

## Automatização na produção de mapas topográficos baseada em páginas de dados dinâmicos e bancos de dados espaciais

Mateus Pedrucci Romanholi<sup>1</sup>  
Alexandre Iamamoto Ciuffa<sup>2</sup>  
Celso Donizetti Talamoni<sup>2</sup>  
Maíra Eufrásio Tafarello<sup>2</sup>  
Rafael Duarte<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo - USP/FFLCH  
Caixa Postal 72042 – CEP 05508-080 – São Paulo - SP, Brasil  
mateus.romanholi@usp.br

<sup>2</sup>Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo - IGC  
CEP 01419-002 – São Paulo - SP, Brasil  
{aciuffa,ctalamon,mtafarello,rduarte}@planejamento.sp.gov.br

**Abstract.** This paper discusses the new topographic mapping project being carried out by the Geographic and Cartographic Institute of São Paulo (Brazil), and focus on the production of digital high-quality printable topographic maps at 1:25.000 scale. It addresses the challenges of providing new maps to fast-demanding users, meaning that the artistic appeal present in previous maps is slightly lost and the number of features depicted is also initially lowered. In order to improve the delivery of products, this paper proposes changes to the project's workflow, moving from a CAD-based and overly manual map design to a mass production GIS environment based on seamless, continuously maintained vector and raster databases, following the examples of other mapping institutions like the American USGS and the French IGN. The new workflow allowed for semi-automated data-driven map printing and faster database updates propagation on the maps, permitting the delivery of intermediate and final products, initially depicting only an orthoimage base layer and progressively adding hydrography and relief layers. Feature symbology design and label placement techniques are yet to be tested, as the latter is assumed as the most time-consuming process.

**Palavras-chave:** GIS, topographic, map, layout, workflow, automation, database, government, SIG, governo

### 1. Introdução

As origens do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC) remontam a 1886. A extinta Comissão Geográfica e Geológica (CGG), criada em 27 de março daquele ano, foi responsável, ao longo de 18 anos após sua criação, pela elaboração de 23 cartas topográficas na escala 1:100.000, cobrindo 25% da área do Estado (IGC, 2010). Ao longo da década de 1930 mudanças administrativas foram impostas à CGG, que se transformou, em 1938, no Instituto Geográfico e Geológico (IGG). A partir da década de 1940, o IGG incorporou novas tecnologias de imagens aéreas, culminando com o levantamento aerofotogramétrico de todo o território paulista em 1964 (IGC, 2010).

Na década de 1970 é instituído o Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, que propunha, entre outros produtos, a elaboração de um Mapeamento Sistemático na escala 1:10.000. Em 1976 iniciou-se o projeto de mapeamento, com a elaboração de mais de 1.200 cartas em dois anos, que cobriram cerca de 33 mil km<sup>2</sup>. A partir de 1978, mais dois anos de trabalho foram necessários para que se mapeassem outros 34 mil km<sup>2</sup>. Em 13 de março de 1979 foi criado o IGC, que manteve o projeto de mapeamento, sendo este responsável, após mais de 30 anos de seu início, pela elaboração de 4.619 cartas topográficas na escala 1:10.000, recobrando cerca de 130 mil km<sup>2</sup>, mais de metade da área do Estado (IGC, 2010).

As cartas topográficas 1:10.000 representam ainda hoje o produto de maior sucesso do IGC, estando disponíveis para venda em papel e para consulta digital no Geoportal do Instituto ([www.igc.sp.gov.br/geoportal](http://www.igc.sp.gov.br/geoportal)). O desafio posto ao IGC a partir da década de 2010



- Vetores 3D da rede hidrográfica (nos formatos Bentley® DGN e Esri® Shapefile);
- Modelo Digital de Terreno com resolução de 5 m (nos formatos GeoTIFF e ASCII);
- Ortoimagens RGB e infravermelho com resolução de 0,45 m (nos formatos GeoTIFF e MrSID®);
- Ortofotocartas na escala 1:25.000 (em formato Adobe® PDF com a visualização de coordenadas).

O *layout* das ortofotocartas segue diretrizes estabelecidas pelas Especificações Técnicas para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), do Exército Brasileiro, quanto aos elementos e informações que devem constar nas margens laterais, detalhadas na Figura 2 e Tabela 1.

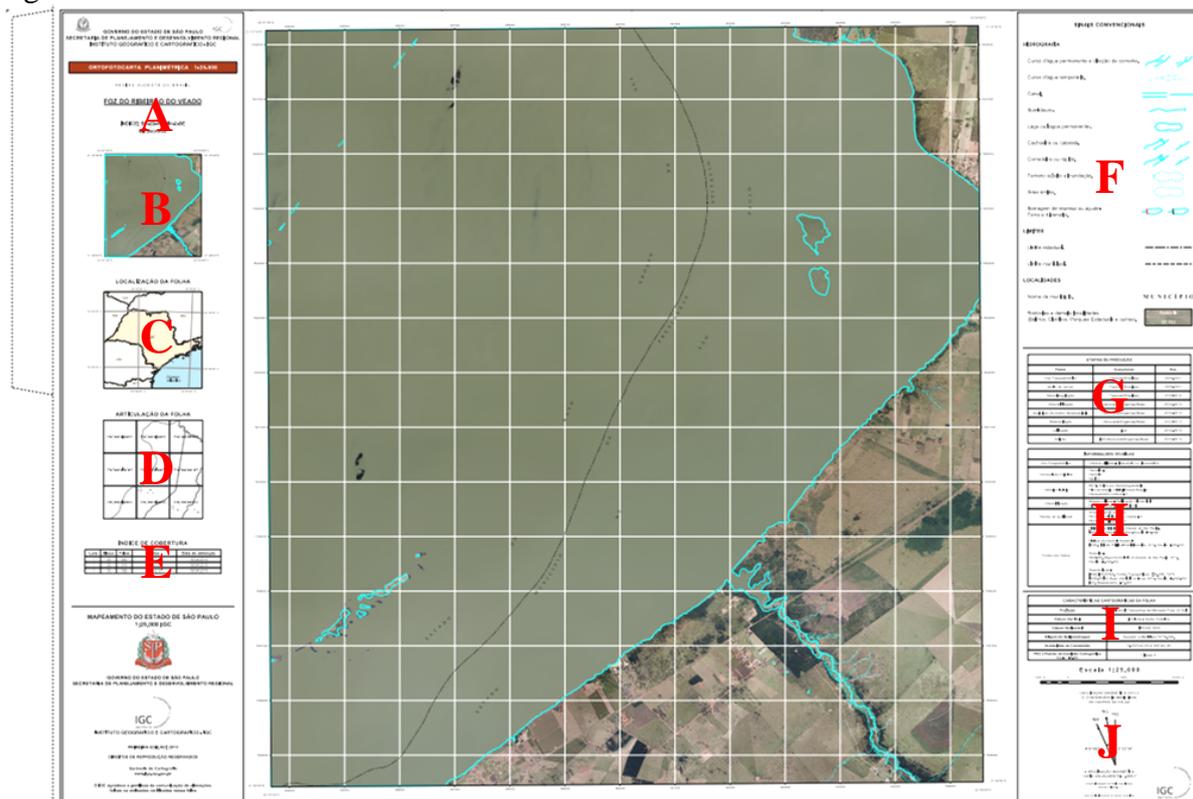


Figura 2. Novo modelo de ortofotocarta em produção pelo IGC.

Tabela 1. Descrição dos itens marginais constantes nas ortofotocartas.

Item	Descrição	Item	Descrição
A	Nome da folha, índice no Sistema Cartográfico Nacional e número MI	F	Sinais convencionais
B	Miniatura da folha	G	Responsáveis pela elaboração das etapas de mapeamento e anos em que foram executadas
C	Localização da folha no Estado de São Paulo	H	Padrões de qualidade e fontes dos dados
D	Articulação com folhas vizinhas, limites e sedes municipais	I	Parâmetros cartográficos
E	Índice de cobertura de imagens aéreas	J	Escala e informações de magnetismo e convergência meridiana

No momento, o novo mapeamento está sendo executado tendo como unidade produtiva a quadrícula de folha na escala 1:25.000. Para cada quadrícula é realizada a entrega de arquivos vetoriais nos formatos CAD (DGN) e Shapefile (SHP), conforme fluxo de trabalho ilustrado

na Figura 3. O uso principal do arquivo em formato DGN é para a elaboração das ortofotocartas em formato PDF. A duplicidade de formatos impõe dificuldades aos processos de controle e verificação dos produtos entregues, por exemplo:

- Necessidade de verificar inconsistências posicionais e de atributos entre os dois tipos de arquivos vetoriais (DGN e SHP);
- Necessidade de verificar as definições de simbologia de linhas do arquivo DGN para cada folha 1:25.000;
- Necessidade de verificar, para cada folha, se as informações marginais variáveis estão corretas, pois o processo, em software CAD, não é totalmente automatizado.

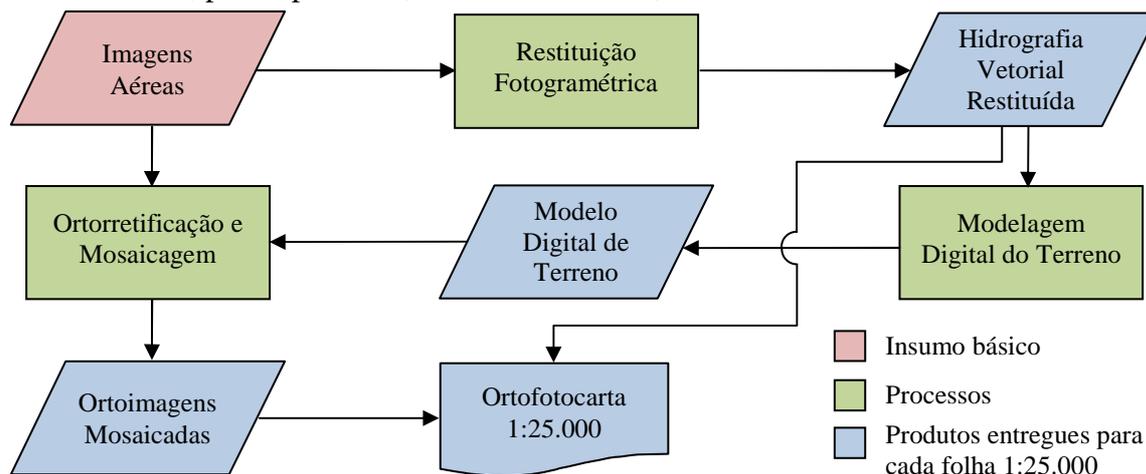


Figura 3. Fluxograma atual resumido do projeto de mapeamento 1:25.000 do IGC.

Terminadas as entregas e validações dos produtos de cada folha, o projeto 1:25.000 prevê a confecção de uma base vetorial única e contínua para a categoria Hidrografia, modelada conforme a ET-EDGV e armazenada em um banco de dados espaciais corporativo. Do mesmo modo, os arquivos *raster* de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e ortofotografias deverão ser mosaicaados, formando uma cobertura contínua do território paulista.

A construção de bancos de dados geoespaciais é uma evolução proporcionada pelo desenvolvimento da computação e dos primeiros softwares de *Computer Aided Design* (CAD) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que auxiliaram órgãos governamentais na elaboração de bases de dados digitais vetoriais e *raster*, a partir dos anos 1970. Os primeiros bancos de dados cartográficos digitais do Serviço Geológico Americano (USGS) tiveram origem na digitalização e vetorização de mapas topográficos analógicos, etapas executadas entre os anos 1970 e 1990 (CRAUN, 2011). De forma semelhante, iniciou-se na década de 1980 o projeto BDCARTO®, do Instituto Nacional de Informação Geográfica e Florestal francês (IGN), que consistiu na digitalização de cartas na escala 1:50.000 e cujos produtos vetoriais ainda são periodicamente atualizados (IGN, 2013). Também desde a década de 1980 a Holanda produz bases de dados vetoriais, através do Kadaster, agência de mapeamento governamental (STOTER et al., 2010).

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizou em 2003 a primeira versão da Base Cartográfica Contínua ao Milionésimo (BCIM), a partir da generalização de folhas topográficas 1:250.000, em processo de atualização constante e servindo de referência para o mapeamento geográfico do país (IBGE, 2010).

Uma vez que a infraestrutura do IGC para armazenamento e disponibilização de dados espaciais tem migrado, nos últimos dois anos, de uma quase totalidade de arquivos em formato CAD e troca de mídias físicas (CDs, DVDs e HDs) para bancos de dados geográficos corporativos e disponibilização de geosserviços *web* (Geoportal IGC), o projeto de atualização do mapeamento também deve sofrer as interferências desse processo.

As propostas deste artigo visam, portanto, a alterar o fluxograma atual de geração das ortofotocartas, representado na Figura 3. Para cada quadrícula 1:25.000 estão sendo gerados todos os produtos definidos anteriormente (ortoimagens, hidrografia vetorial, MDT e ortofotocartas). As ortofotocartas somente são aprovadas e disponibilizadas ao público após terem sido analisadas a camada base de ortoimagens, os vetores da hidrografia (validados pela equipe técnica conforme as diretrizes da ET-ADGV/EDGV) e os elementos próprios da carta como topônimos de localidades e dos elementos da rede hidrográfica. Decorre, portanto, período de tempo elevado entre o recebimento de produtos pelo IGC e sua disponibilização ao público.

Com o objetivo de superar esses gargalos produtivos e prover à sociedade produtos cartográficos de forma mais veloz, o IGC passou a realizar testes, desde o início de 2014, com ferramentas de produção cartográfica semi-automatizada, baseadas em páginas de dados dinâmicos (do inglês *Data Driven Pages*), oferecidas pelo software Esri® ArcMap®.

O novo fluxo de trabalho idealizado deve permitir que, através de um único arquivo de projeto no software ArcMap® (*Map Document*), possam ser elaborados produtos cartográficos intermediários e finais de forma semi-automatizada. Seguimos novamente as propostas do projeto *US Topo*, em elaboração pelo Serviço Geológico Americano (USGS) desde 2008. No primeiro ano, o projeto americano teve como meta a confecção de cartas piloto (*beta*) para quase um terço do território do país. Inicialmente, as cartas continham apenas uma camada de ortoimagens e, progressivamente, foram sendo adicionadas feições de hidrografia e curvas de nível (MOORE, 2011). Iniciativa semelhante para a modelagem de um fluxo de trabalho de produção cartográfica semi-automatizada foi dada pelo IGN francês, em 2004. A partir do banco de dados vetoriais do território francês BDTPOPO®, com precisão métrica e finalizado em 2007, o IGN desenvolveu o projeto *New Base Map* para a produção de cartas topográficas de alta qualidade gráfica na escala 1:25.000 (LECORDIX et al., 2013).

### 3. Resultados e Discussão

As mudanças propostas para o projeto de mapeamento do IGC incluem a construção de bancos de dados vetoriais contínuos e a automatização de processos de elaboração de documentos cartográficos digitais. Assim como discutido por Craun (2011) para o projeto *US Topo*, a modelagem do fluxo de trabalho deveria prever o mínimo possível de edição quando da geração das cartas topográficas em formato GeoPDF®.

As ferramentas de *layout* oferecidas pelo software ArcMap® permitiram-nos a construção de um *layout* de ortofotocarta idêntico ao elaborado em software CAD, superando a necessidade de utilização dessa ferramenta para a elaboração de uma máscara de dados que deve ser anexada a cada carta, método utilizado atualmente no projeto.

Utilizando o conceito de quadro de dados (*Data Frame*) oferecido pelo ArcMap®, foi possível vincular os quadros da miniatura, localização e articulação ao quadro de dados principal da ortofotocarta, isto é, à quadrícula da articulação representada no centro da folha. O método adotado é totalmente automatizado, tornando nula a possibilidade de erros que são recorrentes no processo atual e eliminando a possibilidade de incoerências entre a miniatura e o quadro principal, a localização errada da folha no Estado ou a ausência de informações no quadro da articulação (itens B, C e D da Tabela 1).

O quadro da articulação, em especial (item D da Tabela 1), tem como requisito a representação dos nomes dos municípios que aparecem no quadro, sendo que, quando a sede dos mesmos também está presente, o nome deve aparecer junto a ela. Essa exigência requereu o desenvolvimento de um *script* na linguagem de programação Python, utilizando os módulos de ferramentas e funções disponibilizados pelo ArcGIS® (ArcPy®). O código desenvolvido permite ao software não nomear o polígono de um município caso sua sede esteja visível.

O código em Python foi programado também para que, informando apenas uma pasta de saída e o índice de nomenclatura do Sistema Cartográfico Nacional, o processo de exportação seja o mais simples possível ao usuário que necessite, por exemplo, gerar novamente a ortofotocarta de uma folha na qual houve a alteração de alguma feição ou informação marginal (Figura 4). Outra função incorporada ao código foi a capacidade de disponibilizá-lo como serviço de geoprocessamento através das redes interna (*intranet*) e externa (*internet*), permitindo que os técnicos do Instituto executem-na em seus softwares *desktop* e também possibilitando que o *script* seja incorporado como ferramenta ao Geoportal IGC.

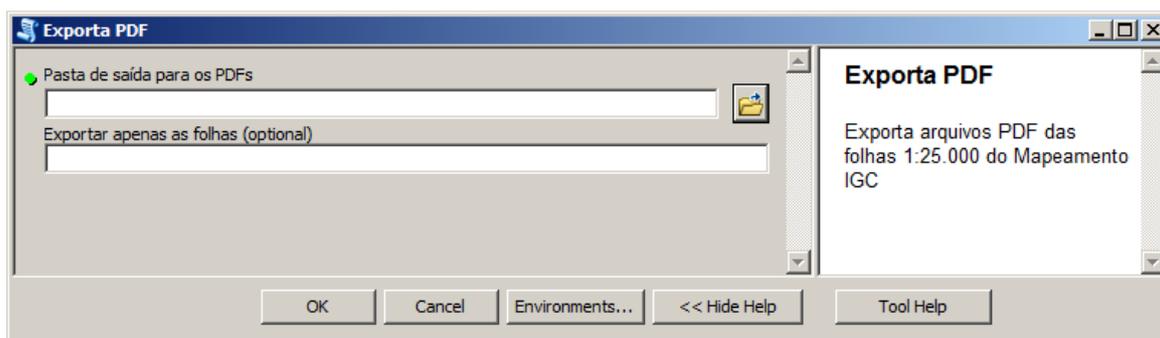


Figura 4. Janela de execução do *script* para exportação das ortofotocartas em PDF.

O processo de automatização para o preenchimento do quadro que indica o índice de cobertura (item E da Tabela 1) ainda não foi implantado, mas testes estão sendo realizados com a ferramenta *Graphic Table Element* oferecida pela extensão de produção cartográfica *Production Mapping*, da Esri®.

A mesma extensão possibilitou superar a dependência de outra facilidade oferecida pelos softwares CAD: a geração de linhas de grade e coordenadas marginais de forma automatizada. Conhece-se a capacidade nativa de softwares como o ArcMap® na visualização de linhas de grade e coordenadas, porém essa ferramenta torna-se limitada quando se requer maior qualidade visual e edição de parâmetros mais complexos. A ferramenta *Grids and Graticules Designer*, oferecida pela extensão, possibilitou a configuração das linhas de grade na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e das coordenadas geográficas dos cantos de forma altamente detalhada, alcançando excelente resultado estético e idêntico ao oferecido pelos softwares CAD.

As demais informações variáveis (fontes dos dados, nome e índices da folha e dados de magnetismo e convergência meridiana), por sua natureza alfanumérica, foram inseridas em tabela de atributos vinculada à articulação de referência, não implicando em dificuldades para sua representação no *layout* (itens A, H e J da Tabela 1).

Finalmente, outro avanço propiciado pela geração das cartas no ArcMap® é a disponibilização de mais funções inerentes ao formato de arquivo GeoPDF®. Quando geradas a partir do software CAD, o usuário pode apenas obter as coordenadas da carta, quando esta é aberta no Adobe® Reader®. As funcionalidades oferecidas pelo ArcMap® incluem a exportação das camadas que compõem a carta, possibilitando ao usuário que ligue-as ou desligue-as conforme suas necessidades.

A geração semi-automatizada das novas cartas topográficas do IGC requer bases de dados contínuas que serão utilizadas como camadas no projeto do ArcMap®. Seguindo os exemplos já adotados por instituições nacionais e internacionais, os dados que estão sendo gerados deverão compor três produtos cartográficos principais: mosaico de ortoimagens; vetores de hidrografia; e mosaico de modelos digitais de terreno. Visando à construção de marcas associadas a cada produto, tornando-os melhor conhecidos e referenciados pelos usuários, propomos a adoção dos seguintes nomes para cada base de dados:

- **SPORTO**: mosaico contínuo de ortoimagens RGB e infravermelho cobrindo a totalidade do Estado de São Paulo;
- **SPHIDRO**: base de dados vetoriais, única e contínua, dos principais elementos da categoria Hidrografia estabelecida pela ET-ADGV/EDGV;
- **SP3D**: modelo digital de terreno contínuo com resolução espacial de 5 metros, cobrindo todo o território do Estado de São Paulo.

As três bases de dados principais deverão ser incorporadas progressivamente às ortofotocartas, que poderão ser lançadas ao público em três etapas distintas:

1ª Etapa: Cartas com ortoimagens SPORTO;

2ª Etapa: Adição de elementos hidrográficos da base SPHIDRO;

3ª Etapa: Adição de curvas de nível geradas a partir e incorporadas à base SP3D.

O conjunto de ortofotocartas elaboradas deverá compor o quarto produto a ser disponibilizado pelo IGC, cujo nome propomos:

- **SPTOPO25**: coleção de ortofotocartas na escala 1:25.000, disponibilizadas em formato Adobe® PDF conforme as etapas estabelecidas.

Uma vez elaboradas as bases cartográficas de hidrografia e altimetria de referência, elimina-se a necessidade de produção em massa dessas informações, que necessitarão apenas de atualizações pontuais, as quais serão propagadas automaticamente para as ortofotocartas. O novo fluxo de trabalho, ilustrado na Figura 5, permite ao IGC que, ao serem executados novos levantamentos aerofotogramétricos, apenas seja modificada a camada base de ortoimagens, facilitando a geração de uma nova série de cartas, mais atualizada.

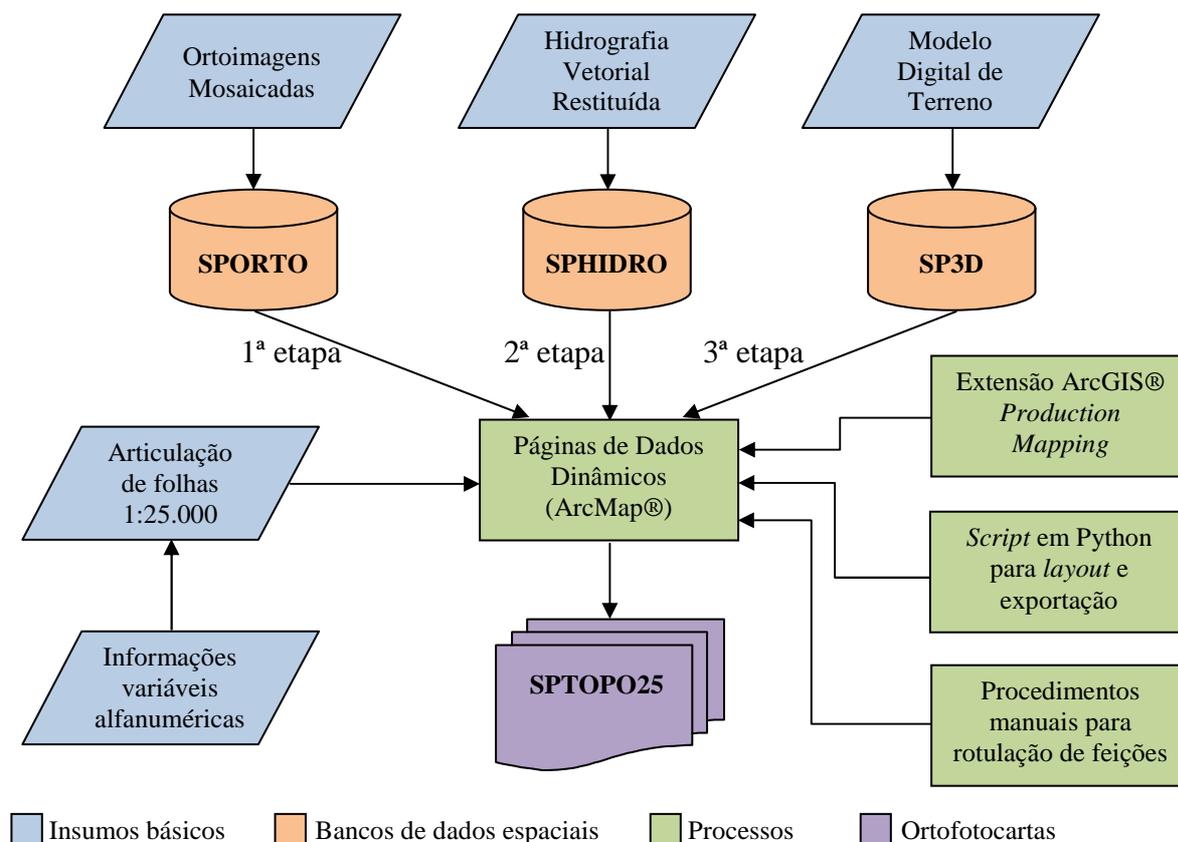


Figura 5. Fluxo de trabalho proposto, baseado em bancos de dados espaciais e páginas de dados dinâmicos.

Em testes preliminares, a nova ferramenta de exportação mostrou-se capaz de gerar um arquivo de ortofotocarta a cada sete minutos (contendo apenas a camada de ortoimagem), o

que demandaria cerca de oito dias para atualizar todas as 1.585 folhas, caso não fossem necessários ajustes manuais. Contudo, conforme discutido por Moore (2011), as etapas de posicionamento e edição de rótulos de feições requerem a maior parte do trabalho manual, demandando cerca de duas horas para os produtos do projeto *US Topo*. Braun et al. (2007) discutem serem necessárias cinco horas de processamento para que um software desenvolvido pelo IGN francês posicione corretamente 90% dos rótulos de uma carta 1:25.000.

Restam, portanto, testes a serem feitos com os algoritmos de posicionamento de rótulos, quais ajustes manuais serão necessários e quanto tempo será gasto nesse processo. A simbologia das feições vetoriais também carece ser elaborada, de modo que fique idêntica à que hoje é adotada nos arquivos em formato CAD.

#### 4. Conclusões

As mudanças propostas no fluxo de trabalho do IGC mostraram-se satisfatórias por fazerem melhor uso das ferramentas de produção cartográfica, validação e armazenamento de dados espaciais próprias de um SIG baseado em banco de dados corporativo. Entendemos que o produto cartográfico ortofotocarta é apenas um recorte de bases de dados digitais já existentes, e que sua produção pode ser agilizada, facilitando a propagação de atualizações e não impondo restrições à disponibilização, aos usuários, de produtos cartográficos intermediários, que deverão incorporar novos dados progressivamente.

#### Referências Bibliográficas

Braun, A.; Halbecq, X.; Lecordix, F.; Gallic, J.-M.L.; Prigent, F. A new flowline for the French topographic maps in I.G.N. In: XXIII International Cartographic Conference, 23., 2007, Moscow. **Proceedings...** Moscow: ICC, 2007. On-line. Disponível em: <[http://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2007/html/Proceedings.htm)>. Acesso em: 18 out. 2014.

Craun, K. J. Creation of next generation U.S. Geological Survey topographic maps. In: ASPRS/CaGIS 2010 Fall Specialty Conference, 2010, Orlando. **Proceedings...** Orlando: ISPRS Technical Commission, 2011. On-line. ISBN 1-57083-094-0. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part4/files/Craun.pdf>>. Acesso em: 11 out. 2014.

IBGE. **Projeto BCIM - 3ª versão e complementos 3.0x - Documentação Técnica Geral**, v. 1. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010, 37 p. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento\\_sistematico/base\\_continua\\_ao\\_milionesimo](ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_continua_ao_milionesimo)>. Acesso em: 18 out. 2014.

IGC. Geoportail. Disponível em: <[www.igc.sp.gov.br/geoportail](http://www.igc.sp.gov.br/geoportail)>. Acesso em: 11 out. 2014.

IGC. **Viagem pela cartografia do território paulista: da exploração dos rios às imagens de satélite**, 1ª ed. São Paulo: Secretaria de Economia e Planejamento/Instituto Geográfico e Cartográfico, 2010.

IGN. **BD CARTO® Version 3.1 – Descriptif de contenu**. França: Institut National de l'Information Géographique et Forestière, 2013. Disponível em: <[http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC\\_BDCARTO\\_3\\_1.pdf](http://professionnels.ign.fr/sites/default/files/DC_BDCARTO_3_1.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2014.

Lecordix, F.; Gautreau, P.-E.; Sciardis, Y. Cross-border Cartography for French New Base Map at 1:25.000 scale. In: XXVI International Cartographic Conference, 26., 2013, Dresden. **Proceedings...** Dresden: ICC, 2013. On-line. Disponível em: <[http://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2013/\\_extendedAbstract/376\\_proceeding.pdf](http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2013/_extendedAbstract/376_proceeding.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2014.

Moore, L. US Topo – A New National Map Series. **Directions Magazine**. 16 mai. 2011. Disponível em: <<http://www.directionsmag.com/articles/us-topo-a-new-national-map-series/178707>>. Acesso em: 18 out. 2014.

Stoter, J.; Meijers M.; Oosteron, P. v.; Dietmar, G.; Kraak, M.-J. Applying DLM and DCM concepts in a multi-scale environment. In: Symposium on Generalization and Data Integration, 2010, Boulder. **Proceedings...** On-line. Disponível em: <[http://www.gdmc.nl/publications/2010/Applying\\_DLM\\_DCM\\_concepts.pdf](http://www.gdmc.nl/publications/2010/Applying_DLM_DCM_concepts.pdf)>. Acesso em: 11 out. 2014.