



Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/8: 1601-1620
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

ABORDAGEM SISTEMÁTICA PARA A ESPECIFICAÇÃO DA QUALIDADE DE BASE CARTOGRÁFICA NOS PADRÕES PARA OS DADOS DA INFRAESTRUTURA NACIONAL DE DADOS ESPACIAIS

*Systematic Approach to Data Quality Specification in the Cartographic Production
Process Compliant with Standards for the National Spatial Data Infrastructure*

**Ana Paula Marques Ramos¹, Mariana Batista Campos²,
Fabricio dos Santos Pro³, José Marcato Junior⁴ & Ivana Ivánová⁵**

¹Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE

Faculdade de Artes, Ciências, Letras e Educação. Departamento de Geografia
Rua José Bongiovani, 700, CEP 19050-920 - Presidente Prudente, SP, Brasil.
anaramos@unoeste.br

^{2,3,5}Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP

Faculdade de Ciências e Tecnologia – FCT
Rua Roberto Simonsen, 305, CEP 19060-900 - Presidente Prudente, SP, Brasil
marianaa.bcampos@gmail.com; fabricioprol@hotmail.com; i.ivanova@fct.unesp.br

⁴Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS

Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Departamento de Geografia
Campus Universitário, S/N, 79070-900, Campo Grande, MS, Brasil
jrmarcato@gmail.com

Recebido em 16 de Janeiro, 2015/ Aceito em 7 de Novembro, 2015

Received on January 16, 2015/ Accepted on November 7, 2015

RESUMO

A elaboração de um produto cartográfico nos padrões para os dados da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) requer a aplicação de requisitos presentes em várias especificações técnicas do sistema cartográfico nacional. Todavia, as especificações da qualidade para o processo de mapeamento ainda são pouco exploradas. Este trabalho propõe uma abordagem sistemática para a especificação da qualidade de base cartográfica elaborada por técnicas fotogramétricas nos padrões para os dados da INDE. O método proposto consiste em três etapas: revisão das especificações técnicas em vigor, análise dos elementos para especificação da qualidade e desenvolvimento da abordagem de produção de base cartográfica com base nos requisitos da qualidade. Comumente, a qualidade de uma base cartográfica é avaliada considerando a acurácia posicional do produto, realizada em função do Padrão de Exatidão Cartográfica. Em contraposição a este cenário, esse trabalho, também, discute a utilização de outros elementos de qualidade, como consistência lógica, completude e acurácia temática. Ademais, as especificações da qualidade apresentada nas especificações para os dados da INDE são limitadas à avaliação do produto final, não apresentando requisitos para a análise da qualidade em cada fase do processo de mapeamento, o que dificulta a obtenção da qualidade pretendida ao produto final. Os requisitos para análise da qualidade neste processo, considerando as variáveis interdependentes do projeto de forma integrada, são apresentados neste trabalho.

Palavras Chave: INDE, Projeto Cartográfico, Produção Cartográfica, Especificação da Qualidade.

ABSTRACT

Production of a cartographic project for the national spatial data infrastructure requires (INDE) complies with variety of technical specifications defining the national cartographic system. However, the details of a quality specification in every stage of a mapping process are still little explored. In this paper we propose a systematic approach to data quality specification, compliant with standard of INDE, for the creation of a cartographic dataset with photogrammetric techniques. The proposed method comprises three phases: revision of the current technical specifications, analysis and specification of the relevant data quality elements for every stage of a cartographic production process, and the proposal of a systematic approach for data quality specification in a cartographic production process. Contrary to the most common cartographic production practice, we specify quality not only in terms of positional accuracy; we discuss other relevant quality elements such as the completeness, logical consistency and thematic accuracy, as well. With the proposed systematic approach to data quality specification, this paper contributes to the cartographic dataset development according to standards of INDE.

Keywords: INDE, Cartographic Project, Cartographic Production, Quality Specification.

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por informação geoespacial e a diversidade de geotecnologias disponíveis no mercado têm gerado um cenário no qual a produção e a distribuição de dados geoespaciais devem ser cada vez mais ágeis. Entretanto, para a elaboração de um produto cartográfico de qualidade, torna-se necessário não somente integrar diferentes áreas da ciência cartográfica, mas também produzir dados segundo padrões que garantam o atendimento do propósito do usuário. Os dados geoespaciais possuem diferentes níveis de qualidade, produzidos a partir de distintos métodos de aquisição e processamento, o que dificulta a interoperabilidade, o compartilhamento e a padronização dos produtos cartográficos. No intuito de sanar esses problemas, desenvolveu-se o conceito de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), a qual, segundo a Associação Mundial de Infraestrutura de Dados Espaciais (Global Spatial Data Infrastructure Association - GSDI, 2004), é definida como o conjunto de tecnologias, políticas, padrões e recursos humanos necessário para armazenamento, acesso, compartilhamento e uso de dados geoespaciais por usuários com múltiplos interesses, em todos os níveis de governo, setor privado ou acadêmico.

A padronização da estrutura e do conteúdo dos dados geoespaciais se faz necessária para homogeneizar os produtos de conjuntos de dados e possibilitar o compartilhamento destes em uma IDE. Diante dessa demanda, especificações para a produção de dados que compõem uma IDE devem ser desenvolvidas. Segundo a ISO 19131:2007, uma especificação para produção

de dados (Data Product Specification - DPS) consiste na descrição detalhada de requisitos e de informações sobre um conjunto de dados que contribui para elaboração adequada de um produto cartográfico. Essa especificação tem como objetivo promover o desenvolvimento eficiente e menores custos para o projeto, prevenir a perda de informação, transferir conhecimentos, mensurar o nível de qualidade do produto, diminuir a dependência de um aplicativo ou fornecedor, dentre outros (ISO, 2014).

No Brasil, agências oficiais de mapeamento têm concentrado esforços para facilitar o acesso e o uso de bases de dados espaciais por meio da formalização da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), instituída pelo Decreto de nº 6.666 em 2008 (BRASIL, 2008). Exemplos desses esforços são as Especificações Técnicas (ETs) para a integração de dados espaciais à INDE que vêm sendo objeto de desenvolvimento e (ou) reformulação pela Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) e pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). Assim, para um produto cartográfico estar em conformidade com a INDE, é necessário aplicar os requisitos propostos nas especificações técnicas do Sistema Cartográfico Nacional (SCN). No entanto, a utilização de especificações para o desenvolvimento do processo cartográfico nos padrões para os dados da INDE nem sempre é uma tarefa fácil, uma vez que essas especificações requerem a compreensão de vários conceitos implícitos. A dificuldade consiste tanto em identificar o momento que cada requisito da qualidade deve ser aplicado no processo, quanto em inspecionar

esses requisitos de modo a atingir a qualidade pretendida para o produto. Esse contexto, revela a necessidade de uma revisão das etapas do processo de mapeamento associadas aos requisitos propostos para a produção de dados geoespaciais nas especificações nacionais.

O objetivo do presente trabalho é apresentar uma abordagem sistemática para a especificação da qualidade de base cartográfica elaborada a partir de técnicas fotogramétricas, nos padrões para os dados da INDE. A motivação por se considerar técnicas fotogramétricas na elaboração do produto está no fato de mais de 85% de todos os mapas serem produzidos com o emprego dessas técnicas utilizando fotos aéreas (LI *et al.* 2005). Assim, esse trabalho contribui para o processo de construção de base cartográfica de precisão nos padrões para os dados da INDE, bem como demonstra a importância da integração das diferentes áreas que constituem ciência cartográfica. As seções que seguem estão organizadas da seguinte maneira: a Seção 2 revisa as especificações técnicas em vigor para os dados da INDE; a Seção 3 apresenta os elementos para a especificação da qualidade dos dados geoespaciais; a Seção 4 descreve a abordagem sistemática para elaborar bases cartográficas por técnicas fotogramétricas nas especificações para a INDE; e a Seção 5 discute os resultados do trabalho apresentando a conclusão do estudo e recomendações futuras.

2. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO SCN PARA OS DADOS DA INDE

A Figura 1 apresenta a evolução cronológica das especificações técnicas do Sistema Cartográfico Nacional para os dados da INDE. Até o final dos anos 80, os processos de produção cartográfica no Brasil eram completamente analógicos. Os primeiros esforços na automação desses processos surgiram em meados dos anos 90, com os programas do tipo CAD (Computer Aided Design). No período de 1998 até 2004, a Diretoria de Serviço Geográfico e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realizaram várias reuniões, no intuito de reunir esforços para a obtenção de um padrão único de estruturação de dados geoespaciais vetoriais, que viabilizasse tarefas de interoperabilidade, compartilhamento e padronização dos produtos cartográficos. Tais esforços possibilitaram

que órgãos do sistema cartográfico nacional iniciassem, a partir de 2008, a produção de dados na Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais, denominada de EDGV 2.0, a qual, após aperfeiçoamentos, resultou na versão 2.1.3 em 2010 (CONCAR, 2010).

A Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV) define um modelo conceitual para o desenvolvimento de uma base cartográfica, a partir da modelagem para aplicações geográficas OMT-G (Object Modeling Technique for Geographic Applications). A modelagem OMT-G produz modelos semânticos e orientados a objetos para descrever a estrutura e o inter-relacionamento de dados geoespaciais e baseia-se na modelagem UML (Unified Modeling Language) associada a primitivas geográficas (Borges *et al.* 2005). A UML é uma linguagem de modelagem conceitual para a caracterização da informação geográfica recomendada pela ISO 19103:2005. A ET-EDGV (CONCAR, 2010) substitui o Manual Técnico T34-700 (Parte I) de 1998 (DSG, 1998).

Com a finalidade de apresentar os requisitos para a aquisição do atributo geométrico dos objetos definidos na ET-EDGV (CONCAR, 2010), foi publicada em 2011, a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) (DSG, 2011). Assim, na ET-ADGV, encontram-se as orientações quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) do atributo das feições, as feições que devem ser mapeadas, a organização dos metadados e a construção da geometria das feições. Deve-se ressaltar que, nesta especificação técnica somente são definidos os requisitos para a análise da acurácia posicional absoluta. Uma nova abordagem para controle de qualidade é discutida na Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG) (DSG, 2014), considerando outros elementos da qualidade definidos na ISO 19157:2013.

A ET-PCDG, com sua primeira edição em 2014, define os requisitos para a elaboração de produtos cartográficos gerados a partir de conjuntos de dados vetoriais e (ou) matriciais (DSG, 2014), considerando a estrutura e o conteúdo propostos na ISO 19131:2007. A aplicação de alguns requisitos da ET-PCDG (DSG, 2014), como definição do sistema de

referência, análise da qualidade, aquisição de dados e apresentação do produto, depende de outras referências normativas. Quanto ao sistema de referência planimétrico e altimétrico, por exemplo, segue-se o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), conforme Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional pelo Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) e Decreto nº 5.334 (BRASIL, 2005). Para a aquisição dos dados, seguem-se as recomendações da ET-ADGV (DSG, 2011). Quanto à análise de qualidade dos produtos, segue-se a Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-CQDG), baseada na ISO 19157:2013. A respeito da apresentação do produto, até o presente momento, encontra-se em processo de elaboração, a Especificação para a Representação de Dados Geoespaciais (ET-RDG), cujo objetivo é garantir a consistência na representação das classes de objetos. Esta

especificação virá substituir o Manual Técnico T34-700 – Convenções Cartográficas (Parte II) que, por enquanto, é a norma atual para a apresentação dos dados Geoespaciais (DSG, 2000).

Todo produto cartográfico deve vir acompanhado de seus metadados, isto é, de informações descritivas sobre os dados. Os metadados mostram ao usuário como, quando e por quem foi desenvolvido o produto, facilitando a gestão da informação (CONCAR, 2009). Para uma base cartográfica do tipo carta topográfica, por exemplo, os metadados incluem as características do levantamento, as etapas da produção, a qualidade e a estrutura de armazenamento dos dados. O modelo para os metadados, proposto em 2009, é definido no Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (PerfilMGB) e consiste na adequação do modelo completo previsto na ISO 19115:2003 para o cenário nacional (CONCAR, 2009).



Fig. 1 - Linha cronológica das especificações técnicas do SCN para os dados da INDE.

3. ELEMENTOS PARA A AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE DADOS GEOESPACIAIS

A qualidade de um produto pode ser definida como um objetivo a ser atingido através da gestão do processo de produção (VEREGIN, 1999). O intuito da análise de qualidade é avaliar o desempenho dos processos de produção e verificar a conformidade do produto com a qualidade pretendida. No entanto, mensurar o conceito de qualidade não é uma tarefa simples e, nesse sentido, desenvolveu-se a ideia de elementos para a avaliação da qualidade de dados geoespaciais, isto é, elementos que possibilitem quantificar e qualificar a qualidade de um produto. A ISO 19157:2013 elenca os seguintes elementos para avaliação da qualidade de dados geoespaciais: acurácia posicional ou geométrica, consistência

lógica, completude, acurácia temporal, acurácia temática e usabilidade, de modo que, para cada um desses elementos, definem-se limiares de acordo com a aplicabilidade dos dados.

Para um produto cartográfico estar em conformidade com a INDE, os elementos de qualidade a serem analisados, baseados nas recomendações da ISO 19157:2013, são apresentados na ET-PCDG (DSG, 2014). Enquanto na ET-CQDG são definidos os limiares, ou intervalos de valores, para cada um desses elementos. Na Tabela 1, tem-se os elementos de qualidade descritos na ET-PCDG, aplicáveis (a) ou não (-) aos produtos cartográficos, quais sejam: conjunto de dados geoespaciais vetoriais de referência do mapeamento sistemático do SCN (I), conjunto de dados geoespaciais vetoriais de referência do mapeamento básico cadastral

do SCN (II), cartas gerais do mapeamento sistemático do SCN do tipo carta topográfica (III), cartas gerais subsidiárias e acessórias do SCN do tipo carta ortoimagem (IV), conjunto de dados geoespaciais subsidiários e acessórios do SCN do tipo Modelo Digital de Elevação (V), conjunto de dados geoespaciais subsidiários e acessórios do SCN do tipo ortoimagem (VI), cartas gerais do mapeamento básico cadastral do SCN do tipo carta cadastral (VII), cartas gerais subsidiárias e acessórias do mapeamento básico cadastral do SCN do tipo carta ortoimagem cadastral (VIII).

A análise da acurácia posicional consiste em verificar o grau de concordância entre um valor calculado e um valor de referência. Na ISO 19157:2013, a acurácia posicional é subdividida em acurácia externa ou absoluta e acurácia interna ou relativa, em que a acurácia absoluta inclui os erros randômicos e sistemáticos, e a acurácia relativa é função apenas dos erros randômicos. Baseado nos estudos realizados por Monico (2009), a ET-ADGV (DSG, 2011) sugere, para a análise da acurácia posicional dos produtos cartográficos, apenas a avaliação da acurácia absoluta, denominada de exatidão nesta especificação. Nesse sentido, ao apresentar o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), em que é analisada a exatidão das coordenadas tridimensionais dos produtos cartográficos, a ET-ADGV (DSG, 2011) considera a exatidão planimétrica (horizontal) e altimétrica (vertical). Na Figura 2, tem-se um exemplo de análise da exatidão planimétrica (Figura 2a) e altimétrica (Figura 2b) para produto.

Em termos de exatidão planimétrica (Figura 2a), pode-se afirmar que um produto cartográfico digital está em conformidade com os dados da INDE quando duas condições são satisfeitas. Primeira, 90% dos pontos deve apresentar erro planimétrico igual ou inferior aos valores indicados no PEC-PCD planimétrico. O erro planimétrico é calculado a partir das discrepâncias entre as coordenadas (X e Y) medidas no produto e as coordenadas de referências medidas em campo com técnica que apresenta acurácia superior à pretendida para o produto final. Segunda condição, o REQM (Raiz do Erro Quadrático Médio), calculado a partir das discrepâncias, é igual ou inferior ao

EP (Erro Padrão) planimétrico máximo sugerido na ET-ADGV (DSG, 2011).

Quanto à análise da exatidão altimétrica (Figura 2b), esta é composta por duas avaliações: (1) avaliação da altimetria dos pontos cotados e do Modelo Digital de Terreno (MDT); e (2) avaliação da altimetria dos produtos cartográficos efetivamente, isto é, avaliação da exatidão das curvas de nível do produto. Na primeira avaliação, a exigência de exatidão é maior se comparado ao PEC-PCD altimétrico para as curvas de nível, pois são dados usados na produção das curvas de nível, portanto, deve-se considerar a propagação de erros. Em ambas as avaliações, é recomendado que 90% dos pontos apresentem erro altimétrico igual ou inferior aos valores indicados no PEC-PCD altimétrico e que a REMQ altimétrico seja menor ou igual ao EP descrito na ET-ADGV (DSG, 2011). Erro altimétrico é a discrepância entre a componente Z calculada e a de referência.

A partir da análise da exatidão planimétrica e (ou) altimétrica, classifica-se um produto em quatro classes distintas: A, B, C e D. As classes A e D representam, respectivamente, as classes de maior e de menor acurácia posicional absoluta. Ao se considerar a classe A, os valores do PEC-PCD e do EP planimétricos são calculados multiplicando-se o denominador da escala do produto por 0,28 milímetros (mm) e 0,17 mm, respectivamente. Para a análise do MDT e pontos cotados, multiplica-se o denominador da escala do produto por 0,27 mm e 0,17 mm no cálculo do PEC-PCD e EP, respectivamente (classe A). Nesse contexto, para a análise das curvas de nível, multiplica-se o denominador da escala por 0,50 mm e 0,33 mm para calcular o PEC-PCD e EP. Para a análise de produtos impressos, consideram-se os valores do PEC, previstos no Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984).

A análise da completude, segundo a ISO 19157:2013, consiste em verificar a presença e a ausência de informações no conjunto de dados. Assim, constata-se o excesso ou a omissão de feições em relação a especificação do conjunto de feições. Estes sub elementos da completude podem ser quantificados em porcentagem como proposto na ET-CQDG. Os atributos para a análise de completude variam de acordo com o tipo de produto cartográfico. Segundo a ET-PCDG (DSG, 2014), para os

produtos do tipo I, II, III e VI (Tabela 1), a análise de completude consiste em verificar a omissão das instâncias de classes de objetos, de toponímias recomendadas na ET-EDGV (CONCAR, 2010), dos valores dos atributos das instâncias, de metadados obrigatórios do produto e dos valores dos atributos dos metadados. Para os produtos do tipo IV, VI e VIII, verifica-se a quantidade de oclusões em decorrência de nuvens e sombras, assim como

a omissão de feições de uma dada categoria, de metadados e seus atributos. Com relação ao produto V, recomenda-se a análise da resolução radiométrica e espacial para a verificação do atendimento aos limites definidos. A Figura 3 ilustra, em (a), a especificação do conjunto, em (b) casos de omissão e casos de comissão em (c). Mais informações para avaliação de produtos quanto ao elemento completude encontram-se na ET-CQDG.

Tabela 1: Elementos para avaliação de qualidade aplicáveis aos produtos cartográficos da INDE

Elementos	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Acurácia Posicional	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Completude	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Consistência Lógica	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Acurácia Temática	✓	✓	✓	✓	-	-	✓	✓

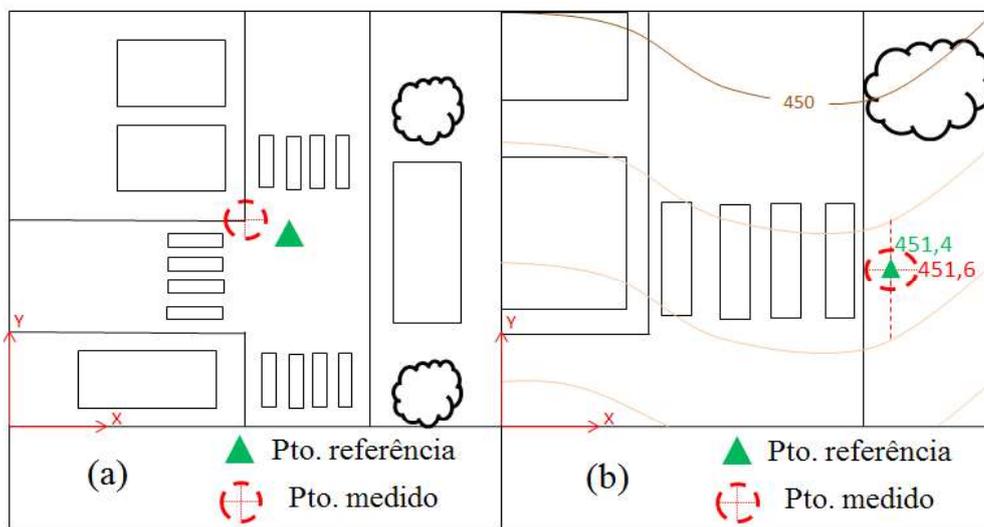


Fig. 2 - Erro de exatidão planimétrica (a) e altimétrica (b) em um ponto de um produto cartográfico. Em (a), diferença entre coordenadas (X, Y) calculadas e coordenadas de referência. Em (b), diferença entre a coordenada Z calculada, a partir da interpolação entre as curvas de nível 451 e 452, e a coordenada Z de referência (medida em campo).

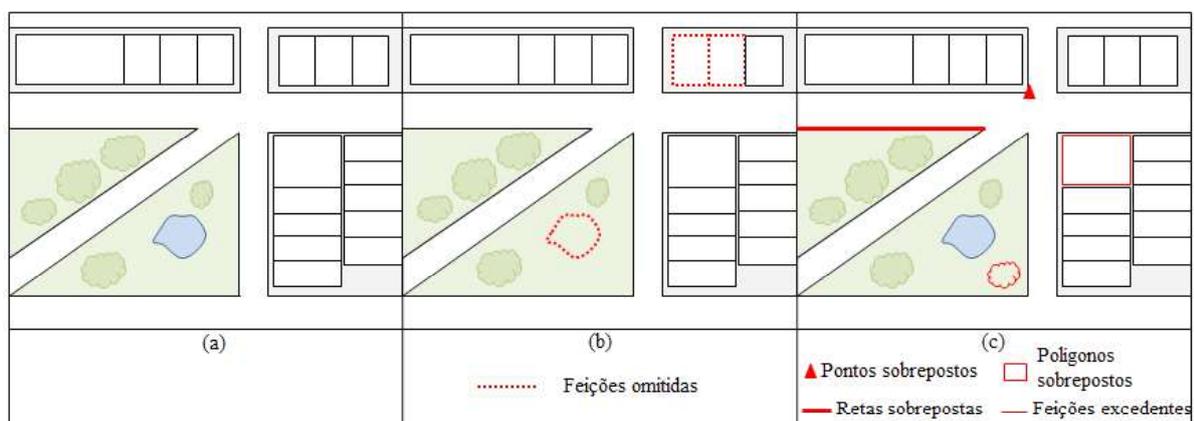


Fig. 3 - Casos de omissão (b) e comissão (c) em relação à especificação do conjunto (a).

A consistência lógica representa a concordância dos dados com sua estrutura, atribuições e relações lógicas, sendo subdividida em consistência de conceito, de formato, de topologia e de domínio (ISO 19157:2013). Esse elemento de qualidade é diretamente correlacionado com a acurácia posicional. Assim, uma análise da consistência lógica pode evitar, por exemplo, que erros de topologia sejam interpretados apenas como erros posicionais, identificando, também, as falhas na estrutura e na relação dos dados (CHRISMAN, 1991). O conjunto de dados geoespaciais vetoriais de referência do mapeamento sistemático e do mapeamento básico cadastral do SCN, produtos do tipo I e II na Tabela 1, podem ser analisados quanto à consistência lógica considerando a consistência das classes de objetos, dos domínios alfanuméricos dos atributos das classes de objetos, do domínio do atributo geometria das instâncias das classes de objetos, de acordo com o modelo conceitual previsto na ET-EDGV (CONCAR, 2010), e da geometria dos dados vetoriais definidos na ET-ADGV (DSG, 2011). Ademais se recomenda a análise da consistência topológica e de formato. Para produtos do tipo III, IV, VII e VIII (Tabela 1), devem ser verificadas, segundo a ET-PCDG (DSG, 2014), as consistências de domínio, do arquivo e da Folha Modelo, isto é, leiaute descritos na ET-PCDG (DSG, 2014). Para os produtos V e VI, verifica-se apenas a consistência do formato do arquivo. A Figura 4 apresenta exemplos de inconsistência lógica quanto à topologia, os quais incluem descontinuidade, como linhas desconexas e nós desunidos (a), cruzamentos ou linhas estendidas (b), geometrias inválidas (c) e sobreposição de feições (d). As relações topológicas entre pontos, linhas e polígonos são exemplificadas na ET-ADGV (DSG, 2011).

A análise da acurácia temática verifica o grau de exatidão dos atributos quantitativos, a correção dos atributos não quantitativos e a classificação das feições e seus relacionamentos (ISO 19157: 2013). Para afirmar que um produto atende aos requisitos de acurácia temática para os dados da INDE, é necessário avaliar a acurácia na interpretação das feições, a acurácia na interpretação e preenchimento dos atributos das feições, a acurácia na interpretação e preenchimento dos metadados, assim como a

correção das informações de toponímias quando existentes. A acurácia temática não se aplica aos produtos cartográficos do tipo V e VI (Tabela 1). A Figura 5 exemplifica um erro de acurácia temática em que há a classificação correta dos atributos (Figura 5a), porém a classificação errônea das vias não pavimentada interpretada como rios (Figura 5b).

4. ABORDAGEM SISTEMÁTICA PARA A PRODUÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA POR TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS

A abordagem de produção de base cartográfica por técnicas fotogramétricas, seguindo as especificações de dados para a INDE, foi dividida em duas grandes etapas: projeto cartográfico (Seção 4.1) e produção cartográfica (Seção 4.2). Cada uma dessas etapas se subdivide em fases e em todas essas fases devem ser inspecionados fatores que influenciam a qualidade do produto. Na Figura 6, tem-se um fluxograma escrito em Business Process Modeling Notation (OMG, 2014) que descreve essa abordagem sistemática.

Nas próximas seções, serão descritas cada uma dessas etapas e suas fases correspondentes e os requisitos para a especificação da qualidade nestas fases. Com isso, exemplifica-se a análise de qualidade na produção dos dados e verifica-se a aplicabilidade dos elementos de qualidade tratados na Seção 3.

4.1 Projeto Cartográfico

O projeto de mapas é o conjunto de todo o processo que condiciona para soluções na fase da abstração cartográfica. O projeto mais adequado é aquele que propõe a solução mais eficiente e eficaz com o intuito de organizar funcionalmente os elementos no mapa (DENT *et al.* 2009). O projeto cartográfico tem sido concebido em duas grandes fases: projeto de composição geral e projeto gráfico (Figura 6). Na primeira, especificam-se as variáveis interdependentes do projeto em função do propósito do produto visando atender a demanda usuário. Tais variáveis consistem na seleção da área geográfica, definição do formato de apresentação, seleção e organização das informações, definição da escala do produto e escolha do sistema de referência e de projeção. Na segunda fase, definem-se a representação gráfica e o leiaute do produto (KEATES, 1989; DECANINI & IMAI, 2000; MARQUES *et al.* 2012).

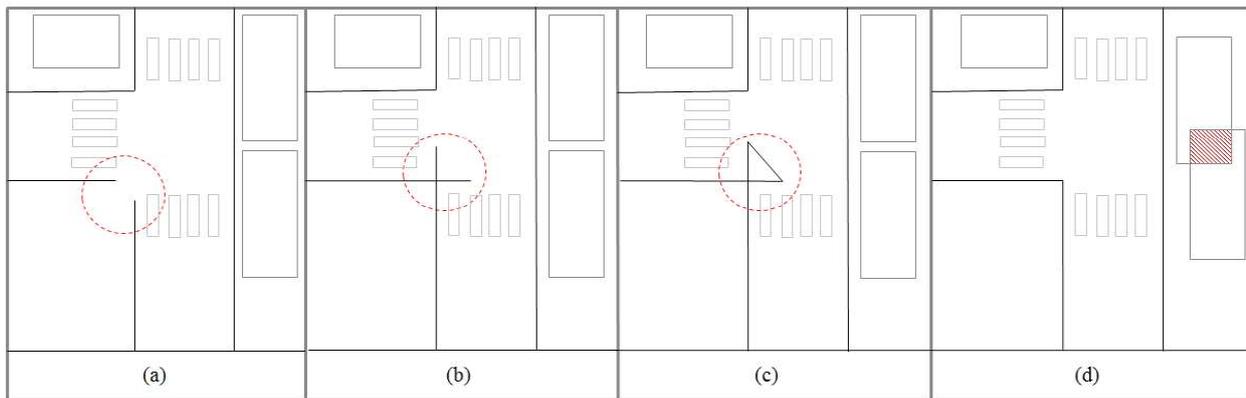


Fig. 4 - Erros topológicos do tipo (a) descontinuidade, (b) cruzamentos, (c) geometrias inválidas e (d) sobreposição de feições.

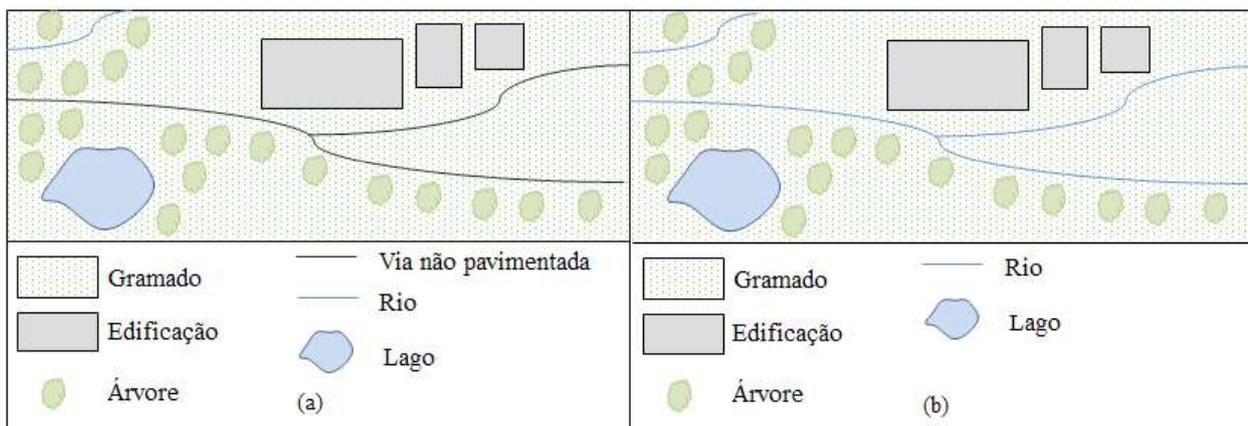


Fig. 5 - Erro de acurácia temática em termos de classificação das feições. Em (a) classificação correta dos atributos e, em (b), a classificação incorreta de feições.

No contexto da especificação da qualidade, as variáveis interdependentes, que constituem o projeto de composição geral, representam a primeira consideração sobre os requisitos da qualidade de um produto cartográfico (Requisitos da qualidade 1 - Figura 6). Portanto, ao definir cada uma dessas variáveis, devem-se observar os elementos da qualidade que são aplicáveis ao produto cartográfico final, tais como acurácia posicional, completude, consistência lógica e (ou) acurácia temática, para garantir a qualidade na produção dos dados, bem como a qualidade do produto cartográfico final (Figura 6).

4.1.1 Projeto de composição geral

Um produto cartográfico é classificado em função da natureza da representação. O IBGE (1998) classifica cartas e mapas em propósito geral, temático ou especial. Para os produtos cartográficos de propósito geral,

tem-se a subdivisão em produto cadastral (escala até 1:25.000), topográfico (escala de 1:25.000 até 1:250.000) e geográfico (escala menor que 1:250.000). O propósito de um produto pode ser compreendido por meio da seguinte pergunta: ‘Qual a demanda do usuário ao interagir com o mapa?’. A ET-PCDG (DSG, 2014), por exemplo, estabelece que o propósito de um produto cartográfico do tipo III (Tabela 1) é o de representar as posições planimétricas e altimétricas dos acidentes naturais e artificiais da superfície terrestre.

No processo de abstração cartográfica, uma das variáveis interdependentes de maior influência no processo de comunicação da informação ao usuário é a definição da escala do mapa (DENT *et al.* 2009; SLOCUM *et al.* 2009). Isto porque a escala determina a seleção, a generalização e a representação das feições (DENT *et al.* 2009).

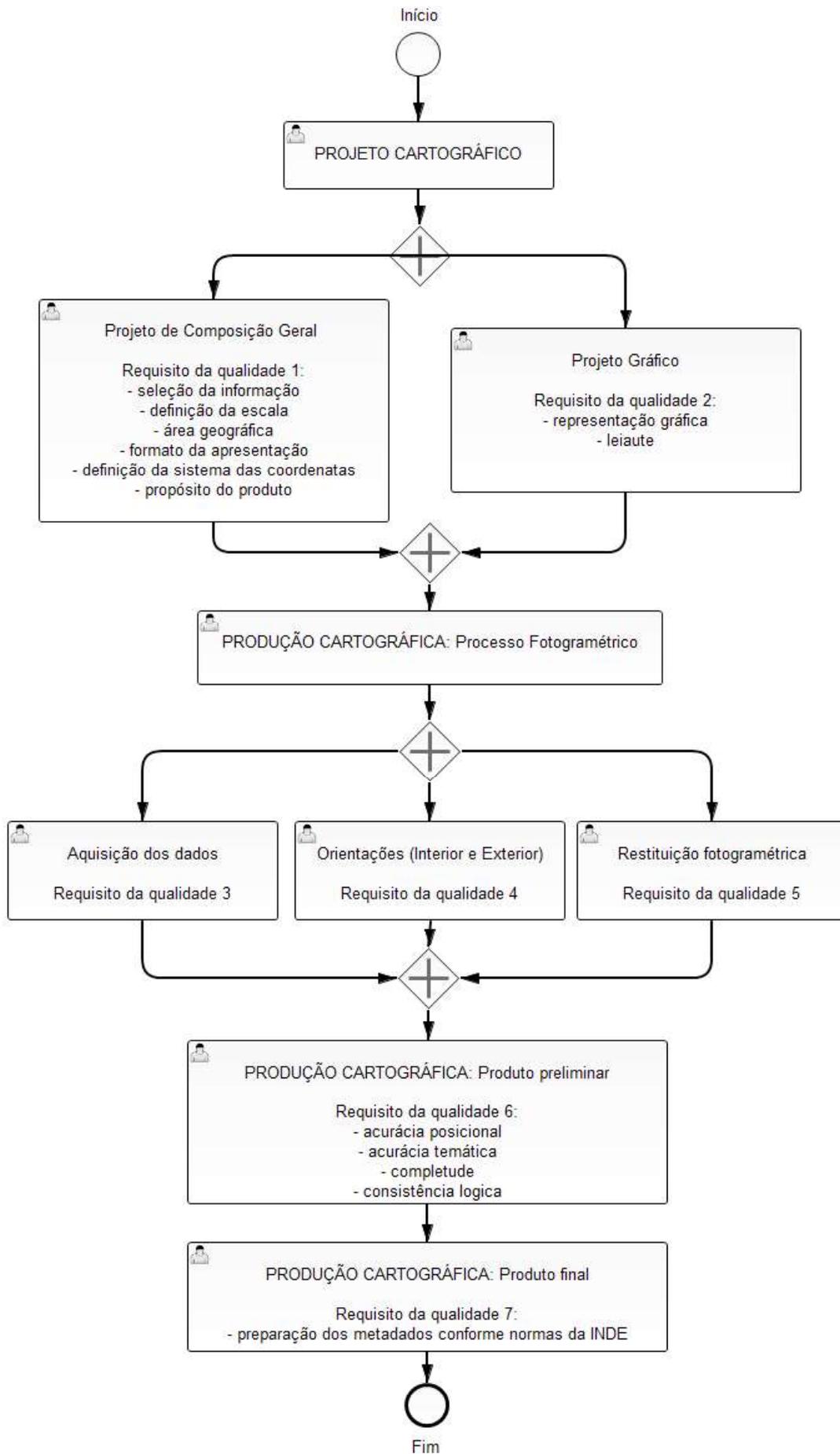


Fig. 6 - Processo de produção de base cartográfica por técnicas fotogramétricas com especificação dos requisitos da qualidade.

Dentre os fatores que controlam a definição da escala, destaca-se o propósito do mapa, o formato da mídia de apresentação e a seleção da informação (SSC, 2005; DENT *et al.* 2009). Assim, pode-se afirmar que a escala apropriada para um produto será a que representar com legibilidade, na mídia selecionada, as informações relevantes para atender a demanda do usuário. Cabe ressaltar, ainda, que a definição da escala influencia na determinação dos requisitos para a análise dos elementos da qualidade, como acurácia posicional, completude e acurácia temática, uma vez que a escala é considerada no cálculo do PEC-PCDG (DSG, 2014), na generalização e representação das feições mapeadas.

A ET-ADGV (DSG, 2011) apresenta a especificação do conjunto das feições que devem ser adquiridas por escala de representação. Segundo o Decreto-Lei nº 243 (BRASIL, 1967), a Cartografia Sistemática Terrestre Básica, na finalidade de representar o território nacional em séries de cartas articuladas, viabilizou o mapeamento do Brasil nas seguintes escalas-padrão: 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. A série Carta do Brasil, com um total de 46 folhas em 1:1.000.000, de 1972, no formato 4° x 6°, é um exemplo desse mapeamento sistemático, o qual compõe a coletânea de Cartas Internacionais do Mundo ao Milionésimo (CIM). Mapeamentos em escalas maiores (ex.: 1:10.000 a 1:2.000) são nomeados de cadastrais (MENEZES & FERNANDES, 2013). Nesse sentido, a ET-ADGV (DSG, 2011), ao apresentar a especificação do conjunto de feições em função da escala do produto, auxilia na ‘seleção das informações’; outra variável interdependente do projeto de composição geral. Esta variável representa um requisito para a análise de completude do produto, pois determina o conjunto de feições que o mapa deve conter para que não haja problemas de comissão ou de omissão relação à sua especificação.

Após a seleção das informações, inicia-se a fase de organização destas, a qual corresponde à criação de classes e subclasses de informação, estabelecendo-se a dimensão espacial das feições (ponto, linha ou polígono) e o nível de medida (nominal, quantitativo ou ordinal) entre as feições em cada classe. A ET-ADGV (DSG,

2011), em seu anexo C, dispõe dos construtores de geometria de objetos para cada classe de feição a ser mapeada. As decisões na fase de seleção e organização das feições representam um requisito para a análise do elemento da qualidade ‘consistência lógica’, pois estabelece a concordância dos dados (criação das classes) com sua estrutura de representação (dimensão espacial das feições). Deve-se ressaltar que, juntamente com a fase de seleção e organização das informações, pode-se realizar a modelagem dos dados. Um modelo de dados consiste em um conjunto de conceitos usados para descrever a estrutura e as operações em banco de dados (ELMASRI & NAVATHE, 2011). A finalidade de um modelo de dados é representar, em um sistema informatizado, as relações que envolvem feições e fenômenos no mundo real, de modo a se obter uma forma de representação adequada ao propósito da aplicação de um banco de dados. Na modelagem conceitual dos dados geoespaciais, representam-se as ocorrências (ou as instâncias) por classes de objetos de mesma natureza e funcionalidade, e tais classes são agrupadas em categorias de informação, cuja premissa básica para este agrupamento é o aspecto funcional comum. A ET-EDGV (CONCAR, 2010) recomenda a realização da modelagem dos dados baseada na abordagem OMT-G. O formato da mídia de apresentação e o sistema de coordenadas, sendo este subdividido em sistema de referência e sistema de projeção, consistem em outras duas variáveis interdependentes do projeto de composição geral (Figura 6). A escolha do formato de apresentação é dependente do meio de distribuição do produto, se em formato analógico (papel) ou digital, bem como ao tamanho da mídia (folha de papel A1, A4, tela de 15 polegadas, de sete polegadas, etc.). Quanto ao sistema de referência, em todos os tipos de produtos cartográficos apresentados na ET-PCDG (Tabela 1), a recomendação para sistema de referência planimétrico é o SIRGAS 2000, época 2000,4; enquanto, para sistema de referência altimétrico, a recomendação é o Datum de Imbituba – Santa Catarina, exceto no Estado do Amapá que é o Datum de Santana. Quanto ao sistema de projeção, o previsto na ET-PCDG (DSG, 2014) é o sistema UTM (Universal Transverso de Mercator) para produtos do tipo

I, III, IV, V e VI (Tabela 1), o LTM (Local Transverso de Mercator), RTM (Regional Transverso de Mercator) ou aquele definido pelo Sistema Cartográfico Municipal (SCM) para produtos do tipo II (Tabela 1) e, para produtos do tipo VII e VIII (Tabela 1), aquele definido pelo SCM desde que coerentes com o SCN.

4.1.2 Projeto gráfico

O projeto gráfico constitui a segunda etapa do projeto cartográfico (Figura 6). Dent *et al.* (2009) afirmam que a eficiência e a eficácia de um projeto gráfico são dependentes da capacidade de organização que se impõe aos elementos do mapa para atender a demanda do usuário. O projeto gráfico se subdivide nas fases de representação gráfica e definição do leiaute (DECANINI & IMAI, 2000; MARQUES *et al.* 2012). Na representação gráfica, decide-se sobre a simbologia das feições e a tipografia a ser empregada, incluindo-se informações de toponímia e informações marginais (ex.: texto da legenda, metadados, etc.). Na fase de construção do leiaute, decide-se sobre a disposição dos elementos gráficos do produto, como legenda, título, escala, metadados, dentre outros. O leiaute constitui a aparência, o balanceamento e o bom uso do espaço disponível na mídia selecionada para a apresentação do produto (DENT *et al.* 2009). A ET-PCDG (DSG, 2014), em seu ANEXO B, dispõe de alguns modelos de leiaute para produtos cartográficos sendo denominado de ‘folha modelo’.

As decisões quanto à simbologia das feições se constituem da definição das variáveis visuais (ex.: forma, tamanho, orientação, cor, granulação, valor), da forma dos símbolos (pictórica, geométrica ou alfanumérica) e da dimensão dos elementos (pontuais e lineares). O manual técnico T34-700 (Parte II) (DSG, 2000), apresenta especificações para o emprego de símbolos convencionais em produtos nas escalas de 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, bem como os tipos e tamanhos de letras a serem usadas na nomenclatura desses produtos. A representação gráfica é uma fase do projeto que influencia na determinação do requisito para a análise da ‘acurácia temática’ do produto, visto que está relacionada com a simbologia das feições e seus atributos.

4.2 Produção cartográfica

Quando realizada por técnicas fotogramétricas, a etapa de produção cartográfica pode ser subdividida em três fases: processo fotogramétrico, produção preliminar e elaboração do produto final. Para a produção de um produto eficiente e eficaz, essas três fases, juntamente com a etapa de projeto cartográfico, devem ser interligadas por um processo de retroalimentação, pois este viabiliza refinamentos ou até mesmo reformulações ao produto favorecendo a comunicação da informação (DENT *et al.* 2009; SLOCUM *et al.* 2009). A fase de produção preliminar viabiliza a verificação do produto com base nos elementos para avaliação da qualidade descritos na Seção 3. A elaboração do produto final só se inicia após o cumprimento das fases anteriores e compreende a organização dos metadados, conforme discutido nas Seções 2 e 3. Quanto à fase de processo fotogramétrico, este se constitui de uma sequência de operações necessárias para a elaboração de uma base cartográfica, as quais, no contexto da especificação da qualidade, podem ser agrupadas nas seguintes classes: aquisição dos dados; orientação interior; orientação exterior, restituição fotogramétrica e geração do MDT. Nas seções que seguem, são descritas cada uma dessas classes de operações e seus respectivos requisitos de qualidade exemplificados.

4.2.1 Aquisição dos dados

A aquisição dos dados em Fotogrametria consiste na obtenção de informações geométricas, físicas, radiométricas, semânticas ou temporais sobre as propriedades da superfície ou do objeto, por meio do uso de imagens e medidas de pontos de controle e de verificação (THOMPSON & GRUNER, 1980). Tanto a qualidade das imagens quanto a dos pontos de controle e de verificação influenciam diretamente na qualidade de um produto cartográfico (SATO, 2003; CAMPOS, 2015). Apesar de a aquisição dos dados ser projetada segundo as recomendações da ET-ADGV, esta não apresenta limites para as distintas metodologias para o processo de produção cartográfica. As especificações da ASPRS (2015) são sugeridas para a definição dos limites, por se tratar da produção cartográfica com processos fotogramétricos.

Um dos elementos mais utilizados para a análise da qualidade das imagens em Fotogrametria é o GSD (Ground Sample Distance). O GSD corresponde à projeção do tamanho do pixel no terreno de acordo com a escala da imagem (MIKHAIL *et al.* 2001) e influencia diretamente na acurácia posicional do produto. A resolução de uma imagem não depende exclusivamente da geometria do sensor, mas de fatores internos da câmara e de fatores externos; GSD não é sinônimo de resolução das imagens (MIKHAIL *et al.* 2001). Outros elementos que influenciam na qualidade das imagens devem ser considerados, tais como condições climáticas, distância principal fixa, abertura, tempo de exposição, iluminação, estereoscopia, sensibilidade do sensor, dentre outros. Condições climáticas desfavoráveis, como oclusões devido à presença de nuvens, podem, por exemplo, provocar erros quanto à completude do produto. Recomendações sobre a dimensão do GSD de acordo com o propósito do produto cartográfico são apresentadas na especificação técnica sobre Padrões de Acurácia Posicional para Dados Geoespaciais Digitais (Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data), publicada em 2015 (ASPRS, 2015). Neste trabalho, outros requisitos propostos na ASPRS (2015) também são adotados para a avaliação dos processos fotogramétricos, os quais serão apresentados ao longo desta seção.

No intuito de georreferenciar as imagens em um sistema de referência e avaliar a qualidade do georreferenciamento, faz-se a mensuração dos pontos de controle e verificação, a qual ocorre por levantamentos geodésicos. Segundo a ASPRS (2015), a acurácia posicional dos pontos de controle é determinada por meio de duas categorias. A primeira trata do produto cartográfico planimétrico, devendo a REQM atender à Equação (1). A segunda categoria trata do produto cartográfico altimétrico ou planialtimétrico, como descrito na Equação (2), sendo REQMZ(MDT) resultante do MDT. Em que: REQMX, REQMY e REQMZ referem-se, respectivamente, ao REQM das componentes X, Y e Z dos pontos de controle e de verificação; REQMX(M) e REQMY(M) se referem ao REQM máximo esperado

em X e Y no produto cartográfico advindo do PEC-PCD. De acordo com as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional (BRASIL, 2005), a integração do mapeamento cartográfico à INDE requer que os dados estejam referenciados ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Com o intuito de proporcionar diretrizes para que a aquisição de dados espaciais em território nacional esteja vinculada ao SGB, o IBGE elabora normas e especificações para os levantamentos geodésicos. Nas Especificações e Normas Gerais para a Execução de Levantamentos Geodésicos (IBGE, 1983), por exemplo, apresentam-se orientações a para realização de levantamentos geodésicos por métodos clássicos de levantamento (triangulação, trilateração e poligonação) e por posicionamento por rastreamento de satélites segundo o efeito Doppler. Em razão da modernização dos sistemas de posicionamento por satélites, o IBGE, em complemento à Resolução de 1983, desenvolveu as Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS (IBGE, 2008). Nestas recomendações, encontram-se instruções sobre os procedimentos que devem ser realizados para atingir uma determinada acurácia posicional ao se realizar o posicionamento GNSS (Global Navigation Satellite System - Sistema de Navegação Global por Satélite) no modo relativo estático. Porém, as coordenadas devem ser referenciadas, exclusivamente, ao SIRGAS 2000, na época 2000,4 (IBGE, 2015).

Para atingir a acurácia posicional esperada nos pontos de controle e verificação, duas principais considerações devem ser analisadas no caso do posicionamento relativo estático: o comprimento da linha de base e o tempo de rastreamento das observações GNSS (ECKL *et al.* 2001). O IBGE (2008) apresenta uma tabela (Tabela 2) como forma de orientação sobre qual a precisão esperada em função do tempo de rastreamento e comprimento da linha de base. Para linhas de base acima de 20 quilômetros (km), o recomendado é o uso de receptores que rastreiam as portadoras L1 e L2 do GNSS para mitigar os efeitos ionosféricos pela combinação linear ionfree (MONICO, 2008).

$$REQM_X \leq \frac{1}{4} REQM_{X(M)}; REQM_Y \leq 1/4 REQM_{Y(M)}; REQM_Z \leq 1/2 REQM_{X(M) \text{ ou } Y(M)} \quad (1)$$

$$REQM_X \leq \frac{1}{4} REQM_{X(M)}; REQM_Y \leq \frac{1}{4} REQM_{Y(M)}; REQM_Z \leq 1/4 REQM_{Z(MDT)} \quad (2)$$

Tabela 2: Precisão esperada do posicionamento relativo estático em função do tempo de observação e comprimento da linha de base, em que ppm representa partes por milhão. Fonte: IBGE, 2008.

Comprimento da linha de base	Tempo de observação	Precisão esperada
00-05 km	05-10 min	5-10 mm + 1 ppm
05-10 km	10-15 min	5-10 mm + 1 ppm
10-20 km	10-30 min	5-10 mm + 1 ppm
20-50 km	02-03 h	5 mm + 1 ppm
50-100 km	mínimo 3 h	5 mm + 1 ppm
> 100 km	mínimo 4 h	5 mm + 1 ppm

Fontes de erros nas observáveis GNSS, como o multicaminho, obstruções dos sinais e efeitos atmosféricos, podem afetar as estações do posicionamento relativo de maneiras distintas (DAL POZ & CAMARGO, 2006; SOUZA *et al.* 2009), dificultando o estabelecimento de um tempo ideal para que haja a solução das posições e ambiguidades. Desta forma, a precisão apresentada na Tabela 1 deve ser considerada aproximada e cuidados quanto ao planejamento do levantamento devem ser tomados, como evitando obstruções próximas aos pontos levantados (IBGE, 2008).

Após processamento dos dados no posicionamento relativo estático, obtém-se a posição dos pontos e sua qualidade, notadamente associada com a Matriz Variância-Covariância (MVC) das coordenadas. Uma prática usual é utilizar a precisão obtida no processamento dos pontos de controle e verificação como o REQM na avaliação da acurácia posicional (Equações 1 e 2). Contudo, o modelo estocástico utilizado pelos softwares pode não expressar adequadamente as características probabilísticas do processo de estimação, de forma que a precisão obtida pelo posicionamento GNSS pode não manifestar a acurácia absoluta dos pontos (TEUNISSEN, 1998). Portanto, uma análise quanto à qualidade do posicionamento GNSS é indispensável. Dentre algumas maneiras de analisar a qualidade do posicionamento GNSS, destaca-se a avaliação quanto à validação do vetor das ambiguidades a partir do teste ratio

(TEUNISSEN & VERHAGEN, 2009), bem como a partir de um teste Qui-Quadrado para verificar se os resíduos do processamento atendem a uma distribuição normal (TEUNISSEN, 1998).

A estimativa das coordenadas pelo posicionamento GNSS implica na obtenção da altitude geométrica. Entretanto, a superfície de referência altimétrica adotada pelo SGB coincide com a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que contém o nível médio do mar definido pelas observações maregráficas obtidas na baía de Imbituba (Santa Catarina), exceto para o estado do Amapá, que utiliza observações do marégrafo de Santana. Sendo assim, a conversão da altitude geométrica para a altitude vinculada ao referencial altimétrico do SGB pode ser realizada a partir do cálculo da ondulação geoidal no ponto de interesse, exigindo considerar uma propagação de variâncias. Neste sentido, o IBGE (2008) orienta aos usuários do SGB a utilizarem o MAPGEO2004, podendo ser substituído pelo atual MAPGEO2015, que apresenta discrepância média de 0,17 m em relação à Rede Altimétrica Brasileira (IBGE, 2015). Porém, em função da aplicação do produto cartográfico, esta acurácia pode não ser adequada. Uma melhor estimativa das altitudes pode ser obtida a partir do nivelamento geométrico acompanhado de determinações gravimétricas (GEMAEL, 2002), utilizando a técnica de GNSS/nivelamento (FEATHERSTONE *et al.* 1998) ou até mesmo a partir do conceito de modelos geoidais híbridos (KUROISHI *et al.* 2002).

4.2.2 Orientação Interior

Obter informações confiáveis das propriedades da superfície terrestre por Fotogrametria depende da correção dos erros sistemáticos das medidas no espaço imagem, e isso exige o conhecimento dos Parâmetros de Orientação Interior (POI) da câmara utilizada na aquisição das imagens. Os POI são estimados no processo de calibração, o que permite reconstruir o feixe de raios formador da imagem (FRYER, 1996; ANDRADE, 1998). O conjunto de parâmetros mais adotados consiste em: distância principal (c), coordenadas do ponto principal (x_0, y_0), parâmetros da distorção radial simétrica (K_1, K_2, K_3) e descentrada (P_1, P_2) (BROWN, 1971); e parâmetros de afinidade (A, B) (HABIB & MORGAN, 2003).

Para a calibração de câmaras diversos métodos foram desenvolvidos, como por exemplo, o método dos campos mistos (ANDRADE & OLIVAS, 1981), autocalibração (EBNER, 1976; BROWN, 1989; FRYER, 1996), câmaras convergentes, métodos de campo Tridimensional e Bidimensional, Método de Tsai (TSAI, 1987), método de Zhang (ZHANG, 2000), dentre outros. Assim, é importante analisar o método de calibração que melhor se adapta às necessidades do projeto. Os métodos de campo Tridimensional e Bidimensional são os mais utilizados atualmente, e exigem a coleta de imagens em diferentes posições e com diferentes ângulos de rotação, de modo a reduzir a correlação entre os POI. Na calibração, devem ser analisados os resíduos nas coordenadas-imagem, de modo que não apresentem magnitude maior que 1 pixel.

Apesar da acurácia dos POI influenciar diretamente nos produtos fotogramétricos, como na restituição de uma carta topográfica e na produção de um MDT (GALO *et al.* 2008), pouco se discute nas especificações sobre a precisão dos POI e a significância dos parâmetros. A significância de cada parâmetro pode ser avaliada considerando se a magnitude do parâmetro é inferior a seu desvio-padrão (CHANDLER *et al.* 2005) e se o efeito do parâmetro é inferior ao erro de medida, variando de acordo com a câmara e as condições de calibração. Mais detalhes sobre a avaliação da precisão e da significância dos

parâmetros podem ser obtidos, respectivamente, em Weng *et al.* (1992) e Galo *et al.* (2008).

4.2.3 Orientação Exterior

A orientação exterior consiste em posicionar e orientar o feixe de raios que deu origem à imagem (MIKHAIL *et al.* 2001) o qual foi reconstruído no processo de orientação interior (GALO, 1993). Nesse processo, estimam-se seis parâmetros de orientação exterior para cada imagem: três translações (X_0, Y_0, Z_0) e três rotações (ω, ϕ, κ). A orientação exterior pode ser realizada de forma direta, indireta ou integrada. A orientação exterior de um conjunto de imagens aéreas é denominada aerotriangulação.

O controle da aerotriangulação é realizado a partir das coordenadas de pontos de verificação, as quais devem apresentar acurácia similar às coordenadas dos pontos de apoio, como apresentado na Seção 4.2.1. De acordo com a ASPRS (2015), a análise da acurácia da aerotriangulação pode ser realizada usando um dos seguintes métodos: (1) comparar as coordenadas dos pontos de verificação estimadas na aerotriangulação com as coordenadas, determinadas com maior acurácia, em geral, por levantamento geodésico; (2) comparar os valores das coordenadas dos pontos de verificação lidos a partir da imagem usando técnicas estereofotogramétricas ou outra apropriada com as coordenadas levantadas em campo. Com essas discrepâncias, a REQM nas componentes X, Y e Z é estimada. Avalia-se a acurácia da aerotriangulação quando se pretende gerar um produto cartográfico tanto do tipo planimétrico (Equação 3) quanto do tipo altimétrico ou planialtimétricos (Equação 4). Em que: $REQM_{X(AT)}$, $REQM_{Y(AT)}$ e $REQM_{Z(AT)}$ representam o REQM na aerotriangulação para as componentes X, Y e Z, respectivamente; $REQM_{X(M)}$ e $REQM_{Y(M)}$ se referem ao REQM em X e Y do produto cartográfico, respectivamente. $REQM_{Z(M)}$ e $REQM_{Z(MDT)}$ são o REQM na componente altimétrica (Z) do produto cartográfico ou do MDT, respectivamente.

$$\begin{aligned} REQM_{X(AT)} &\leq 0,5 REQM_{X(M)}; \\ REQM_{Y(AT)} &\leq 0,5 REQM_{Y(M)}; \\ REQM_{Z(AT)} &\leq REQM_{X(M)} \text{ ou } Y(M) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{REQM}_{X(AT)} &\leq 0,5 \text{REQM}_{X(M)}; \\ \text{REQM}_{Y(AT)} &\leq 0,5 \text{REQM}_{Y(M)}; \\ \text{REQM}_{Z(AT)} &\leq 0,5 \text{REQM}_{Z(M)} \text{ ou } Z(\text{MDT}) \end{aligned} \quad (4)$$

4.2.4 Restituição fotogramétrica e Modelos Digitais de Terreno

Um dos grandes desafios da Cartografia é representar o mundo, um espaço tridimensional (3D), em um plano - espaço bidimensional (2D), pelo emprego das primitivas geométricas ponto, linha e polígono. A restituição fotogramétrica consiste em reproduzir, em uma superfície 2D, o espaço 3D a partir de recursos dos sistemas de geometria descritiva e projetiva. Portanto, é nessa etapa do processo fotogramétrico que as feições de interesse registradas nas imagens são extraídas e convertidas para dados vetoriais.

A restituição fotogramétrica, em geral, é um processo manual. Assim, os principais fatores que afetam a qualidade deste processo são a habilidade do operador na restituição das feições, o que influencia principalmente na acurácia posicional e na consistência lógica do produto, e a aplicação adequada do projeto cartográfico. Segundo o DSG (2011), é fundamental que ao extrair os dados vetoriais a partir das imagens, o operador tenha a sua disposição para consulta o projeto cartográfico, sendo este definido conforme as especificações técnicas do SCN para os dados da INDE (Seção 4.1). A variável interdependente 'seleção das informações' (Seção 4.1.1), por exemplo, informa ao operador quais as feições que devem ser restituídas, o que influencia na completude do produto cartográfico. A 'organização da informação', também definida na Seção 4.1.1, traz o relacionamento entre as feições e a classificação e representação das mesmas, o que está associado, respectivamente, a consistência lógica e a acurácia temática do produto. Portanto, a compreensão equivocada do projeto cartográfico pelo restituidor pode acarretar em erros quanto à completude, acurácia temática e consistência lógica do produto cartográfico.

As feições planimétricas de uma base cartográfica são obtidas na restituição fotogramétrica, enquanto, as curvas de nível podem ser obtidas manualmente a partir da restituição fotogramétrica ou automaticamente a partir do MDT (LI *et al.* 2005), o qual é gerado a

partir de pontos amostrados da superfície terrestre. As coordenadas desses pontos são estimadas automaticamente nos softwares fotogramétricos aplicando-se técnicas de correspondência entre as imagens. Nesse caso, são gerados, além de pontos pertencentes ao terreno, pontos em objetos sobre a superfície terrestre, como edificações e vegetação, o que daria origem ao MDS (Modelo Digital de Superfície). Esses pontos acima da superfície devem ser removidos ou deslocados para o terreno, de modo a gerar o MDT. A partir da amostra de dados coletados, é possível representar uma dada superfície, estruturando os dados em grades regulares utilizando um método de interpolação, como interpolação linear ou bilinear, média simples ou ponderada, convolução cúbica, krigagem, dentre outros (EL-SHEIMY *et al.* 2005). Assim os principais fatores que influenciam a qualidade do MDT são a acurácia posicional dos pontos amostrados e a acurácia posicional dos pontos obtidos com o método de interpolação. A ET-ADGV não estabelece o método de interpolação que deve ser utilizado na produção do MDT. Ressalta-se que a equidistância entre as curvas de nível é estabelecida de acordo com a escala de representação do produto, conforme definido na ET-ADGV (DSG, 2011).

O controle de qualidade posicional das feições planimétricas, do MDT e das curvas de nível, deve ser realizado de acordo com o PEC-PCD proposto na ET-ADGV (DSG, 2011), conforme abordado na Seção 3. Detalhes quanto à amostragem de pontos de verificação são apresentados na ET-CQDG.

5. DISCUSSÃO E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho descreve uma abordagem sistemática para a especificação da qualidade de base cartográfica elaborada por técnicas fotogramétricas nos padrões para os dados da INDE. Na revisão das especificações técnicas em vigor, constatou-se que requisitos quanto à aquisição e a produção dos dados não são obrigatórios em uma DPS. Logo, nas especificações técnicas para os dados da INDE em vigor, não foram encontradas recomendações nesse sentido, não incluindo, por exemplo, especificações para a análise da qualidade em cada fase que constitui a etapa de produção cartográfica. A análise de qualidade nas etapas

do processo fotogramétrico também é discutida em Saito e Irineu (2004) e Campos *et al* (2015).

No entanto, como apresentado na Seção 4, as decisões de projeto e de produção influenciam diretamente na qualidade do produto final. Diante disso, conclui-se que o presente trabalho traz uma importante contribuição ao apontar especificações da qualidade para as distintas etapas de elaboração de um produto cartográfico visando atender as atuais especificações técnicas para os dados da INDE.

Constata-se que há um cenário de transformação no processo de análise da qualidade de um produto cartográfico. Por muitos anos, a qualidade do produto era sinônimo somente de acurácia posicional realizada em função do PEC. Entretanto, recentemente, uma nova abordagem para análise da qualidade tem sido introduzida nas especificações para a INDE com a publicação da ET-PCDG e da ET-CQDG. Assim, embora ainda não extensamente aplicada nos produtos da Cartografia, a qualidade de um produto passa a ser realizada não somente com base na acurácia posicional, mas também em função de outros elementos da qualidade, como consistência lógica, completude e acurácia temática.

Na etapa do projeto cartográfico, verificou-se que este se constitui da definição de um conjunto de variáveis intrinsecamente interligadas, de modo que a decisão sobre uma afeta outra. Todavia, em nenhuma das especificações técnicas para a INDE seja relacionada à estrutura (ET-EDGV), aquisição (ET-ADGV) ou produtos de conjuntos de dados geoespaciais (ET-PCDG), as variáveis interdependentes do projeto cartográfico são apresentadas de forma interligada. Entende-se que, o desenvolvimento integrado das fases do projeto de composição geral e do projeto gráfico, juntamente com a especificação dos requisitos da qualidade, é uma decisão importante para se elaborar um produto de qualidade que atenda a demanda do usuário. Assim, conclui-se que essas variáveis são fatores que determinam os requisitos para a análise da qualidade, e que, uma vez tratadas nesse sentido, o projeto pode consistir em uma medida que aumente as chances de atingir qualidade pretendida ao produto final.

Quanto à etapa de produção cartográfica, pode-se afirmar que cada projeto é singular, variando o método de aquisição, os instrumentos

e os programas utilizados, a experiência e a capacidade técnica envolvida. Isto evidencia que diferentes abordagens podem ser adotadas no desenvolvimento de produtos cartográficos. No entanto, a qualidade do produto final será classificada nos padrões para os dados da INDE somente se atender aos requisitos previstos nas especificações técnicas do Sistema Cartográfico Nacional. Na abordagem para a elaboração de base cartográfica por técnicas fotogramétricas, na qual o processo fotogramétrico foi subdividido em aquisição dos dados, orientação interior e exterior e restituição, pode-se observar que o GSD e a qualidade dos pontos de controle e de verificação são fatores que influenciam diretamente na acurácia posicional do produto. Apesar disso, constatou-se que para a fase de aquisição dos dados realizada conforme as recomendações da ET-ADGV não há limiares para as distintas metodologias adotadas no processo de produção. Desta forma, uma alternativa é seguir as especificações da ASPRS (2015), por exemplo, quando da definição da dimensão do GSD e da qualidade dos pontos para o georreferenciamento. Outro aspecto identificado se refere à qualidade dos parâmetros de orientação interior da câmara utilizada na aquisição das imagens aéreas. Apesar desses parâmetros influenciarem na acurácia posicional do produto obtido por técnicas fotogramétricas, verificou-se que pouco se discute nas especificações quanto à precisão desses parâmetros. Desta forma, uma recomendação é a análise da significância dos POIs. No caso da orientação exterior, limiares são apresentados pela ASPRS (2015).

Conclui-se que o processo de construção de um produto cartográfico de precisão requer a integração de diferentes áreas da ciência cartográfica. Conclui-se, também, que as especificações técnicas em vigor e aquelas em elaboração podem atuar como poderosas normativas para viabilizar a padronização e o rápido compartilhamento da informação geoespacial. Porém, entende-se que associar requisitos da qualidade às fases de mapeamento ainda é uma dinâmica pouco explorada no processo cartográfico como um todo. Pretende-se, em uma próxima etapa, realizar um estudo de caso que desenvolva o processo de produção de base cartográfica por técnicas fotogramétricas com especificação dos requisitos da qualidade e

que analise os elementos da qualidade no produto gerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998, 258 p.

ANDRADE, J. B.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de Câmaras Aerofotogramétricas. **Boletim de Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n. 26, p. 1-39, 1981.

ASPRS. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. ASPRS Positional Accuracy standards for Digital Geospatial Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 81, n. 3, A1-A26, 2015.

BORGES, K. A. V.; DAVIS Jr, C. A. & LAENDER, A. H. F. Modelagem conceitual de dados geográficos. In **Banco de dados geográficos**, editado por CASANOVA, M.; CÂMARA, G.; DAVIS, C.; VINHAS, L. & QUEIROZ, G. R., p. 83-136. Curitiba: MundoGEO, 2005, 54 p.

BRASIL. Decreto 6.666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a **Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE**. 2008. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm.

BRASIL. Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984. **Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm

BRASIL. Decreto 5.334, de 6 de janeiro de 2005. **Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm

BRASIL. Decreto nº 243, de 28 de fevereiro de 1967. **Fixa as Diretrizes e Bases da Cartografia Brasileira e dá outras providências**. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del0243.htm

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Diretoria de Geociências, Departamento de Cartografia. **Noções básicas de Cartografia**. 1998, 128 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos - GPS**. 2008, 20 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.inde.gov.br/images/inde/recom_gps_internet.pdf

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução PR nº 22 de 21-07-1983 para **Especificações e Normas Gerais para a Execução de Levantamentos Geodésicos**. 1983, 36 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. <http://www.inde.gov.br/images/inde/bservico1602.pdf>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resolução nº 01/2015, de 24 de Fevereiro de 2015. **Define a data de término do período de transição definido na RPR 01/2005 e dá outras providências sobre a transformação entre os referenciais geodésicos adotados no Brasil**. 2015, 8 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_normas.shtm?c=14

BROWN, D. C. Close-Range Camera Calibration. **Photogrammetric Engineering**, v. 37, n. 8, p. 855-866, 1971.

CAMPOS, M. B.; TOMMASELLI, A. M. G.; IVANOVA, I. & BILLEN, R. Data Product Specification Proposal for Architectural Heritage Documentation with Photogrammetric Techniques: A Case Study in Brazil. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 13337-13363, 2015. doi:10.3390/rs71013337

CHANDLER, J. H.; FRYER, J. G. & JACK, A. Metric capabilities of low-cost digital cameras for close range surface measurement. **The Photogrammetric Record**, v. 20, n. 109, p. 12-26, 2005.

CHRISMAN, N. R. The error component in spatial data. In MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; & RHIND, D. W. eds., **Geographical information systems: principles and applications**. Harlow, Longman/New York, John Wiley & Sons Inc., v. 1, p. 165-74, 1991.

- CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil – Perfil MGB**. Versão homologada em Novembro/2009, 194 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.inde.gov.br/images/inde/Perfil_MGB_Final_v1_homologado.pdf.
- CONCAR. Comissão Nacional de Cartografia. **Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-EDGV**. 2.1.3 ed. 2010, 246 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_EDGV_Vs_2_1_3.pdf.
- DAL POZ, W. R., CAMARGO, P. O. Consequências de uma tempestade geomagnética no posicionamento relativo com receptores GPS de simples frequência. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 2, p. 275-294, 2006.
- DECANINI, M. M. S. & IMAI, N. N. Mapeamento na Bacia do Alto Paraguai: Projeto e Produção Cartográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 52, p. 65-75, 2000.
- DENT, B. D., TORGUSON, J. & HODLER, H. **Cartography: Thematic Map Design**. 6. ed. Georgia: McGraw-Hill, 2009, 368 p.
- DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-ADGV**. 2 ed. 2011, 254 p. Acesso em 18 de Dez. de 2015. http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf.
- DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. **Norma para especificação técnica para produtos de conjunto de dados geoespaciais - ET-PCDG**. 1 ed. 2014, 188 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_PCDG_2014.pdf.
- DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. **Manual Técnico T34-700 – Convenções Cartográficas 1ª Parte – Normas para o emprego dos Símbolos**. 2. ed. 1998, 109 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/T_34700_P1.pdf.
- DSG. Diretoria de Serviço Geográfico. **Manual Técnico T34-700 – Convenções Cartográficas 2ª Parte – Catálogo de Símbolos**. 2 ed. 2000, 69 p. Acesso em 18 de Dezembro de 2015. http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/T_34700_P2.pdf.
- EBNER, H. Self-calibrating block adjustment. **Bildmessung und Luftbildwesen**, v. 44, n. 4, p. 128-139, 1976.
- ECKL, M. C.; SNAY, R. A.; SOLER, T.; CLINE, M. W. & MADER, G. L. Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration. **Journal of Geodesy**, v. 75, n. 12, p. 633-640, 2001.
- ELMASRI, R. & NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2011, 808 p.
- EL-SHEIMY, N.; VALEO, C. & HABIB, A. **Digital terrain modeling: acquisition, manipulation, and applications**. Artech House, 2005, 257 p.
- FEATHERSTONE, W. E.; DENTITH, M. C.; KIRBY, J. F. Strategies for the accurated determination of orthometric heights from GPS. **Survey Review**, v. 34, n. 267, p. 278-296, 1998.
- FRYER, J. G. Camera Calibration. In: **Close Range Photogrammetry and Machine Vision** edited by ATKINSON, K. B., Department of Photogrammetry and Surveying, University College London: Whittles Publishing, 1996, p. 156-179.
- GALO, M. **Calibração e aplicação de câmaras digitais**. Dissertação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993, 151 p.
- GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K. & CAMARGO, P. O. Significância dos parâmetros de orientação interior na calibração de câmaras. Trabalho apresentado no **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, Pernambuco, p. 1-9, 2008.
- GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Física**. 2. ed. Curitiba: UFPR, 2002, 302 p.
- Global Spatial Data Infrastructure Association (GSDI). **The SDI Cookbook: Developing Data Infrastructure**. 2 ed. 2004, 171 p.
- HABIB, A. F. & Morgan, M. F. Automatic calibration of low cost digital cameras. **SPIE Journal of Optical Engineering**, v. 42, p. 948-

955, 2003. doi: 10.1117/1.155532

ISO (2005). **ISO 19103. Geographic information - Conceptual schema language**. International Organization for Standardization (ISO).

ISO (2003). **ISO 19115. Geographic information - Metadata**. International Organization for Standardization (ISO).

ISO (2007). **ISO 19131. Geographic information – Data Product Specifications**. International Organization for Standardization (ISO).

ISO (2014). **Economic benefits of standards**. International Organization for Standardization (ISO).

ISO (2013). **ISO 19157. Geographic information – Data Quality**. International Organization for Standardization (ISO).

KEATES, J. S. **Cartographic design and production**. 2 ed. New York: Longman Group, 1989, 240 p.

KUROISHI, Y.; ANDO, H. & FUKUDA, Y. A new hybrid geoid model for Japan, GSIGEO2000. **Journal of Geodesy**, v. 76, n. 8, p. 428-436, 2002.

LI, Z.; ZHU, C. & GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. New York: CRC Press, 2005, 318 p.

MARQUES, A. P. S.; DECANINI, M. M. S. & PUGLIESI, E. A. Sistema de Navegação e Guia de Rota áudio-dinâmico com múltiplas escalas automáticas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 64, p. 57-68, 2012.

MENEZES, P. M. L. & FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. Rio de Janeiro: Oficina de texto, 2013, 288 p.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S. & MCGLONE, C. J. **Introduction to Modern Photogrammetry**. 1. ed. New York: John Wiley & Sons, 2001, 478 p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: editora UNESP, 2008, 476 p.

OMG. Object Management Group. **Business Process Model and Notation, Version 2.0.2**, Needham, 532 pp. Acesso em 18 de Dezembro

de 2015. <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>
SATO, S. S. & da SILVA, I. Brazilian quality control systems for digital photogrammetry mapping production. In: **ISPRS Congress**, p. 1-6, 2004, Istanbul. PS ICWG II/IV, 2004. v. WG. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/234.pdf>.

SLOCUM, T.; MCMASTER, R. B.; KESSLER, F. C. & HOWARD, H. H. **Thematic Cartography and Geovisualization**. 3 ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2009, 624 p.

SOUZA, E. M.; MONICO, J. F. G. & PAGAMISSE, A. Redução do efeito do multicaminho de frequências alta e baixa no posicionamento relativo cinemático utilizando wavelets: resultados preliminares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 1, p. 142-156, 2009.

SSC. Swiss Society of Cartography. **Topographic maps – Map graphics and Generalization**. 2005, 126 p.

TSAI, R. Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses. **IEEE Journal on Robotics and Automation**, v. 3, n. 4, p. 323-344, 1987.

TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In **GPS for Geodesy**, edited by TEUNISSEN, P. J. G. & KLEUSBERG, A.; 2 ed. Netherlands: Springer Verlag, p. 271-318, 1998.

TEUNISSEN, P. J. G. & VERHAGEN, S. The GNSS ambiguity ratio-test revisited: a better way of using it. **Survey Review**, v. 41, n. 312, p. 138-151, 2009.

THOMPSON, M. M.; GRUNER, H. Foundations of Photogrammetry. SLAMA, C. C. *et al.* (Ed.). **Manual of Photogrammetry**. Virginia: American Society of Photogrammetry, 1980. Chap. I, p. 1-36.

VEREGIN, H. Data quality parameters. In LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J. & RHIND, D. W. eds., **Geographical information systems**, 2 ed, v. 1, Chap. 12. New York, NY: Wiley, p. 177-189, 1999.

ZHANG, Z. A flexible new technique for camera

calibration. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, v. 22, n. 11, p. 1330-1334, 2000.

WENG, J.; COHEN, P. & HERNIOU, M.

Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. **IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence**, v. 14, n. 10, p. 965-980, 1992.