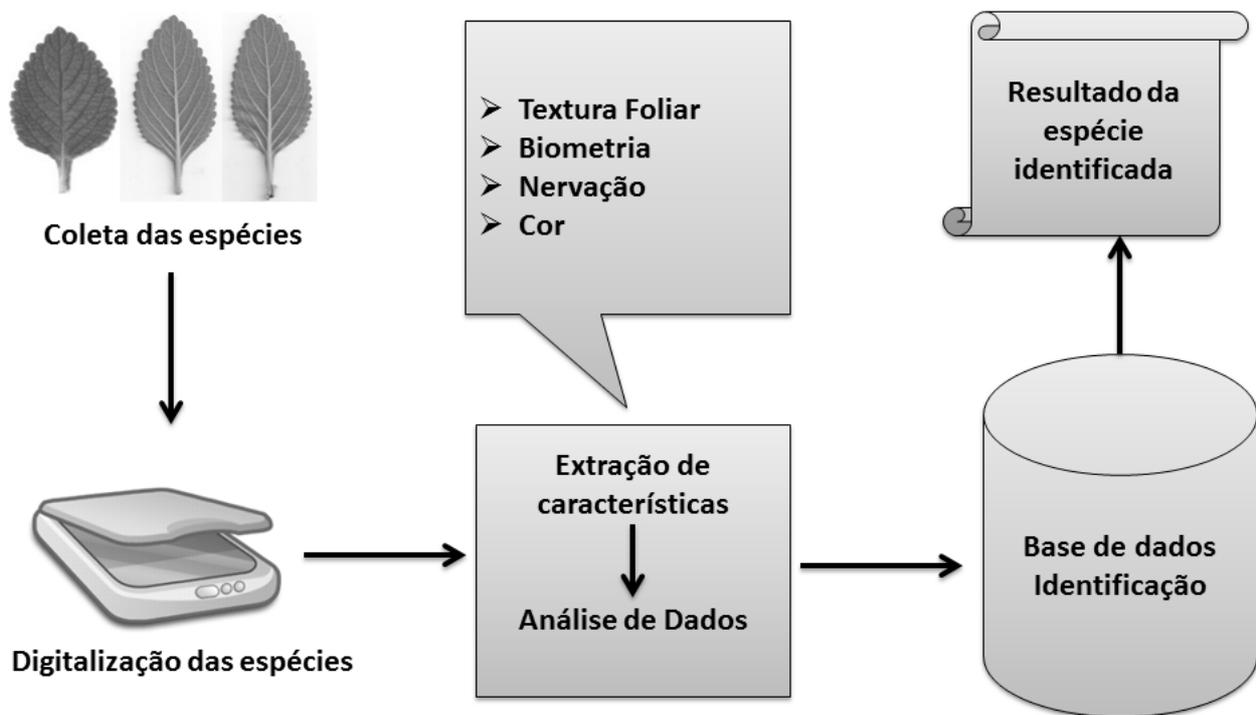


Figura 5. Exemplo da visão geral da arquitetura do sistema.

Desta forma as informações serão inseridas no sistema através da digitalização das imagens → posteriormente a extração das características será responsável pela filtragem das informações das amostras que formarão o vetor de características de cada órgão foliar → as informações serão enviadas para o Controle Central que as encaminharão para o → módulo de identificação → e por fim a identificação irá ocorrer através da busca e comparação do vetor de características recebido com os demais vetores armazenados na Base de Dados.

Para isso ocorrer serão utilizadas diversas formas de classificação por similaridade, redes neurais, análise multivariada, dentre outras. O sistema irá terminar sua execução quando a análise e processamento de cada amostra da Estrutura de Amostragem forem concluídos. O resultado será uma lista ordenada contendo as espécies mais prováveis e suas respectivas probabilidades de acerto na identificação, onde será possível visualizar o nome popular, científico, família, local da coleta e imagens das amostras (Plotze et al. 2005).

3.5. Análise estatística

ANOVA

A análise de variância (ANOVA), pode ser utilizada por duas ou mais variáveis independentes, informando de que modo essas variáveis interagem umas com as outras e quais as interações apresentam sobre a variável dependente. ANOVA é um teste que abrange os dados de uma maneira geral, informando se o experimento teve sucesso ou não através do valor p encontrado.

Para tanto, ela se utiliza da razão F que compara a variância dos dados e informa se o experimento teve efeito ou não (FIELD, 2009).

T-Student

O teste T-Student (FIELD, 2009) é um teste paramétrico, ou seja, os dados são normalmente distribuídos e medidos pelo intervalo de confiança adotado previamente. É utilizado quando existem duas condições experimentais e ambos os conjuntos de dados foram utilizados nas mesmas condições, então a média das amostras é calculada. Se o resultado das médias entre os participantes forem estatisticamente similares, pode-se considerar hipótese nula, ou seja, as variáveis sob os conjuntos de dados não tiveram efeito. No entanto, quanto maiores as médias observadas entre as amostras, maior será o índice de confiança de uma hipótese experimental, isto é, as médias encontradas são diferentes devido às manipulações do experimento exercidas sobre cada amostra (FIELD,2009).

4. Cronograma

ATIVIDADES/TRIMESTRES	2015				2016				2017
	1º	2º	3º	4º	1º	2º	3º	4º	1º
Revisão bibliográfica		•	•	•	•	•	•	•	
Disciplinas do mestrado		•	•	•	•	•			
Coleta dos dados em campo		•	•	•					
Processamento das folhas (digitalização)		•	•	•	•				
Desenvolvimento de programa computacional		•	•	•	•	•			
Análise de dados			•	•	•	•			

Redação dos artigos científicos				•	•	•	•	•	
Redação da dissertação		•	•	•	•	•	•	•	
Qualificação								•	
Entrega da dissertação final para avaliação								•	
Apresentação da dissertação									•

5. Resultados esperados

Espera-se que esta ferramenta auxilie profissionais da área de biologia vegetal na identificação e diferenciação de espécies através de características morfológicas (textura, biometria, nervação e cor) inseridas em um banco de dados que alimente um sistema de visão computacional que sejam capazes de auxiliar a taxonomia tradicional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baja GS, Thiel E. 1996. Skeletonization algorithm running on path-based distance maps. *Image and Vision Computing* 14: 47-57.
- Barroso GM. 1978. *Sistemática de Angiopermas do Brasil*. Volume 1. Edusp.
- Bockhoff RC. 2001. *Plant Morphology: The Historic Concepts of Wilhelm Troll, Walter Zimmermann and Agnes Arber*. *Annals of Botany* 88: 1153-1172.
- Brodatz P. 1966. *Textures: A photographic album for artists and designers*. Dover Publications.
- Bruno OM. 2000. *Paralelismo em visão natural e artificial*. Tese de Doutorado. Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Bruno OM, Costa LF. 2001. A parallel approach for a plant taxonomy system. *Iber-American Symposium on Pattern Recognition*. Florianópolis 2: 159-165.
- Bueno ML, Neves DFM, Souza AF, Oliveira Junior E, Damasceno-Junior GA, Pontara V, Laura VA, Ratter JA. 2013. Influence of edaphic factors on the floristic composition of an área of cerrado in the Brazilian central-west. *Acta Botanica Brasílica* 27: 445-455.
- Castro EA, Kauffman JB. 1998. Ecosystem structure in the Brazilian Cerrado: a vegetation gradient of aboveground biomass, root biomass and consumption by fire. *Journal Tropical of Ecology* 14: 263-283.
- Costa LF, Cesar RM. 2000. *Shape Analysis and Classification: Theory and Practice*. Pennsylvania: CRC Press.

- Fidelis MEA, Pereira TVC, Gomes OFM, Silva FA, Filho RDT. 2013. The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. *Journal of Materials Research and Technology* 2: 149-157.
- Field AP. 2009. *Descobrimos a estatística usando o SPSS*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed.
- Forsyth DA, Ponce J. 2002. *Computer Vision: A modern approach*. 4th ed., Prentice Hall – US.
- Gonzalez RC, Woods RE. 2002. *Digital Image Processing: Addison-Wesley*.
- Haridasan M. 2000. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12: 54-64.
- Hickey LR. 1973. Classification of architecture of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany* 60: 17-33.
- Hofer JMI, Gourlay CW, Elis THN. 2001. Genetic Control of Leaf Morphology: A partial view. *Annals of Botany* 88: 1129-1139.
- Joppa LN, Roberts DL, Pimm SL. 2010. How many species of flowering plants are there? *Proceedings of The Royal Society of London B* 278: 554-559.
- Köppen W. 1948. *Climatologia: con un studio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México D.F. 478p.
- Kurmann MH, Hamsley AR. 1999. *The evolution of Plant Architecture*. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Lee CL, Chen SY. 2006. Classification of leaf images. *International Journal of Imaging Systems and Technology* 16: 15-23.
- Mandelbrot BB. 1977. *Fractals, Form, Chance and Dimension*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Manjunath ETM, Ma WY. 1996. Texture features for browsing and retrieval of image data. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 18: 837-842.
- Materka A, Strzelecki M. 1998. *Texture analysis methods, a review*. Technical report, University of Lodz, Institute of Electronics, COST B11 Report, Brussels.
- Milano DD, Honorato LB. 2010. *Visão computacional*. – Universidade Estadual de Campinas– Faculdade de Tecnologia, Dissertação de mestrado.
- Moreno EJ. 2007. El herbario como recurso para el aprendizaje de la botánica. *Acta Botánica Venezuelica* 30: 415-427.
- Myers N, Mittermeier RA, Mittermeier CG, Fonseca GAB, Kent J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853–858.

- Neusius C, Olszewski. 1994. A noniterative thinning algorithm. *ACM Transactions on Mathematical Software* 20: 5-20.
- Plotze RO, Falvo M, Pádua JG, Bernacci LC, Vieira MLC, Oliveira GCX, Bruno OM. 2005. Leaf shape analysis using the multiscale Minkowski fractal dimension, a new morphometric method: a study with *Passiflora* (Passifloraceae). *Canadian Journal of Botany* 83: 287-301.
- Prado DE. 1993. What is the Gran Chaco vegetation in South America? A review. *Contribution to the study of the flora and vegetation of the Chaco. Candollea, Geneve* 48: 145-172.
- Prado DE, Gibbs PE, Pott A, Pott VJ. 1992. The Chaco-Pantanal transition in Southern Mato Grosso, Brazil. In: Furley PA, Proctor J, Ratter JA. A. *Nature and dynamics of forest savanna boundaries*. Chapman e Hill, London, p. 451-470.
- Raven PH. 2000. *Biologia Vegetal*. 6ed. Koogan, Guanabara. 906p
- Ribeiro JF, Walter BMT. 2008. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. Pp: 151-212. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.). *Cerrado: Ecologia e Flora*. Brasília, Embrapa Cerrados.
- Rutovitz D. 1966. Pattern recognition. *Journal of the Royal Statistical Society* 129: 504-530.
- Sakane M. 1984. *Técnicas de coleta, preservação e herborização de material botânico*. Rio de Janeiro, Instituto Botânico.
- Simon MF, Grether R, Queiroz LP, Skema C, Pennington RT. 2009. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. *PNAS*, v.106, p. 20359-20364.
- Sonka M, Hlavac V, Boyle R. 1999. *Image Processing Analysis, and Machine Vision*: Pacific Grove: Brooks Cole.
- Stern KR. 1993. *Introductory Plant Biology*. WCB.
- Turner MJ, Blackledge JM, Andrews PR. 1998. *Fractal Geometry in Digital Imaging*. Cambridge: Academic Press.
- Voss RF. 1988. Fractal in Nature: from characterization to simulation. In: Peitgen HO, Saupe D (Ed.). *The science of fractal imagens*. New York: Springer. Fractal in Nature: from characterization to simulation, p.21-32.
- Waggoner B. 2000. Carl Linnaeus. <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/linnaeus.html> (acesso em 13 de março 2015).
- Wing S, Wilf P, Johnson K, Hickey LJ, Ellis B, ASH A. 1999. *Manual of Leaf Architecture – Morphological Description and Categorization of Dicotyledonous and Net-veined*

Monocotyledonous Angiosperms by Leaf Architecture. Washington: Leaf Architecture Working Group, 65p.