Um jardim inteligente: o Jardim Botânico Tropical de Belém

*Paula REDWEIK[1,3], Magda SOUSA[3] e Maria Cristina DUARTE[2,3]

[1] Instituto Dom Luiz
[2] Centro de Ecologia, Evolução e Alterações Ambientais
[3] Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa (Portugal)

(pmredweik@fc.ul.pt; magda_sousa@live.com.pt; mcduarte@fc.ul.pt)

Palavras-chave: modelação 3D, fotogrametria, SIG, modelação de plantas

Resumo:

O Jardim Botânico Tropical (JBT) de Lisboa é atualmente um dos três jardins botânicos da Universidade de Lisboa. Foi criado em 1906 com o intuito de testar e ensinar técnicas agronómicas a serem aplicadas nas colónias portuguesas de então. Hoje em dia, o JBT conserva testemunhos da sua história nos edifícios, esculturas e toponímia. O seu maior acervo, a coleção viva de plantas, é mantida com objetivos não só de investigação, mas também educacionais e de lazer.

Na sequência da publicação do guia "Plantas do Jardim Botânico Tropical" em 2016, pretende-se disponibilizar a informação sobre o Jardim via internet, desenvolvendo para esse fim um modelo 3D digital dinâmico do Jardim que seja consultável. O modelo 3D é gerado por ferramentas de modelação 3D urbana e de modelação de plantas, tencionando aliar um recurso online visualmente atrativo com a informação científica e histórica das espécies, dos objetos e lugares do Jardim. Além disso, pretende-se criar uma estrutura base que permita a visualização de *livecams* colocadas em lugares estratégicos do mesmo, para observação das variações fenológicas da flora ao longo do ano e exploração da fauna, bem como a ligação a outro tipo de sensores de monitorização climática.

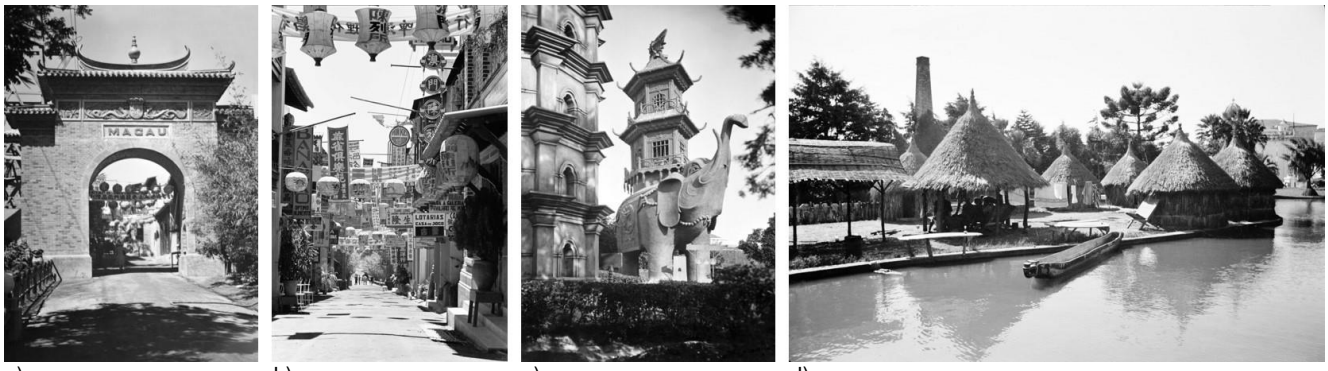
Com o modelo 3D do Jardim e base de dados associada pretende-se, por um lado apoiar visitantes (com plataformas móveis de comunicação), orientando-os e disponibilizando-lhes informação botânica e histórica que não é viável incluir nos habituais folhetos em papel e, por outro, apoiar a gestão do Jardim, uma vez que esta ferramenta poderá ter uma vertente mais focada para as pesquisas relevantes para a gestão. A investigação científica aproveitá-la-á como porta de acesso aos dados de monitorização climática e de exploração da fauna georreferenciados e em tempo real.

1. Introdução

O Jardim Botânico Tropical (JBT) de Lisboa foi criado em 1906, estando desde 1912 localizado na área onde se encontra atualmente em Belém, junto ao Mosteiro dos Jerónimos. A sua criação teve, entre os seus objetivos, o ensino de técnicas de cultivo de plantas tropicais aos agrónomos que iriam trabalhar nas então colónias portuguesas, todas elas situadas em latitudes tropicais em África e na Ásia. Ocupa uma área de cerca de 7 ha, dos quais 5 ha constituem um parque público. O acervo botânico atual do JBT é constituído pela coleção viva de plantas tropicais e subtropicais, que é mantida com objetivos educativos, de investigação e de lazer. Inclui mais de 2000 espécimes, pertencentes a cerca de 600 espécies e mais de 100 famílias. 29 encontram-se na '*Red List'* da *International Union for the Conservation of Nature* (IUCN), ou seja, são espécies classificadas em categorias de ameaça, e 27 estão nas listas da *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (CITES), estando proibida ou condicionada a sua comercialização (Duarte,2016).

Para além da coleção viva, o JBT inclui o Palácio dos Condes da Calheta construído no séc. XVII, a Estufa Principal em ferro e vidro, de 1914, outros edifícios de menor porte e alguma estatuária em mármore, dos séc. XVII e XVIII (Duarte, 2016).

Durante a Exposição do Mundo Português, em 1940, toda a zona de Belém foi reurbanizada dando origem à Praça do Império diante do Mosteiro dos Jerónimos como se configura atualmente. O JBT foi transformado na Secção Colonial da Exposição, talvez a mais exótica de todo o recinto, tendo sido construídos não só vários pavilhões alusivos às colónias como também diversas aldeias indígenas que eram habitadas, durante os seis meses que durou a exposição, por nativos das colónias trazidos de propósito e que mostravam aos visitantes aspetos da sua vida quotidiana e dos seus costumes (Fig.1). O mesmo ocorria na área dedicada às aldeias portuguesas que também eram habitadas por pessoas originárias das várias províncias portuguesas. Dessa época ficaram no JBT, até à atualidade, algumas construções, como o Arco de Macau, a Casa da Direção e os bustos de povos africanos e asiáticos, da autoria de Manuel de Oliveira (Pereira, 2017).



a) b) c) d)

Figura 1 – Cenas da Secção Colonial da Exposição do Mundo Português de 1940: a) Arco de Macau; b) Rua de Macau; c) Pavilhão da Índia; d) Aldeia da Guiné (Fontes: Estúdio Horácio Novais, Coleção Casimiro Vinagre, Eduardo Portugal, Restos de coleção)

Em 2016 foi realizado um levantamento botânico do Jardim com o intuito de produzir o guia "Plantas do Jardim Botânico Tropical" (Duarte, 2016). Nele, encontra-se identificada cada planta pelo seu nome científico, origem geográfica, hábito, uso, nome vulgar em várias línguas e estatuto de ameaça, de acordo com as categorias da IUCN, e é feita uma geolocalização aproximada sobre uma base topográfica em ambiente SIG.

Partindo dessa informação, pretendeu-se com o presente projeto, denominado JBT3D, gerar uma representação digital 3D do Jardim, georreferenciada, na qual todos os elementos se apresentem similares à realidade e contenham informação associada, a qual pode ser consultada via internet pelo utilizador, visitante ou gestor do Jardim, em plataformas fixas ou móveis (em computadores, tablets ou smartphones) sendo ainda possível realizar pesquisas simples sobre a informação.

2. Processamento dos dados

Para além da base de dados das espécies e da cartografia 1:1000 existente do Jardim, em Datum 73 e proveniente da Câmara Municipal de Lisboa (CML), recorreu-se a dados de LiDAR (Light Detection and Ranging) aéreo de 2016, com uma densidade

de 12 pontos/m^2, para obter a informação necessária à geração do JBT3D. Foram ainda realizados levantamentos fotogramétricos pontuais das estátuas e edifícios.

O JBT3D é constituído pelos seguintes elementos: terreno com relevo realista, lagos, caminhos, edifícios, estátuas e plantas. Como, na base de dados das espécies, o Jardim se encontra dividido em canteiros, o JBT3D segue a mesma organização. Devido à densidade da vegetação e em prol da visibilidade, estão sobretudo representadas as árvores e, apenas em casos especiais, plantas de menor porte. As árvores estão representadas por modelos 3D com aparência semelhante à real e na posição real, mostrando uma altura e diâmetro da copa correspondentes a cada espécime, no estado em que este se encontrava em Agosto de 2016 (data dos dados LiDAR). O software utilizado para gerar o JBT3D foi o CityEngine 2017 (ESRI, 2018a).

A partir dos dados LiDAR em formato LAS e no referencial ETRS89-PT-TM06 cobrindo a área do Jardim, obteve-se, por meio da ferramenta LAStools do software ArcGIS Desktop 10.6 (ESRI, 2018b), uma superfície interpolada em formato raster com uma resolução de 0.5m x 0.5m correspondente ao DSM (Digital Surface Model) e outra correspondente ao DTM (Digital Terrain Model) com a mesma resolução. Para esta última filtrou-se previamente a amostra retendo apenas os pontos classificados como 'solo' nos dados LAS. A diferença das duas superfícies, DSM - DTM, gerou um modelo digital de superfície normalizado, nDSM, que, em zonas de vegetação densa, toma o nome de CHM – Canopy Heigth Model. No CHM, o solo aparece com valores próximos de zero e os restantes pixéis indicam a altura da vegetação relativamente ao solo. O CHM é muito utilizado em aplicações florestais (Zhao & Popescu, 2007; Khosravipour *et al.*, 2015).

Recorreu-se ao DTM para produzir a camada de terreno após se alterar a simbologia para uma gradação de cores contínua com valores de cinzento (mais claro correspondendo a mais alto) e se exportar como imagem para que pudesse ser interpretada como superfície de cotas no CityEngine. Gerou-se ainda uma textura para o DTM, exportando novamente uma imagem deste com a simbologia proveniente de uma gradação de cores com tons de verde para simular cobertura de relva.

O CHM sofreu várias operações, que a seguir se descrevem, para isolar as árvores e determinar a sua altura e o diâmetro da copa (Fig.2). Todas as operações foram realizadas em ArcMAP 10.6 (ESRI, 2018b). Primeiro gerou-se o CHM-zero classificando como zero todos os pixéis de valor menor que um determinado limiar (1m), de modo a considerar no processo apenas as árvores, ignorando os arbustos ou plantas rasteiras (Fig. 2a). Num segundo passo, calcularam-se os máximos locais numa vizinhança circular de raio igual a 5 pixéis (~2,5m) (Fig.2b). Calculando a diferença entre os rasters gerados, um com os máximos locais e outro com o CHM-zero, obteve-se um raster onde os topos das árvores aparecem com o valor zero e os limites das copas das árvores surgem realçados por serem zonas onde a diferença é maior (Fig.2c). Reclassificando este raster de modo a encapsular os zeros numa classe cujo domínio é reduzido, consegue-se localizar as árvores individuais, assumindo que os pontos mais altos da copa correspondem à posição do tronco da árvore no solo (Fig.2d). Para coníferas, esta solução será muito próxima da realidade, mas para os restantes tipos de árvores, será apenas uma solução aproximada, visto nem sempre a folhagem mais alta estar na vertical do pé da árvore. De seguida, de modo a recuperar os restantes parâmetros, o CHM-zero será multiplicado por (-1) para se inverter o relevo, apresentando os topos das árvores os valores localmente mais baixos nesta representação (Fig.2e). Calcula-se, então, aplicando ferramentas de Hidrologia, as direções de fluxo de cada pixel (*Flow Direction*) resultando num raster que indica, para cada pixel, qual a direção do pixel mais baixo dos que o rodeiam, direção segundo a qual fluiria hipoteticamente a água (Fig.2f). Segue-se a determinação de bacias de drenagem, também via ferramentas de Hidrologia. O resultado desta operação é um raster com as bacias individualizadas, o que se pode constatar utilizando uma simbologia de cores discretas (em contraste com simbologia de gradação de cores contínua) (Fig.2g). Cada bacia corresponderá à área que conflui para o ponto mais baixo da vizinhança (o mais alto da árvore em questão), ou seja, a sua fronteira delimita aproximadamente a copa da árvore. Segue-se a transformação do raster de bacias para polígonos originando uma *shapefile* contendo a respetiva área e perímetro como atributos (Fig.2h). Os polígonos foram ainda editados em zonas em que a tesselação do plano em bacias exagerava a dimensão das copas, como por exemplo em clareiras que eram divididas pelo algoritmo pelas árvores em redor. Como base para a edição utilizou-se a imagem das árvores no CHM-zero. O diâmetro da copa é, então, calculado num campo da tabela de atributos por uma aproximação que assume a copa da árvore como sendo circular: Diâmetro = 4x Área/Perímetro. Por fim, a altura de cada árvore obteve-se associando aos pontos de localização de árvores (os mais altos localmente) o valor respetivo no CHM-zero. A altura e o diâmetro da copa foram associados a cada ponto de localização e utilizados mais tarde na geração do modelo 3D das árvores.

O passo que se seguiu foi a associação dos restantes atributos, constantes na base de dados das espécies, aos pontos de localização das árvores obtidos no passo anterior. Esta foi realizada por junção das duas tabelas de atributos baseada na proximidade geográfica dos pontos. Este passo necessitou de alguma edição devido ao facto de a geolocalização na base de dados das espécies ser apenas aproximada. A visualização em 3D da nuvem de pontos disponível em LAStools do ArcMAP, permitiu, pela densidade da nuvem, revelar a fisionomia das árvores e esclarecer dúvidas neste passo de edição (Fig. 3), que resultou numa tabela única com os atributos botânicos e geométricos associados à árvore correta.

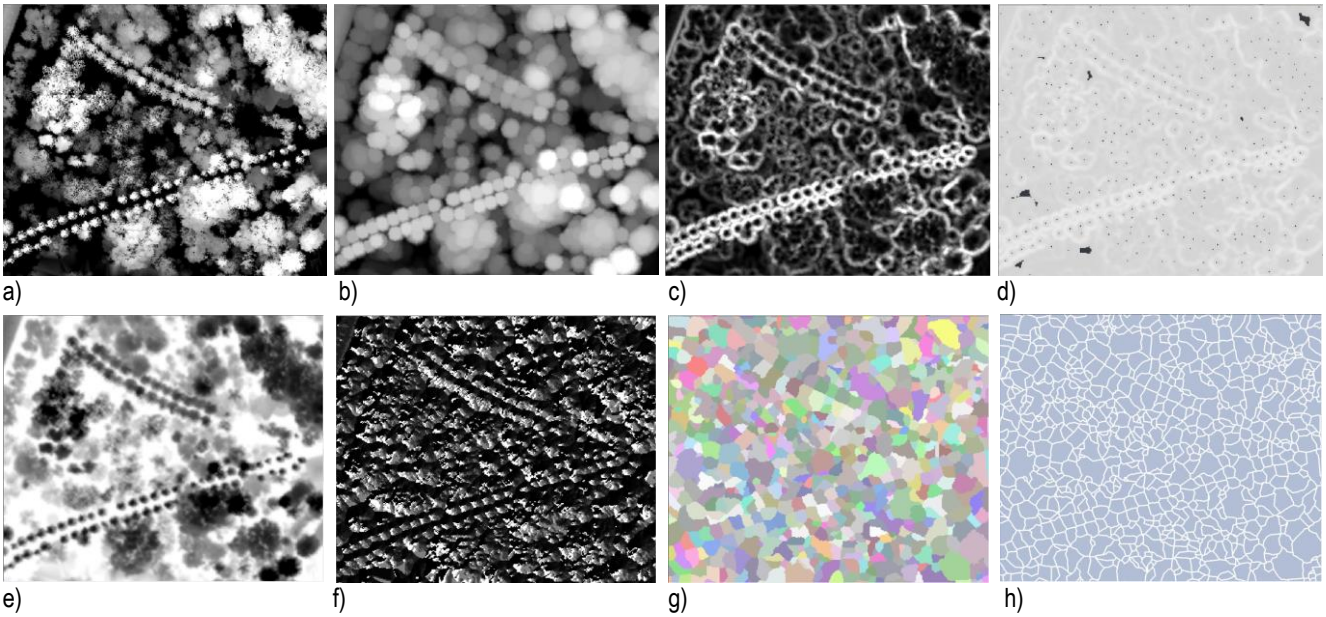


Figura 2 – Fases do processamento para determinar a localização das árvores, a sua altura e diâmetro da copa; a) CHM-zero; b) máximos locais numa vizinhança de 5 pixels; c) diferença entre a) e b); d) classe zero de c) correspondendo aos pontos de localização das árvores; e) negativo do CHM; f) mapa de direção de fluxo; g) mapa das bacias de drenagem; h) polígonos limite de g) correspondendo aproximadamente aos limites das copas das árvores

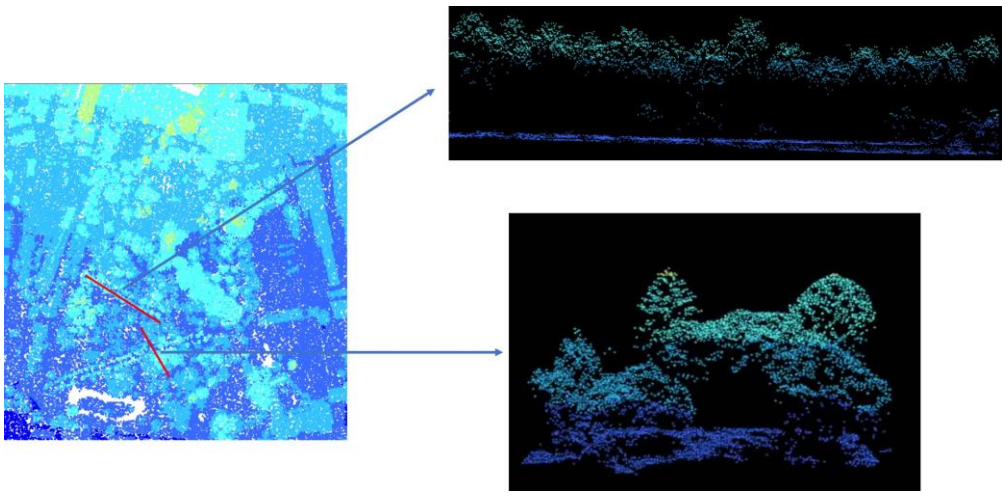


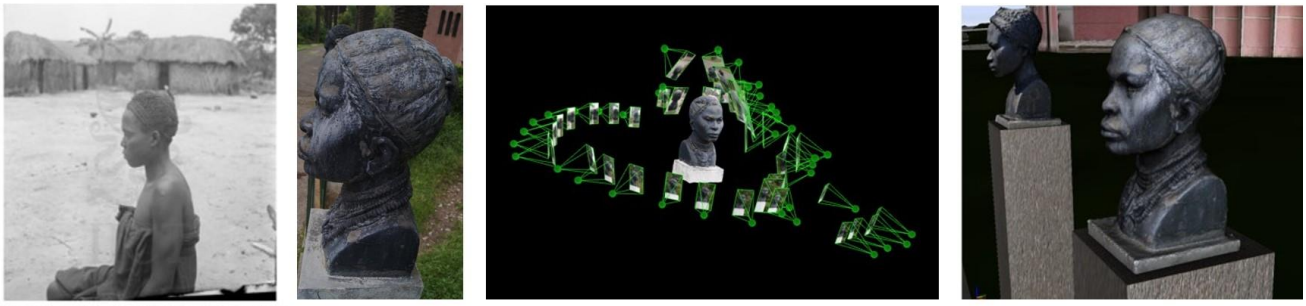
Figura 3 – Dados LiDAR sobre o Jardim Botânico Tropical (esq.); Perfis espessos dos dados LiDAR (dir.)

Da cartografia da CML, após ser projectada para ETRS89-PT-TM06, foram ainda vetorizados os eixos dos caminhos, aos quais foram associados atributos como a largura, a existência de passeios e respetivas larguras, e ainda os edifícios, com o tipo de telhado e as respetivas alturas obtidas do CHM.

3. Modelação em 3D

3.1 Estatuária

A coleção de 14 bustos existentes no Jardim, proveniente da Ala dos Povos do Império da Exposição do Mundo Português de 1940, mostra, com rara beleza e realismo, as feições de nativos de várias ex-colónias e encontra-se distribuída por todo o Jardim. Os bustos foram levantados fotogrametricamente e reconstruídos em 3D por processos de restituição múltipla automática por meio do software Pix4D (Fig. 4). As restantes estátuas encontram-se em processo de levantamento pelo mesmo método. Os modelos 3D gerados são exportados em formato .obj (Frontwave) para serem facilmente integrados no CityEngine. Recolheram-se ainda fotografias históricas dos modelos humanos originais destes bustos adquiridas no âmbito de missões etnográficas anteriores à Exposição (IICT, 2018) para serem associadas aos objetos respetivos no JBT3D como parte da informação complementar.



a) b) c) d)

Figura 4 – a) modelo original: mulher Bangala – Malanje, Angola (fotografia do período 1935-39) (IICT); b) busto existente no Jardim c) exemplo de cobertura fotogramétrica; d) bustos em 3D, modelados fotogrametricamente

3.2 Caminhos, lagos, edifícios e vegetação

Antes de importar a base de dados para CityEngine 2017 (ESRI, 2018a) para se proceder à modelação 3D, houve que a completar a nível das tabelas da flora com três campos: um com o nome do ficheiro de imagem contendo um mapa com a origem geográfica de cada planta; e os outros dois com o nome do ficheiro contendo o modelo 3D da planta em formato .obj em dois LOD (*Level of Detail*) diferentes. Os mapas e os modelos 3D foram armazenados no CityEngine no projeto em questão. Os modelos 3D das plantas, sobretudo árvores, foram obtidos por modelação procedimental no software PlantFactory (e-on, 2018) (Fig. 5). A maioria dos modelos foi adaptada de modelos já disponíveis na biblioteca de 'assets' do CityEngine, resumindo-se a tarefa de modelação às árvores mais características do Jardim que, como tal, justificavam ser visualmente reconhecidas pelo utilizador.

Figura 5 – Esquema de modelo de árvore (*Washingtonia sp.*) em LOD1 (esq.) e LOD3 (dir.) (PlantFactory)

Os caminhos foram modelados a partir dos eixos vetorizados aos quais foram aplicadas regras CGA (Computer Generated Architecture) que consideravam a largura, a geração de um lancil e a aplicação de uma textura fotográfica única imitando o pavimento em terra batida. Os edifícios foram gerados também por regras CGA que os elevavam à altura correspondente e lhes aplicavam um telhado semelhante ao original e a textura fotográfica proveniente de um levantamento fotográfico das fachadas e dos telhados. Ao lago e riachos, aplicou-se uma regra própria para corpos de água que permite que os mesmos, quando publicados na *web*, surjam com a aparência de água em movimento.

Para as árvores, que são importadas para CityEngine apenas como pontos de localização, foi elaborada uma camada para todo o Jardim e uma camada para cada canteiro. Na camada geral do Jardim, as árvores são representadas pelos respetivos modelos 3D de LOD1, mais simples, pois esta camada destina-se a uma navegação geral por todo o Jardim e não convém ser muito pesada em termos de dados. Nas camadas de cada canteiro, apenas aparecem as árvores desse talhão e são então representadas com modelos em LOD3. Em qualquer das camadas, uma regra CGA aplica o respetivo modelo 3D a cada ponto de localização, adaptando-o (escalando-o) à altura e diâmetro da copa reais da árvore em questão (Fig. 6).

Figura 6 – Cenas do modelo 3D do Jardim Botânico Tropical gerado em CityEngine

Por fim são escolhidos pontos de interesse no Jardim aos quais são associados conteúdos multimédia, como fotografias históricas, vídeos, ligações para páginas de internet externas ou para *livecams* que venham a ser instaladas. O modelo 3D completo é exportado em formato *webscene* para ser publicado na *internet*.

4. Exploração do modelo 3D

Destinando-se o JBT3D a ser explorado pelos utilizadores, sobretudo por visitantes do Jardim, o ficheiro em formato *webscene* foi publicado na plataforma ArcGIS Online (ESRI, 2018c) sendo acedido, via *web*, pela aplicação CityEngine Webviewer. Está em estudo a hipótese de ser dada ao visitante a opção da língua, sendo apresentados todos os conteúdos numa das cinco línguas europeias mais comuns entre os turistas que visitam o Jardim: português, espanhol, francês, inglês e alemão. Para além de ser possível a exploração do modelo em computadores fixos, uma versão simplificada será adaptada a plataformas móveis (smartphones).

Via *internet*, será possível não só navegar pelo JBT3D, como consultar todos os atributos dos objetos do Jardim, em especial os atributos botânicos das árvores, que aparecem listados quando se seleciona qualquer uma das árvores (Fig. 7). Um pequeno mapa mostrando a distribuição aproximada da espécie aparece sobre a lista dos atributos, seguindo-se o nome científico, o hábito, o uso, o nome vulgar, estatuto de ameaça, inclusão na CITES e a descrição da distribuição geográfica.

Também é possível realizar pesquisas simples na base de dados, como por exemplo, quais os exemplares de determinada espécie, ou quais os exemplares que estão classificados, pela IUCN, com estatuto de ameaça. O resultado surge com os exemplares que cumprem o critério de pesquisa realçados (Fig. 8).

Para além das árvores, distribuíram-se pontos de interesse pelo Jardim para possibilitar o acesso a outro tipo de informação pelo visitante/utilizador. Assim, aos bustos associou-se informação pictórica e histórica em forma de pequeno texto. O mesmo foi feito relativamente a outros objetos, como edifícios e pontes. Vídeos mostrando cenas da Secção Colonial da Exposição do Mundo Português de 1940 são iniciados quando o utilizador seleciona certos edifícios. Por fim, estando programada, após as

obras de recuperação do Jardim, a instalação em pontos de interesse de *livecams*, estas serão referenciadas no modelo; a imagem destas câmaras aparecerá no local onde surge o mapa com a origem geográfica das plantas (cf. Fig. 7). O mesmo modo de acesso às câmaras (via IP) será utilizado para outros tipos de sensores também a serem instalados após as obras. Esta informação destina-se, em particular, à gestão do Jardim e à comunidade científica da Universidade de Lisboa.

Figura 7 – Consulta de atributos individuais no JBT3D (árvore selecionada a azul)

Figura 8 – Resultados de pesquisas à base de dados: (em cima à esquerda) Ginkgo (*Ginkgo biloba*); (em cima à direita) Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*); (em baixo à esquerda) Espécies com a categoria de ameaça "Em Perigo"; (em baixo à direita) Espécies com a categoria de ameaça "Quase Ameaçada".

5. Perspetivas futuras

O JBT3D é um protótipo cujas aplicações e modo de organização de dados estão em desenvolvimento. Para o JBT, uma aplicação deste tipo que apoie o visitante, indicando-lhe locais de interesse atuais, por exemplo, uma planta que está a florir nesse dia ou uma exposição temporária que está a decorrer, torna-se um meio de comunicação precioso. Para além do que está já desenvolvido, pretende-se ainda, para dispositivos móveis, conectar a localização dos dispositivos com a proximidade de pontos de interesse, emitindo alertas. Para o visitante, a aplicação pode tornar uma simples visita ao Jardim em busca de sombra numa experiência informada que o enriquece. No futuro próximo, após as obras de recuperação, pensa-se, ainda, incluir no JBT3D informação cartográfica 3D das infraestruturas de rega, de iluminação e outras, que, juntamente com o acesso remoto aos sensores (de humidade e temperatura) será deveras relevante para a gestão do Jardim em tempo real, melhorando o habitat das plantas. Encontra-se em estudo o alargamento deste projeto aos restantes jardins botânicos da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

O trabalho em questão é apoiado pela Reitoria da Universidade de Lisboa, e pelos projetos IDL (FCT-UID/GEO/50019/2013) e cE3c (UID/BIA/00329/2013).

Referências bibliográficas

Duarte, M.C. (2016). Plantas do Jardim Botânico Tropical. Universidade de Lisboa.

e-on, https://info.e-onsoftware.com/plantfactory, consultada em 10 de Julho de 2018.

ESRI a, https://www.esri.com/en-us/store/city-engine, consultada em 10 de Julho de 2018.

ESRI b, http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/, consultada em 10 de Julho de 2018.

ESRI c, https://www.arcgis.com/home/index.html, consultada em 10 de Julho de 2018.

IICT (2017). Arquivo do Instituto de Investigação Científica Tropical, Universidade de Lisboa, http://actd.iict.pt/view/actd:AHUD9544, consultada em 10 de Julho de 2018.

Khosravipour, A.; Skidmore, A.; Wang, T.; Isenburg, M.; Khoshelham, K. (2015). Effect of slope on treetop detection using a LiDAR Canopy Height Model. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, No. 104, Págs. 44-52.

Pereira, F.(2017). O exotismo da Secção Colonial. Visão História. Impresa Publishing, Maio, No.42, Págs. 80-85.

Zhao, K.; Popescu, S. (2007). Hierarchical watershed segmentation of canopy height model for multi-scale forest inventory. ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, Finland, Págs. 436-441. http://ssl.tamu.edu/media/14506/zhao_popescu_2007_international_archives_prs.pdf, consultada em 10 de Julho de 2018.

Fontes das imagens da Figura 1:

Coleção Casimiro Vinagre, Biblioteca de Arte e Arquivos, Fundação Calouste Gulbenkian, https://www.flickr.com/photos/biblarte/sets/72157640624113385/, consultada em 10 de Julho de 2018.

Eduardo Portugal, http://arquivomunicipal.cm-lisboa.pt/pt/galerias, consultada em 10 de Julho de 2018.

Estúdio Horácio Novais, Biblioteca de Arte e Arquivos, Fundação Calouste Gulbenkian, https://www.flickr.com/photos/biblarte/albums/72157621817098955/page2, consultada em 10 de Julho de 2018.

Restos de coleção, http://restosdecoleccao.blogspot.com/2012/06/exposicao-do-mundo-portugues-em-1940.html, consultada em 10 de Julho de 2018.